

## A SZABAD FOLYADÉKFELSZÍN PÁROLGÁSÁNAK HATÁSÁRA LÉTREJÖVŐ HŐÁRAM NYITOTT MEDENCÉBEN

### HEAT TRANSFER ON THE SURFACE OF AN OPEN POND BY EVAPORATION

Bocsi Róbert<sup>1</sup>, Hanák László<sup>2</sup>, Rippelné Pethő Dóra<sup>3</sup>, Hodai Zoltán<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyipari Műveleti Intézeti Tanszék, H-8200, Magyarország, Veszprém, Egyetem utca 10. Telefon: +3688624-000, 6181-es mellék, H-8201 Veszprém, Pf. 158. E-mail: [bocsirobert@almos.uni-pannon.hu](mailto:bocsirobert@almos.uni-pannon.hu)

<sup>2</sup>Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyipari Műveleti Intézeti Tanszék, H-8200, Magyarország, Veszprém, Egyetem utca 10. Telefon: +3688624-000, 6180-as mellék, H-8201 Veszprém, Pf. 158. E-mail: [hanakl@almos.uni-pannon.hu](mailto:hanakl@almos.uni-pannon.hu)

<sup>3</sup>Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyipari Műveleti Intézeti Tanszék, H-8200, Magyarország, Veszprém, Egyetem utca 10. Telefon: +3688624-000, 6182-es mellék, H-8201 Veszprém, Pf. 158. E-mail: [pethod@almos.uni-pannon.hu](mailto:pethod@almos.uni-pannon.hu)

<sup>4</sup>Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyipari Műveleti Intézeti Tanszék, H-8200, Magyarország, Veszprém, Egyetem utca 10. Telefon: +3688624-000, 6180-as mellék, H-8201 Veszprém, Pf. 158. E-mail: [hodaiz@almos.uni-pannon.hu](mailto:hodaiz@almos.uni-pannon.hu)

#### Abstract

Modelling heat transfer problems often carried out by using experimental data not only pure analytical methods. These solutions affected several parameters, so the deduction of formulas based on complicated interactions that cannot be solved without theoretical base studies. Our goal is on base of similarity theory building a model of heat transfer properties of an open pond that installed in climate of Hungary. In our work we have calculated heat transfer on the surface of an open pond by evaporation for the base of future studies.

**Keywords:** heat transfer, evaporation, open pond

#### Összefoglalás

A hőátviteli problémák megoldása gyakran nem analitikai úton történik, hanem a modellalkotás meg-alapozásához kísérleti módszereket használnak. Ezek az eredmények sok paramétertől függenek, így a bonyolult kölcsönhatások eredményeként az empirikus számítási képletek levezetése elméleti alapok nélkül nem lehetséges. A hasonlóságelmélet alapján, egy Magyarországon telepített nyitott medence hőforgalmának becslésére egy összetett modell összeállítását céloztuk meg. A cikkben a nyitott medence hőforgalmának egyik fontos komponensét, a folyadékfelszín párolgásának hatását vizsgáltuk meg, amelyet a teljes hőforgalom szempontjából fontos számításba venni. A későbbiekben ezen alapozó számításokat használjuk fel egy üzemelő rendszer leírásához.

**Kulcsszavak:** hő átszármaztatás, párolgás, nyitott medence

## 1. Bevezetés

Gyakorlati hőátviteli problémák megoldása gyakran nem analitikai úton történik, hanem a modellalkotás megalapozásához kísérleti módszerek használatosak. Ezek a tapasztalati adatok sok paramétertől függenek, így a bonyolult kölcsönhatások eredményeként az empirikus számítási képletek levezetése elméleti alapok nélkül nem lehetséges. Ezért használják ezen a területen a hasonlóságelméletet. A hőátvitel alapvető összefüggései alapján megállapítják a hasonlósági kritériumokat, amelyek tartalmazták azon mennyiségeket, amelyeket a kísérletek során mérni kell. Ezt követően a differenciálegyenlet megoldását a hasonlósági kritériumok függvénykapcsolataként állítják elő.

A szabad folyadékfelszín és a felette levő levegő közötti átadásos hőáram két tagból becsülhető:

1. A két fázis közötti hőmérsékletkülönbség okozta hőáram  $/Q_{FA}/$ , itt a hajtóerő a hőmérsékletkülönbség.
2. A két fázis közötti fázisváltozással kapcsolatos hőáram  $/Q_{FP}/$ , ebben az esetben a hajtóerő a vízgőz koncentrációk különbsége, az adott hőmérsékletű folyadékfázissal egyensúlyt tartó gázfázisban a vízgőz koncentrációja és a felette levő gázban, levegőben az aktuális vízgőz koncentrációjának különbsége.

### 1.1. A hőmérséklet különbség hatására létrejövő hőáram

Kifejezeten szennyvíztisztító medencék jellemző sajátosságaira, körülményeire javasolják az alábbi összefüggést:

$$Q_{FA} = \rho_{lev.} \cdot c_{p,lev.} \cdot h_v A (T_{sz} - T_{lev.}) \quad (1)$$

ahol

$\rho_{lev.}$  a levegő sűrűsége,  $[kg/m^3]$ ,  
 $c_{p,lev.}$  a levegő fajhője,  $[J/kgK]$ ,  
 $h_v$  „vízgőz” átadási tényező,  $[m/s]$

$$h_v = 392 A^{-0.05} W / 3600 \times 24 \quad (2)$$

ahol  $W$  szélesség, a levegő áramlási sebessége  $[m/s]$  [1]

A közleményekben megjegyzik, hogy a hőátadási tényező jó közelítéssel megegyezik a gőz átadási tényezővel, mivel a levegőre vonatkozó Prandtl-szám hasonló a hőátadási és a párolgási műveletnél és ezen túl mind a kettő a szélesség függvénye is.

A szél nagyon változékony meteorológiai elem. Ez érvényes irányára és nagyságára is. Magyarországon a szélesség éves átlaga  $2-5 m/s$  között van (a felszíntől  $10 m$  magasságban).

A szélesség aktuális értékét nagymértékben a lokális tényezők határozzák meg. A szélesség a makro-léptékű tényezőkön kívül a domborzattól, a felszínborítottságtól és az adott hely környezetében levő egyéb akadályoktól (épületek, fák, fasorok stb.) is függ, ezért az előzőek miatt lokálisan ettől jelentősen eltérő értékek is mérhetők, megfigyelhetők.[2]

### 1.2. A szabad folyadékfelszín párolgásának hatására létrejövő hőáram

Ha hőtranszport vizsgálatát egy szennyvíztisztító medencében levő szabad felszínről folyadékfázis és a felette levő, mozgó levegő között vizsgáljuk, első sorban a vízgőz koncentrációk különbségének  $/hajtóerő/$  a hatására létrejövő hőáramot kell számításba vennünk.

Becslésére hasonlóságelméleti alapon, dimenziómentes számok megadásával általánosan szennyvíztisztító medencékre alkalmazható összefüggést használhatunk:

$$Q_{FP} = \frac{D_{vfg,lev.}}{L} 0,037 Re^{4/5} Sc^{1/3} A (C_{T_{sz}}^* - C_{T_{lev.}}) h_{párolog.} \quad (3)$$

ahol

$Q_{FP}$  - a folyadékfelszín párolgásával kapcsolatos hőáram,  $[W]$ ,

$D_{\text{v}\ddot{\text{z}},\text{lev.}}$  - a vízgőz diffúziós állandója levegőben,  $[\text{m}^2/\text{s}]$

$L$  - jellemző geometriai paraméter, a medence átmérője,  $\text{m}$ ,

$Re$  - Reynolds-szám

$Sc$  - Schmidt-szám

$C_{\text{Tsz}}^*$  - a teített vízgőz koncentrációja a folyadékfelszín hőmérsékletén,  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,

$C_{\text{Tlev.}}$  - a vízgőz koncentrációja a környező levegőben,  $[\text{kg}/\text{m}^3]$

$h_p$  - a víz párolgáshője,  $[\text{J}/\text{kg}]$ . [3]

Magyarország légkörében a jellemző relatív nedvességtartalmak eloszlását az Országos Meteorológiai Szolgálat által rögzített adatok alapján havi klimatikus adatok alapján vettük figyelembe  $5 \text{ m/s}$  szélesebség mellett. [4]

A szélesebségnek jellegzetes évszaknak megfelelő intenzitáscsúcsa van. Legszelebb időszak a tavasz első fele, míg a legkisebb szélesebségek általában ősz elején tapasztalhatók.

$$Q_{\text{Fp}} = \frac{4,18}{3600 \cdot 24} \cdot \Phi \cdot e^{0,0604 T_{\text{lev.}}} \cdot W A^{0,95}$$

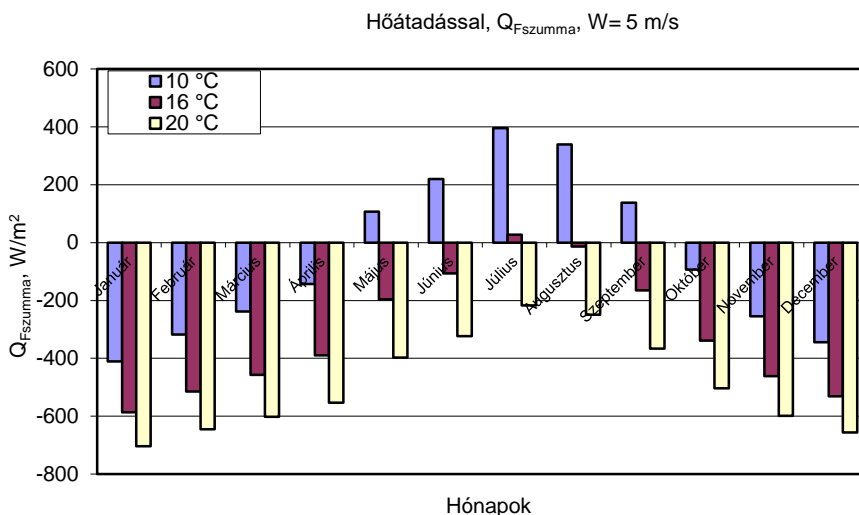
$$\Phi = \left( 1,145 \cdot 10^6 \left( 1 - \frac{r_h}{100} \right) + 6,86 \cdot 10^4 (T_{\text{sz}} - T_{\text{lev.}}) \right) \quad (4)$$

ahol

$r_h$  - a „belépő” levegőáram relatív nedvességtartalma,  $[\%]$

$W$  - szélesebség,  $[\text{m/s}]$ ,

$A$  - a vízfelszín felülete,  $[\text{m}^2]$ .



1. ábra. A nyitott medence felületén létrejövő átadási hőáramsűrűség éves alakulása  $1000 \text{ m}^2$  szabad vízfelszín mellett

## 2. A rendelkezésre álló adatok kiértékelése

Mivel a fenti összefüggésekben szerepel a szennyvíz felülete  $/A/$ , választottunk egy  $1000 \text{ m}^2$  felületű medencét, amely jó közellítéssel egy kis kapacitású szennyvíztisztító biológiai medencéjének megfelelő méret.

Így:

$A = 1000 \text{ m}^2$ , a szennyvíztisztító medence szabad vízfelülete,

$\rho_{\text{lev.}} = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ , a levegő sűrűsége,

$c_{p,\text{lev.}} = 1014 \text{ J}/\text{kgK}$ , a levegő fajhője,

$W = 5 \text{ m/s}$  szélesebség,

$T_{\text{sz}}$   $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , a medencevíz hőmérséklete,

$T_{lev.}$  a levegő havi átlaghőmérséklete.

Az eredményül kapott átadási hőáramot  $/QFÁ, W/$  ha elosztjuk a felülettel  $/A/$ , megkapjuk az átadási hőáramsűrűséget  $W/m^2$ -ben.

A + előjel hővesztéséget, a – előjel pedig hőnyereséget jelent a medence számára.

A számítások eredményét az **1. ábrán** mutatjuk be.

A november és február között tapasztalt minimumok nem csak a környezeti hőmérséklet és az átlagos szélesebség együttes hatásának köszönhetők.

### 3. Összegzés

A nyitott medencék vízfelszínén létrejövő hőforgalom meghatározásához sok folyamatot figyelembe kell venni. Munkánk során, a felszínen elszámolható folyamatok közül a nyugvó felszínen létrejövő párolgás okozta hőátvitel meghatározását valósítottuk meg. Ez a teljes hőforgalom szempontjából egy kritikus pont.

A változók között csak környezeti paramétereket hagytunk meg, amelyek szezonális változásukból adódóan jelentősen befolyásolja a folyamat eredményét.

A munka folytatásának olyan modell megalkotását céloztuk meg, amely segítségével a Magyarországra jellemző klimatikus viszonyokra telepített rendszerek leírását lehet pontosabban megvalósítani.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Novotny, V. and Krenkel, P.A. (1973). *Evaporation and heat balance in aerated basins*. AIChE Symp. Series, Water, 70(136), 150-159.
- [2] Søren Brønd, Jan Scherfig: *Dynamic temperature Changes in nutrient removal plants*, Water Science and Technology Jul 1994, 30 (2) 205-208;
- [3] Argaman, Y. and Adams, C.F. Jr. (1977). *Comprehensive temperature model for aerated biological systems*. Progress in Water Technology, 9(1/2), 397-409.
- [4] Magyarország éghajlati atlasza, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2001.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a „A Vízbázis védelem, moduláris, mobil vízkezelő rendszerek és szennyvízkezelő technológiák fejlesztése a Pannon Egyetem bázisán hazánk dinamikus export növekedésének elősegítése érdekében GINOP-2.3.2-15-2016-00016.” c. projekt keretébe valósul meg.