

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

62. évfolyam 2021. 2-3. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Főszerkesztő:

Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:

Dr. Groniewsky Axel

Szerkesztőség vezető:

Kaposvári Regina

Szerkesztőbizottság:

Dr. Balikó Sándor, Dr. Bihari Péter,
Czinege Zoltán, Dr. Csűrös Tibor,
Dr. Farkas István, Juhász Sándor,
Korcsog György, Kövesdi Zsolt,
Dr. Laza Tamás, Mezei Károly,
Molnár Ferenc, PhD, Móczár Botond Máté,
Dr. Nagy Valéria, Németh Bálint,
Péter Szabó István, Romsics László,
Dr. Serédiné Dr. Wopera Ágnes,
Dr. Steier József, Dr. Stróbl Alajos,
Szabó Benjámin István, Dr. Szilágyi Zsombor,
Vancsó Tamás, Dr. Zsebik Albin

Honlap szerkesztő:

Kierblewski Marius

www.ete-net.hu

Kiadja:

Energiagazdálkodási
Tudományos Egyesület
1091 Budapest, Üllői út 25., IV. em. 420-421.
Tel.: +36 1 353 2751,
+36 1 353 2627,
E-mail: titkarsag@ete-net.hu

Felelős kiadó:

Bakács István, az ETE elnöke

A szerkesztőség címe:

BME Energetikai Gépek és
Rendszerek Tanszék
1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
D épület 208 sz.
Telefon: +36 1 463 2613.
Telefax: +36 1 353 3894.

E-mail:

enga@ete-net.hu

Megjelenik kéthavonta.
Előfizetési díj egy évre: 4200 Ft
Egy szám ára: 780 Ft

Előfizethető a díj átutalásával a
10200830-32310267-00000000
számlaszámra a postázási és számlázási cím
megadásával, valamint az
„Energiagazdálkodás” megjegyzéssel

ISSN 0021-0757

Tipográfia:

Büki Bt.
bukiandras@t-online.hu

Nyomdai munkák:

EFO Nyomda
www.efonyomda.hu

Lapunkat rendszeresen
szemlézi a megújult



www.observer.hu

Tudomány * Science * Wissenschaft

Bíró Bence, Csekei Zsolt, Imre Attila

A környezetbarát hidrogén,
mint energiahordozó

3

A Budapesti Kutatóreaktor hulladékhőjének
hasznosítása - előtanulmány a paksi
atomerőművi hulladékhő-hasznosításhoz
Nutzung der Abwärme des Budapest
Forschungsreaktors — Vorstudie zur
Abwärmennutzung für das KKW Paks

Nagy Valéria

Az energia immanens értékének kreatív
jellemzése esettanulmányok segítségével

8

Creative analysis of the immanent value of
energy through case studies
Kreative Analyse des Immanenten Wertes der
Energie unter Verwendung von Fallstudien

Garami Attila

Gépi látás és tanulás a tüzeléstechnikában és
a biomasszatüzelésben

13

Machine vision and learning in combustion
technology and specifically biomass combustion
Machine Vision und Machine Learning in der
Verbrennungstechnik, Hervorhebung der
Verbrennung von Biomasse

Megújuló energiaforrások * Renewable Energy Sources * Erneuerbare Energiequellen

Buzás János, Gedion Habtay, Farkas István

Napenergiás kéményes szárító hőtechnikai
vizsgálata

18

Thermal testing of solar chimney dryers
Thermische Prüfung von Solar-Schornsteintrock-
nern

Erdélyi Viktor Ferenc, Földi László, Buzás János

Folyadék munkaközegű fűtőlapok szabályozása
az állatjóléti komfort biztosítására

23

Regulation of liquid working-media heating
plates to ensure animal welfare comfort
Regulierung von flüssigen Arbeitsmittel-
Heizplatten zur Gewährleistung des
Tierschutzkomforts

Épületenergetika * Building Energy *

Gebäude Energie

Csoknyai Tamás

Hi-Smart oktatásfejlesztési projekt:

közel nulla energiaigényű és okos épületek

28

Hi-Smart education development project:

near-zero energy and smart buildings

Hi-Smart-Bildungsentwicklungsprojekt: nahezu
null Energie und intelligente Gebäude

Földgáz * Natural Gas * Erdgas

Veres Gábor Pál, Tihanyi László,
Szunyog István

Végfelhasználói gázár változása nyolc EU
tagországban 2010–2019 között

30

Changes in the end-user gas prices in eight
EU member countries between 2010 and 2019
Änderung der Gasendverbraucherpreise
in acht EU-Ländern zwischen 2010 und 2019

e-Mobilitás * e-Mobility * e-Mobilität

Vokony István, Zsebik Albin, Németh Bálint

Hibrid, PV-hidrogén – e-mobilitás
az ipari energiaközösségekben

35

Hybrid, PV-hydrogen – e-mobility in the
industrial energy communities
Hybrid, PV-Wasserstoff – Elektromobilität in
industriellen Energiegeme-inschaften

Hidrogén * Hydrogen * Wasserstoff

Galyas Anna Bella, Szunyog István,
Kis László, Tihanyi László, Vadász Marianna

A hidrogén energiatartalomra gyakorolt
hatásának vizsgálata a hazai földgázelosztó
hálózatba történő betáplálás esetén

42

Assessment of the effect of hydrogen on
energy content in the case of feed-in to the
domestic natural gas distribution network
Bewertung der Auswirkungen von Wasserstoff
auf den Energiegehalt bei der Einspeisung in
das inländische Erdgasverteilungsnetz

Klimaváltozás * Climate change *

Klimawandel

Szilágyi Zsombor

A CO₂ kvóta szabályozás és kereskedelem

45

CO₂ quota regulation and trade
CO₂-Quotenregulierung und Handel

Mátraházi János

A légkör széndioxid koncentrációjának
csökkentése

50

Reducing carbon dioxide concentrations in the
atmosphere

Reduzierung der Kohlendioxidkonzentrationen
in der Atmosphäre

Napenergiás kéményes szárító hőtechnikai vizsgálata

Buzás János

egyetemi docens, Buzas.Janos@uni-mate.hu

Gedion Habtay

PhD hallgató, gedion.habaty@gmail.com

Farkas István

egyetemi tanár, Farkas.Istvan@uni-mate.hu

A napenergiás szárítóknál használt kémény hőátviteli folyamatainak elemzését kísérletileg vizsgálták. A vizsgálat során a napsugárzás intenzitás, a légáram sebesség, a környezeti levegő hőmérséklet, a kémény külső felületi hőmérséklete és a kémény belsejében áramló levegő hőmérséklete mérésrel kerültek meghatározásra. A hőátviteli mód típusát, a hőátviteli együttthatót és az áramlástípust a kémény falának belső és külső oldalán Reynold, Nusselt és Rayleigh számok alapján vizsgálták. A szárító kéményből kilépő, az alkalmazott matematikai modellel számított levegő hőmérséklet, összehasonlításra és értékelésre került a kísérlet során mért kilépő értékekkel.

*

Heat transfer analysis of a chimney used in solar drying applications has been examined experimentally. During the tests, air velocity, temperatures, and solar radiation have been measured and presented graphically. The nature of heat transfer mode, coefficient of heat transfer, and flow type inside and outside the chimney wall have been examined based on Reynold's, Nusselt, and Rayleigh numbers. A comparison and evaluation of theoretical and experimental chimney outlet air temperature has also been presented in this study.

Az élelmiszerek szárítását az ősi idők óta alkalmazzák annak érdekében, hogy a nedvességtartalmukat a hosszú idejű tároláshoz szükséges szintre csökkentsék. A napenergiás szárítás arra a megoldásra utal, ami a napsugárzást használja a szárításhoz szükséges energiaként. A napenergiás szárítók aktív és passzív működésűként osztályozhatók. A fő különbség köztük a légáramlás módjában van. Az aktív szárítóknak van légáramoltatást végző berendezésük, rendszerint egy ventilátor, míg a passzív napenergiás szárítóknak a természetes konvekció áramoltatja a levegőt (Koyuncu, 2006). A passzív konvekciós szárítók működése kizárólag a napenergiától függ.

Az alacsony légáramlás miatt, a passzív napenergiás szárítók teljesítményének hatékonysága alacsony (Ekechukwu, Norton, 1997). Az ilyen szárítók esetén a szárítási teljesítmény javításának egyik hatékony módja a szárítókamrára felszerelt kéményben áramló levegő melegítése (Bassey et al., 1994). A kémény a természetes konvekció növelésével elősegíti a szerkezeten keresztüli levegőáramlást. Passzív, közvetett napenergiás szárítóknak, a kollektorban felmelegített levegő szárítókamrán történő áthaladása során a szárítandó termékből a nedvesség elpárolgatásához szükséges hőmennyiség átadása következtében a levegő hőmérséklete csökken, aminek hatására a légáramlás sebessége is csökken. Habtay és Farkas (2019) megfigyelték, hogy a hőátvitel javulhat, ha a kémény felülete fekete matt festéssel van ellátva. Shiri et al. (2012) kísérletileg vizsgálták egy függőleges fűtött henger fal mentén, a természetes konvekció hatására, a határréteg légáramában kialakuló hőmérséklet- és áramlási sebesség mezőket. A vizsgálat során

a turbulencia intenzitásának mérése során elsősorban a falközeli régiókat tekintették, ahol a változó termikus tulajdonságok a nagy hőmérséklet gradiens következtében az áramlást is befolyásolják. A szerzők új határréteg egyenleteket dolgoztak ki, amelyek az áramlás változó tulajdonságait jelenítik meg a vizsgált régióban.

A kémény hőátviteli tulajdonságai a működésre jellemző hőátviteli tényezőtől és az áramlás jellegétől függ. Konvekciós hőátvitel esetén számos összefüggés van a fűtött függőleges csatornák hőátviteli tulajdonságainak kiszámítására.

A természetes konvekciós hőátadás a hőmérséklettől függő sűrűséggradiensek által előidézett, felhajtóerő indukálta áramlási mezők eredménye. Newton hűlési törvénye egyenlő azzal a hőátadási fluxussal, amely ezzel az átadással jár a hőátadási együtttható, a felület és a felületi- és a környezet közötti hőmérséklet különbség arányában. A hőátadási együtttható és a Rayleigh-szám fontos a természetes konvekció vizsgálatánál. Számos kutató vizsgálta vertikális csatornában a Nusselt, a Grashof és a Rayleigh számok közötti összefüggéseket (Ramakrishna et al., 1982). A szerzők a két végén nyitott függőleges négyzet alakú csatorna mentén a levegő lamináris természetes konvekcióját vizsgálták a csatorna falain állandó hőmérséklet és állandó hőáram határfeltételek mellett. A csatorna alján beáramló levegő sebességét atmoszférikus nyomáson egyenletesnek feltételezték. Az áramlást és a hőátadást leíró differenciálegyenleteket numerikus integrálással oldották meg. A csatorna tengelye mentén mutatták be az áramlás és a hőátvitel alakulását.

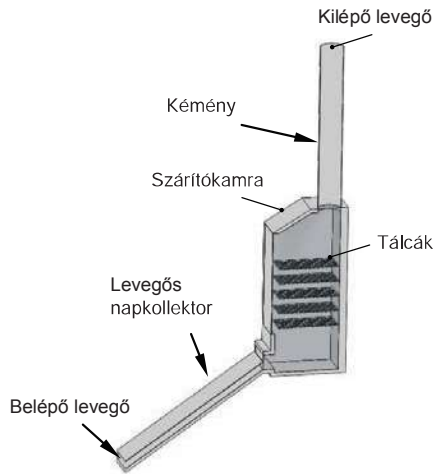
Ennek a dolgozatnak az a célja, hogy meghatározzuk a közvetett napenergiás szárító kéményéből kilépő levegő hőmérsékletét egy kidolgozott matematikai modell felhasználásával, továbbá összehasonlítsuk és értékeljük a számítási és a kísérleti eredményeket. A napsugárzás intenzitást, a kémény külső felületi hőmérsékletét, a környezeti levegő hőmérsékletét, a belépő légáramot és a kémény belsejében áramló levegő hőmérsékletét mérésrel határozzuk meg annak érdekében, hogy jobban megértsük a természetes konvekció során a kéményben kialakuló hőátvitel következtében fellépő áramlási viszonyokat.

A vizsgált rendszer leírása

A közvetett napenergiás szárító geometriai modellje egy függőleges hengeres kéményből áll, amelynek belső átmérője 100 mm, és az 1. ábrán látható módon egybe van építve a szárítókamrával. A kéményben végbemenő természetes konvekció kialakulásához megfelelő hosszúságú kémény került kiválasztásra. A napsugárzás elnyelő képesség javítása érdekében a kémény külső felülete fekete matt festékes bevonatot kapott.

Az abszorpció eredményeként a felület hőmérséklete jelentősen növekszik. A vizsgált konfigurációban a kémény hosszában, különböző magasságokban öt furat került kialakításra a hőmérséklet érzékelők befogadására. Továbbá hőelemek kerültek rögzítésre a kémény külső felületén, és a szárítóban különböző helyeken is.

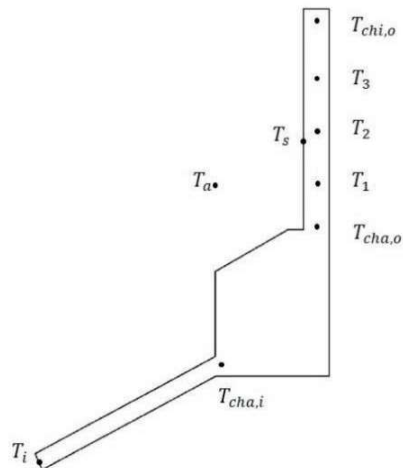
A kidolgozott matematikai modell állandósult működési körülményeket, egyenletes levegő belépési sebességet, a belépő levegő fizikai jellemzőinek lineáris hőmérséklet függését feltételezi. A mérések során a napsugárzás órás átlaga és a kéményben lévő levegő hőmérséklet átlaga került rögzítésre.



1. ábra. A napenergiás szárító vázlata

Terhelés nélküli körülmények között, vagyis a szárítóban nem volt szárítandó termék, kísérleti vizsgálatokat végeztünk a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) napenergiás laboratóriumában Gödöllőn (47°35'39.5" N és 19°21'59.7" E) szeptember végén. A mérési adatok, a globális napsugárzás (déli tájolású 45°-os dőlésszögű felületen), a környezeti levegő hőmérséklet, a kémény külső oldalának felületi hőmérséklete, a kollektorba belépő légáram sebessége, a kéménybe belépő- és kilépő levegő hőmérséklete a kísérletre kiválasztott napon 5 órás időtartamban, 10 percenként kerültek rögzítésre. Ha a napsugárzás ingadozása öt perc alatt nem haladja meg a 50 W/m²-t, akkor a „kvázi állandósult állapotbeli” körülmények feltételezhetők (Ong & Chow, 2003).

A hőmérsékletmérés a napenergiás szárító különböző pontjain egy nyolc csatornás hőmérséklet adatgyűjtővel történt a 2. ábrán látható helyeken. A napsugárzás mérés egy Kipp & Zonen CM-11 típusú, 5,54 × 10⁻⁶ V/Wm⁻² érzékenységgű globálisugárzás mérővel történt. A napsugárzással arányos, mért villamos feszültség jelet egy számítógépes mérő-adatgyűjtő rendszer Advantech ADAM-4017 típusú, 16 bites analóg bementi modulja alakította digitális jellé. A nap-



2. ábra. A napenergiás szárítóban telepített hőmérsékletérzékelők elhelyezése

kollektorba belépő levegő sebességének mérése egy Eurochron EC-MR 330 típusú, ± 5% pontosságú kézi anemométerrel történt.

A szárító kémény energetikai modellezése

A napenergiás szárító kéményében végbemenő hőátviteli folyamatok leírására egy energia egyensúlyi egyenlet alkalmazható. A kémény külső, egységnyi felületén elnyelt, napsugárzásból származó hőáram, a felületre beeső globálisugárzás és a felület hővesztességének különbségeként számítható:

$$q_{net} = \alpha_s I - U_o (T_s - T_a). \quad (1)$$

Az (1) egyenlettel számított napsugárzásból származó hőáram a kéményben lévő levegőt melegíti, vagyis átadódik a levegő munkaközegnek. A hőátvitel során állandósult állapotot feltételezve és a vezetéssel történő hőátvitelt elhanyagolva, a kémény felületén elnyelt hőáram a következő alakban írható:

$$\frac{\dot{m} C_p}{A_{ch}} \Delta T = \alpha_s I - U_o (T_s - T_a). \quad (2)$$

A kémény külső felületén végbemenő hőátviteli folyamatok, a hősugárzási és a konvektív hőátviteli tényezők, valamint a konvektív hőátvitelnél a szélesebbesség figyelembevétele miatt jóval összetettebbek, mint a belső felületen. A kémény felülete körüli szélesebbeségtől függően, a domináns mechanizmust, a természetes vagy kényszerkonvekciót kell kiválasztani a szél konvektív hőátviteli együtthatójának tényleges kiszámításához. A mérések során szeptember hónapban 2 m magasságban az átlagos szélesebbesség 3 m/s volt. McAdams (1954) a szél által indukált konvektív hőátadási együttható és a szélesebbesség között a következő összefüggést publikálta:

$$h_w = 5,7 + 3,8 V \quad V \leq 5 \text{ m/s}. \quad (3)$$

Cengel (2002) azt javasolja, hogy a természetes konvekció hatása elhanyagolható, amikor $Gr/Re^2 < 0,1$, a kényszerkonvekció hatása elhanyagolható, ha $Gr/Re^2 > 10$, és következésképpen mindkét hatást figyelembe kell venni, ha $0,1 < Gr/Re^2 < 10$. A külső felület és a környezet közötti teljes hőátviteli tényező a konvektív és a sugárzási komponensek alapján határozható meg:

$$U_o = h_w + h_r, \quad (4)$$

ahol h_r a sugárzási hőátviteli tényező, ami Duffie & Beckman (2013) alapján számítható:

$$h_r = \sigma \epsilon (T_s + T_{sky})(T_s^2 + T_{sky}^2). \quad (5)$$

Az égbolt hőmérséklet Fudholi et al. (2013) alapján számítva:

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1,5}. \quad (6)$$

Amikor napsugárzással hőt viszunk be a levegőbe, a levegő sűrűsége a hőmérséklettől függően változik, a gravitációs térben a hőmérséklet gradiens okozta sűrűségkülönbségek hatására áramlások indulnak. Természetes konvekcióban a felhajtóerő által indukált áramlást a kémény magassága, L alapján megadott Rayleigh-szám határozza meg:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} Pr. \quad (7)$$

A függőleges kémény függőleges síklemezként kezelhető, így a következő egyenlettel a Nusselt-szám számítás leegyszerűsödik:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr^{0.25}} \quad (8)$$

A Rayleigh-számot, pontosabban a Grashof-számot, a Gr_L -et általában a hőátadás során használják az aktuális áramlási rendszer (lamináris vagy turbulens) meghatározása céljából, amelynek ugyanolyan szerepe van, mint a Reynolds-számnak a kényszer konvekciós áramokban. Az áramlás fontos jellemzője a kémény felületén keresztüli hőátadás aránya. A kéményfal természetes konvekciójának átlagos Nusselt-száma, amelyet Cengel (2002) adott meg lamináris áramláshoz ($Ra < 10^9$):

$$\frac{hL}{\lambda} = Nu = 0.68 + (0.67Ra^{1/4})/[f_3]^{4/9}, \quad (9)$$

a turbulens áramláshoz ($Ra < 10^{12}$) pedig:

$$Nu = \{0.825 + (0.387Ra^{1/6})/[f_3]^{8/27}\}^2, \quad (10a)$$

ahol:

$$f_3 = 1 + (0.492/Pf)^{9/16}. \quad (10b)$$

Feltételezzük, hogy a vizsgált hőmérséklet tartományban a levegő fizikai tulajdonságai a hőmérséklettel ($^{\circ}\text{C}$) lineárisan változnak (Ong, 1995), akkor a paraméterek vonatkozásában a következő empirikus összefüggéseket alkalmazhatjuk:

$$\mu = [1.983 + 0.00184 (T_f - 27)] 10^{-5}, \quad (11)$$

$$\rho = [1.1774 - 0.00359 (T_f - 27)], \quad (12)$$

$$\lambda = [0.02624 + 0.0000758 (T_f - 27)], \quad (13)$$

$$C_p = [1.0057 + 0.000066 (T_f - 27)], \quad (14)$$

$$\beta = 1/T_f \quad (15)$$

A hőátviteli modell mérésekkel történt ellenőrzése két statisztikai jellemzővel, a korrelációs együtthatóval (R) és az átlagos abszolút százalékos hibával (Δ) történt:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{\text{exp},i} - \bar{y}_p)(y_{p,i} - \bar{y}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_{\text{exp},i} - \bar{y}_{\text{exp}})^2 \sum_{i=1}^N (y_{p,i} - \bar{y}_p)^2}}, \quad (16)$$

$$\Delta_{\text{avg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_{\text{exp},i} - y_{p,i}}{y_{\text{exp},i}} \right| \cdot 100\% \quad (17)$$

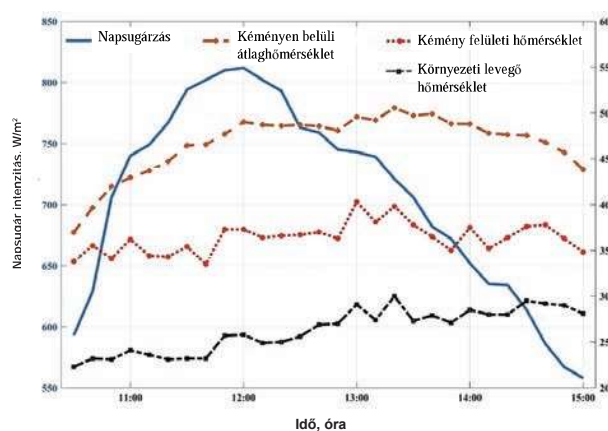
Eredmények és értékelésük

A hőmérséklet és a napsugárzás változása

A kéményhatás erőssége nagyban függ a kémény átlagos léghőmérséklete és a környező levegő hőmérséklete közötti különbségtől, valamint a napsugárzás intenzitásától. A 3. ábra a napsugárzás intenzitás, a környezeti levegő hőmérséklet, a kémény felületi hő-

mérséklet és a kéményben áramló levegő hőmérséklet átlagának változását ábrázolja 10:00 és 15:00 között a kísérlet elvégzésének napján.

A kéményben áramló levegő hőmérséklet átlaga a napsugárzás intenzitás növekedésével nőtt, a maximumot 13 óra körül elérve. A napsugárzás intenzitás 558-812 W/m^2 , míg a kéményben áramló levegő hőmérséklet átlaga 37-51 $^{\circ}\text{C}$ között változott. A kémény felületi hőmérséklet 34-40 $^{\circ}\text{C}$, a környezeti hőmérséklet 22-30 $^{\circ}\text{C}$ között változott. Az elvégzett kísérlet során a globális napsugárzás intenzitás a 812 W/m^2 maximumot 12 órakor érte el, a környezeti levegő hőmérséklet maximuma 30 $^{\circ}\text{C}$, a kémény felületi hőmérséklet maximuma 42 $^{\circ}\text{C}$ és a kéményben áramló levegő hőmérséklet átlagának maximuma 52 $^{\circ}\text{C}$ értékkel 13 óra körül volt megfigyelhető. Az is látható, hogy a hőmérsékletkülönbség maximuma a kéményben lévő léghőmérséklet átlag és a környezeti hőmérséklet között 23,8 $^{\circ}\text{C}$ volt a maximális napsugárzásnál. Ez a hőmérséklet különbség biztosította a kéményben a felhajtóerő kialakulását.



3. ábra. A napsugárzás intenzitás és a mért hőmérsékletek változása a mérési időszakban

Hőátviteli tényezők

Az 1. táblázat a kémény felülete által elnyelt energia, a kéményben áramló levegő tömegáram, a Rayleigh- és a Nusselt-szám számítási eredményeit mutatja be a különböző napsugárzás intenzitás értékek esetén. Megfigyelhető, hogy a kémény felszíne a besugárzott napenergia körülbelül 70%-át abszorbeálta. A felületi abszorpciós képesség a napsugárzás intenzitásától függ, és a napsugárzással együtt növekszik. A számított Rayleigh szám értékek szerint az áramlásokra a turbulens áramlás a jellemző. A Nusselt szám számításához a függőleges hengeres kémény sík lemezként kezelhető, mert kielégíti a (8)-as egyenletet. A kémény külső és belső légáramának Nusselt száma a (10a) és (10b) egyenlettel számítható és ez alapján a természetes konvekció a jellemző ($Gr/Re^2 > 10$).

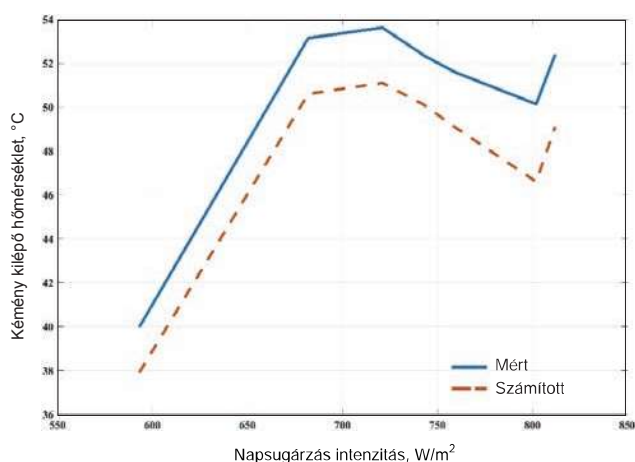
A kéményből kilépő levegő hőmérséklet számítása

A kémény külső felülete sugárzási és konvektív hővesztésnek is ki van téve. A konvektív hőátadási együttható becsléséhez először elemezni kell a Grashof és a Reynolds szám értékeit, ez alapján a Grashof szám volt domináns, nem a Reynolds szám. Ezután a (10a) és (10b) egyenletet alkalmaztuk a konvektív hőátviteli együttható becslésére. A kéményből kilépő levegő hőmérséklet számítás a (2) egyenlettel, különböző napsugárzás, tömegáram, valamint környezeti- és kémény felületi hőmérsékleteknél történt. A kéményből kilépő számított levegő hőmérsékletek és az elvégzett kísérlet

1. táblázat. Az elnyelt energia, a légtömegáram és a Nusselt szám számított adatai

Napsugárzás intenzitás	Elnyelt energia	Rayleigh szám ($\cdot 10^9$)		Nusselt szám		Tömegáram
		Külső	Belső	Külső	Belső	
(W/m ²)	(W/m ²)					(g/s)
550	394,64	4,17	4,33	159,83	161,81	1,37
600	433,86	4,47	4,31	163,45	161,51	1,44
650	456,14	5,00	4,55	169,70	164,54	1,41
700	485,00	5,86	4,41	179,00	162,77	1,53
750	545,20	5,32	4,07	173,24	158,50	1,89
800	565,73	6,51	4,27	185,31	161,05	1,86

során mért értékek összehasonlítását a 4. ábra mutatja. A számított és a kísérlet során mért hőmérsékletek különbségének eltérése kevesebb, mint 10% volt. Ez az eltérés a 0,977 korrelációs együtthatóval és 5%-os átlagos abszolút százalékos hibával elfogadható.



4. ábra. A mért és a számított hőmérséklet változás a napsugárzás intenzitás függvényében

Összefoglalás

Javasolt matematikai összefüggéseket alkalmaztunk a közvetített passzív napenergiás szárítóra szerelt hengeres kémény hőátvitelének számítására. A dolgozatban a Nusselt, a Reynold és a Rayleigh szám került felhasználásra a napenergiás szárító kémény hőátviteli viszonyainak vizsgálatára, értékelésére. A hőátviteli együttható meghatározásához mérésel került meghatározásra a napsugárzás intenzitása, a légáram sebessége, a környezeti levegő hőmérséklete, a kémény külső felületi hőmérséklete és a kémény belsejében áramló levegő hőmérséklete. A kísérletek során a környezeti hőmérséklet és a kémény belsejében lévő átlagos lég-hőmérséklet között 23,8 °C maximális hőmérséklet különbség volt megfigyelhető. A környezet felé azonban nagy volt a hőveszteség, a kémény alacsony külső felületi hőmérséklete miatt. Az elvégzett kísérlet kiértékelése alapján megállapítható, hogy az áramlás típusa turbulens volt, a kémény belsejében és a kémény külső oldalán a jellemző hőátviteli mód, mindkét áramlás esetén a természetes konvekció volt. Az alkalmazott matematikai modellel, a szárító kéményből kilépő számított levegő hőmérséklet és a kísérlet során mért kilépő hőmérsékletek közötti korrelációs együttható 0,977 értékkel jellemezhető. A kísérlet során szerzett tapasztalatok alapján az javasolható, hogy a fényt át nem engedő felületű kéményt, a napsugárzást jobban hasznosító, a déli oldalon napsugárzást át-

bocsátó borítással kialakított kéménnyel helyettesítve, a környezet felé kialakuló hőveszteség csökkenne.

Jelölések jegyzéke

A_{ch}	kémény felület	m ²
c_p	fajhő	Jkg ⁻¹ K ⁻¹
h	hőátviteli tényező	Wm ⁻² K ⁻¹
I	napsugárzás intenzitás	Wm ⁻²
$\dot{m}$	levegő tömegáram	kg s ⁻¹
q_{net}	napsugárzásból a kémény felületén elnyelt hőáram	Wm ⁻²
T	hőmérséklet	K
U_o	teljes hőátviteli együttható	Wm ⁻² K ⁻¹
V	szélsebesség	ms ⁻¹
y_{exp}	kísérlet során mért érték	°C
y_p	számított érték	°C
Nu	Nusselt szám	–
Pr	Prandtl szám	–
Ra	Rayleigh szám	–
Re	Reynolds szám	–
R	korrelációs együttható	–

Görög betűk

α_s	fekete matt felület sugárzáselnyelő képessége	–
β	a levegő térfogat-tágulási együtthatója	K ⁻¹
Δ	átlagos abszolút százalékos hiba	%
ϵ_s	fekete matt felület emissziós tényezője	–
λ	a levegő hővezető képessége	Wm ⁻¹ K ⁻¹
μ	a levegő dinamikus viszkozitása	kgm ⁻¹ s ⁻¹
ν	a levegő kinematikai viszkozitása	m ² s ⁻¹
ρ	sűrűség	kgm ⁻³
σ	Stefan-Boltzmann állandó	Wm ⁻² K ⁻⁴

Indexek

a	környezet
f	átlagos léghőmérséklet
i	belépő
o	kilépő
r	sugárzási
s	kémény felület
sky	égbolt
w	szél

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Stipendium Hungaricum Program és a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola támogatásával valósult meg.

Felhasznált irodalom

- [1] Bassey, M.W., Oosthuizen, P.H., Sarr, J. (1994): Using heated chimneys and reduced collector air gap height to improve the performance of indirect passive solar dryers, *Renewable Energy*, Vol. 4, No. 2, pp. 169-178.
- [2] Cengel, Y.A. (2002): *Heat transfer: A practical approach*, McGraw-Hill, pp. 466-468.
- [3] Duffie J.A., Beckman W.A. (2013): *Solar engineering of thermal processes*, Wiley, pp. 147-149.
- [4] Ekechukwu, O.V., Norton, B. (1997): Design and measured performance of a solar chimney for natural-circulation solar-energy dryers, *Renewable Energy*, Vol. 10, No. 1, pp. 81-90.
- [5] Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M.H., Othman, M.Y., Yahya, M. (2011): Thermal efficiency of double pass solar collector with longitudinal fins absorbers, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 8, No. 3, pp. 254-260.
- [6] Habtay, G., Farkas, I. (2019): Heat transfer calculation of chimney applied for indirect solar dryer, in: *Proceedings of 7th European Drying Conference*, Torino, Italy, July 10-12, 2019, pp. 128-132.
- [7] Koyuncu, T. (2006): An investigation on the performance improvement of greenhouse-type agricultural dryers, *Renewable Energy*, Vol. 31, No. 7, pp. 1055-1071.
- [8] McAdams, W.H. (1954): *Heat transmission*, McGraw-Hill, New York.
- [9] Ong, K.S., Chow, C.C. (2003): Performance of a solar chimney, *Solar Energy*, Vol. 74, No. 1, pp. 1-17.
- [10] Ong, K.S. (1995): Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure. *Solar Energy*, Vol. 55, No. 2, pp. 93-109.
- [11] Ramakrishna, K., Rubin, S.G., Khosla, P.K. (1982): Laminar natural convection along vertical square ducts, *Numerical Heat Transfer*, Vol. 5, No. 1, pp. 59-79.
- [12] Shiri, A., George, W.K., (2012): Experimental Study of the Near Wall Region of a Natural Convection Driven Flow Next to a Vertical Cylinder, In: Oberlack M., Peinke J., Talamelli A., Castillo L., H lling M. (eds) *Progress in Turbulence and Wind Energy IV*, Springer Proceedings in Physics, Vol. 141, Springer, Berlin, pp. 287-291.