

## MEGÚJULÓ ENERGIÁVAL TÖRTÉNŐ MELEGÍTÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉSE SZOLÁRIS FŐZŐEDÉNYBEN

### MATHEMATICAL MODELLING OF HEATING WITH RENEWABLE ENERGY IN A SOLAR POT

RÁTKAI MÁRTON – KICSINY RICHÁRD – SZÉKELY LÁSZLÓ  
ratkai.marton.3@phd.uni-mate.hu

#### Összefoglalás

*A kutatás tárgya, a szoláris főzőedény, egy új találmány, amely a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalában, 2021-ben kapott használatiminta-oltalmat, 5489-es lajstromszám alatt. Az edény ételek, italok (vagy egyéb folyadékok) melegítésére vagy főzésére használható. Felépítését tekintve, egy cső a csőben hőcserélőhöz hasonlóan, rendelkezik egy külső köpennyel és egy belső főzőtérrel. A főzőedény fizikálisan már legyártásra került, a rajta végzett vizsgálatok folyamatosan zajlanak. A jelen munka a berendezés matematikai úton történő vizsgálatát tűzi ki célul matematikai modellek és számítógépes szimulációk segítségével. Célunk a szoláris főzőedény modellezése, amely lehetővé teszi a főzőedény hőmérsékletének előrejelzését. Bemutatásra kerül a főzőedény matematikai modellezése, valamint a modellezéshez kapcsolódó első szimulációs eredmények, amelyek alapján következtetések vonhatók le a főzőedény működésének hatékonyságára és gyakorlati alkalmazhatóságára vonatkozóan. A környezetbarát főzőedény az eredmények alapján képes főzési feladatok ellátására. Használata egy főzés alkalmával 247 grammal csökkenti a széndioxid-kibocsátást. A jövőbeni kutatási tervek között szerepel a főzőedényből és a napkollektorból álló kísérleti rendszer megépítése, a rendszer és a rendszerelemek további modellezése és a rendszeren mérések elvégzése különböző időjárási körülmények között. A tervezett kísérleti vizsgálatok majd lehetővé teszik a matematikai modellek validálását és a főzőedény működőképességének felmérését.*

**Kulcsszavak:** napenergia, szoláris főzőedény, matematikai modellezés, szimuláció

**JEL kód:** Q55, Q20, C20

#### Abstract

*The subject of this research is the solar pot, a new invention. It became protected at the Hungarian Intellectual Property Office as a utility model (patent number 5489) in 2021. The solar pot can be used to cook food or heat liquids. It has a similar jacketed structure to a tube-in-tube heat exchanger. It has an outer jacket and an inner cooking space. The solar pot has been manufactured but not tested yet through modelling and simulation or with measurements or experiments. These kind of examinations represent a completely new field of research. This paper aims to create a mathematical model for the solar pot, which allows the calculation of the pot's temperature. The modelling and the first results of the simulation based on it are presented. Based on the results, conclusions can be drawn regarding the applicability and efficiency of the solar pot. The environmentally friendly pot can perform cooking tasks. Its use reduces carbon dioxide emission by 247 g on one cooking occasion. Future research plans*

*include assembling an experimental solar pot and solar collector system and creating additional models of the system and the system elements. Measurements will be made on the experimental system under different conditions, which allows the assessment of the applicability and functionality of the pot and the validation of the mathematical models.*

**Keywords:** *solar energy, solar pot, mathematical modelling, simulation*

## Bevezetés

A nap által biztosított hőenergiát felhasználják ételek különböző módokon történő kezelésére. Ilyen például a szárítás (FARKAS 2003, LAMRANI et al., 2022), a sütés, főzés (SAXENA – AGARWAL 2018, ZHAO et al., 2018), melegítés vagy melegen tartás. Ismeretesek napsugárzási energiával működtetett szoláris ételkészítő eszközök, amelyeknél a napenergia közvetlenül egy felületet, vagy annak mentén levegőt hevít egy zárt dobozban, és a hő onnan adódik át a dobozban elhelyezett zárt edényre (SAXENA et al., 2020). Ezzel a megoldással ételek főzéssel történő készítése sok esetben nem oldható meg (BIGELOW et al., 2024). Léteznek azonban olyan kialakítású szoláris tűzhelyek, amelyek képesek a főzéshez szükséges hőmérséklet előállítására. Jellemző típusok a fényvisszaverő paneles (GUPTA et al., 2021), a fényvisszaverő parabolás (RUIVO et al., 2022, SAINI et al., 2023) és a vákuumcsöves szoláris tűzhely (HOSSEINZADEH et al., 2020). Ezek úgynevezett közvetlen típusú ételkezelők. A közvetett típusúak napkollektor segítségével állítják elő az ételkezeléshez szükséges hőenergiát.

ZHOU et al., (2023) egy napkollektoros, hőtárolós szoláris tűzhelyet vizsgáltak Kínában, amely hőszállító közegként olajat használ. A rendszer fő elemei a napkollektor, a hőtároló és a főzőlap, amely egy fűtőszállal kiegészítve hagyományos villamos főzőlappá alakítható, lehetővé téve a főzést akkor is, amikor nem áll rendelkezésre elegendő napenergia. A kutatás fő célja egy kvarcitból készült hőtároló közeg rendszerre gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Ehhez a rendszer teljesítményét leíró matematikai modellt készítettek. A kőzetből készült hőtárolós kialakítást egy és két hőtároló tartályos változattal hasonlították össze. Az eredmények alapján a kvarcit hőtárolóval rendelkező változat növeli a rendszer teljesítményét, valamint a beruházási költség is csökken. A főzés fajlagos költsége 0,3884 USD/kWh volt, a szoláris részarány 71%. Villanytűzhely kiváltására használva a berendezést az éves széndioxid-kibocsátás csökkenése 1,75 tonna, gáztűzhely esetén 0,52 tonna. HOSSEINZADEH et al., (2021) nanofolyadék munkaközegű, közvetett típusú szoláris ételkezelővel kapcsolatos kutatásokat végeztek. A rendszer egyik fő eleme a parabolikus napkollektor, amelynek fókuszpontján a munkaközeg átáramoltatva az felmelegszik. A másik fontos elem a főzőegység, amely egy rézfazékból és az azt körülvevő (ráteker) rézcsőből áll. A felmelegített munkaközeg ebben a csőben áramlik, így adva át a hőt a főzőtérnek. A főzőegység és a kollektor közé még egy külön folyadéktartályt is beépítettek, amelyen a munkaközeg szintén átáramlik. A parabolikus kollektorból, a spirális hőcserélőből és a kiegészítő tartályból adódóan, a rendszer felépítése összetettebb, és így a megvalósítása nyilvánvalóan drágább, mint az általunk vizsgált szoláris főzőedényes rendszeré, amely szokványosabb, vákuumcsöves kollektort és egyszerű, köpenyes hőcserélős főzőedényt használ. A szerzők annak hatását vizsgálták, hogy nanoméretű részecskéket a munkaközegként szolgáló olajhoz keverve, a részecskék tömeghányada és a közeg térfogatárama hogyan befolyásolják a rendszer energiahatékonyságának alakulását. A tömeghányadot 0 és 0,5 tömeg%, a térfogatáramot 0,25 és 0,55 liter/perc között változtatták. Vizsgálataik alapján kiderült, hogy míg a térfogatáram növelésével a kollektor hatékonysága folyamatosan nő, a főzőegység esetén 0,25 liter/perc-nél érhető el a legnagyobb hatékonyság. A tömeghányad növelése mindkét fő részegység esetében növeli az energiahatékonyságot. A teljes rendszer energiahatásfoka 0,5 tömeg%-os

részecskekoncentráció és 0,25 liter/perces térfogatáram esetén, 20,08%-kal, növekszik, valamint 2 liter, 30°C hőmérsékletű vizet 31,51%-kal kevesebb idő alatt lehetett felforralni, mint a csak olajjal működő változat esetében. HUSSEIN et al., (2008) Egyiptomban elkészítettek egy reflektorokkal ellátott síkkollektoros, közvetett típusú szoláris tűzhelyet, amelynél hőtárolóként fázisváltó anyagot, magnézium-nitrát-hexahidrátot használtak, acélforgáccsal keverve. A berendezés a déli és a délutáni órákban képes általános ételek főzésére, az esti időszakban olyan speciális ételek készíthetők vele, amelyek alacsony hőmérsékleten, hosszú idő alatt is megfőnek (pl. bab), az éjszakai és reggeli órákban pedig az ételek melegen tartására vagy felmelegítésére használható. Fázisváltó anyaggal kapcsolatos kutatás található a GHABOUR – KORZENSZKY 2020 forrásban is. GETNET et al., (2023) azt vizsgálták egy víz munkaközegű síkkollektorral szerelt, fázisváltó anyagot tartalmazó hőtároló tartállyal kiegészített, indirekt szoláris ételkezelőnél, hogy a kollektort reflektorokkal kiegészítve, hogyan változik a rendszer teljesítménye. Arra jutottak, hogy reflektor nélkül az abszorber legnagyobb átlaghőmérséklete 92°C, a kilépő munkaközeg legnagyobb hőmérséklete 71°C, a legnagyobb energiahatékonyság pedig 63%. Látható, hogy a rendszer így főzésre nem, inkább csak melegítésre alkalmas. Ezzel szemben a reflektorokkal történt kiegészítésnek köszönhetően ezek az értékek rendre 130°C-ra, 103,65°C-ra, valamint 79%-ra adódtak. A berendezéssel kísérletet tettek 1 kg rizs és 1 kg tészta 1,5 liter vízben történő megfőzésére. Mindkét esetben sikerrel jártak. Megemlítendő, hogy a berendezés teljesítményének növelése érdekében végzett kiegészítések jelentősen megnövelték a rendszer összetettségét. Az általunk vizsgált rendszer egyszerűbb kialakítású, fázisváltó anyagot nem tartalmaz. KUMAR et al., (2001) egy szoláris gyorsfőzőt vizsgáltak, melyhez egy vákuumcsöves kollektort csatlakoztatva biztosították a működéshez szükséges energiát. A kollektorban felmelegedő víz közvetlenül, hőcserélő közbeiktatása nélkül kerül a (nyomás alatti) főzőtérbe. Így, üzem közben, a hőkezelt nyersanyag/étel állapota bizonyára nehezen ellenőrizhető. Az általunk vizsgált rendszer praktikusabb, a főzőtér üzem közben is hozzáférhető, mivel hidraulikusan elválasztott a nyomás alatti kollektorkörtől. KUMAR et al., (2001) kísérletekkel vizsgálták a berendezésük termikus viselkedését, különböző időjárási körülmények között (sugárzásintenzitás, környezeti hőmérséklet), különböző tömegű víz forralására vonatkozóan. Eredményeik alapján nagyobb tömegű víz arányaiban kevesebb idő alatt forr fel, tehát nagyobb mennyiség főzése esetén javul a rendszer hatásfoka. SCHWARZER – KRINGS (1996) egy nagyméretű, energiával egyszerre több főzőegységet ellátni képes főzőrendszert készítettek. A síkkollektoros rendszer egy olajból és kőből készített hőtárolót is tartalmaz, a főzőegységeken kívül. A munkaközeg áramlása nem kényszerített, szivattyúra nincs szükség. A rendszert sikeresen használták ételkészítésre több fejlődő országban (pl. Mali, India). A kutatásunk tárgyát képező rendszer ezzel szemben szivattyúval működik, így az elhelyezése/kivitelezése kevésbé kötött módon történhet, továbbá egyszerűbb és külön hőtárolót nem tartalmaz.

Az általunk vizsgált rendszer fő elemei a napkollektor és a szoláris főzőedény. A szakirodalomban található kollektormodellek és napkollektoros rendszerekre vonatkozó modellek is (BUZÁS – FARKAS 2000; CASTELLANOS et al., 2020; IRANMANESH et al., 2020, GHABOUR – KORZENSZKY 2023, GHABOUR et al., 2021), azonban a főzőedényre, mivel új találmány, még nem alkottak modellt. A szoláris főzőedény felépítését tekintve hasonlítható egy cső a csőben hőcserélőhöz vagy egy szolár tárolóhoz, amelyekre vonatkozó modellek már szerepelnek az irodalomban. Két fő modelltípus létezik. Az egyik a fekete doboz típusú, a másik a fizikai alapú modell. A fizikai alapú modell a modellezett rendszer vagy folyamat fizikai hátterén alapszik, amelyet emiatt, összetett rendszer esetén, gyakran nehéz felállítani (KALOGIROU et al., 1999). A fekete doboz típusú modellezésnél nem vesszük figyelembe a fizikai hátteret, eredményorientáltabb megközelítést jelent, a modell megalkotása jellemzően egyszerűbb (BRUS – ZAMBRANO 2010; ZHENG et al., 2023).

A síkkollektorokra megalkotott Hottel-Whillier-Bliss fizikai alapú, matematikai modellel (HOTTEL – WOERTZ 1942; HOTTEL – WHILLIER 1955) leírható a munkaközeg hőmérséklet-eloszlása a kollektor hossza mentén a hely és az idő függvényében. BUZÁS et al., (1998) egy olyan fizikai alapú matematikai modellt dolgoztak ki, amellyel egy síkkollektor időbeli viselkedése írható le. A kilépő munkaközeg hőmérsékletének becslését egy, a kollektorra jellemző energiaegyensúly alapján felírt, differenciálegyenlet teszi lehetővé. HILMER et al., (1999) bemutatnak több, különböző, üvegezetlen síkkollektor dinamikus viselkedését leíró, fizikai alapú matematikai modellt. MAO et al., (2019) egy olyan, fűtésre és használati melegvíz előállításra használható, berendezés lehetőségét vizsgálták, amelynél a kollektort egy tükörrel párosítják. Ehhez kapcsolódóan vákuumcsöves kollektorokra alkottak meg egy fizikai alapú modellt, amely a kollektort érő teljes napsugárzás becslésére használható. GÉCZYNÉ VÍG (2007) egy olyan, a fekete doboz típusú modellek közé tartozó, neurális hálót alkotott meg, amellyel síkkollektor termikus viselkedése modellezhető. A napsugárzás intenzitása, a környezeti hőmérséklet és a kollektorba belépő munkaközeg hőmérséklete ismeretében, állandó tömegáram mellett, a modellel a kilépő hőszállító közeg hőmérséklete előre jelezhető. KICSINY (2014) egy fekete doboz típusú, többváltozós lineáris regresszió alapuló modellt dolgozott ki napkollektorokra. Eredményként a kilépő munkaközeg megfelelő hőmérséklete számítható. Az identifikált és validált modell összehasonlításra került a BUZÁS et al., (1998) fizikai alapú modellel, amelynél jóval pontosabban volt képes előre jelezni a kilépő munkaközeg hőmérsékletét. A modell jelentősége a megfelelő pontosság (5%-nál jobb átlagos pontosság) mellett, hogy egyszerűsége révén kis számításigénnyel rendelkezik és bármilyen kollektortípus esetén (például vákuumcsöves kollektor) használható.

A forrásokban több kevert tárolóra vonatkozó modell is található. BUZÁS – FARKAS (2000) fizikai alapú matematikai modellt dolgoztak ki. Egy közönséges differenciálegyenlet, amely a tartály energiaegyensúlyán alapszik, teszi lehetővé a tartály hőmérsékletének kiszámítását. A modell nem veszi figyelembe a szolár tároló anyagának hőkapacitását. HIRIS et al., (2022) kevert tárolóra, a tartályra jellemző hőegyensúly alapján, fizikai alapú matematikai modellt alkottak meg, amellyel a tároló hőmérséklete számítható. Hasonló modell található a BADESCU (2008) forrásban is. KICSINY (2018) egy olyan, fekete doboz típusú, többváltozós lineáris regresszió alapuló modellt dolgozott ki kevert szolár tárolókra, amellyel a tároló geometriai értelemben vett átlaghőmérséklete határozható meg.

A cső a csőben hőcserélők modellezésénél leggyakrabban energiaegyensúlyt feltételeznek a két oldal munkaközegei között, elhanyagolva a környezeti hőcserét. (BRADLEY 2010, PACIO – DORAO 2011, ZOHURI 2017). GÉCZI et al., (2019) az általunk vizsgált főzőedényhez hasonló cső a csőben hőcserélőkre dolgoztak ki különböző matematikai modelleket. A megalkotott fizikai alapú modell a környezettel történő hőcserét is figyelembe veszi. Kidolgoztak továbbá egy fekete doboz típusú, többváltozós lineáris regresszió alapuló, a környezeti hőcserét szintén figyelembe vevő, matematikai modellt is. Egy hőcserélőn végzett mérések segítségével validálták a modelleket. Az eredmények alapján a fizikai alapú modell pontosabban képes becsülni a kilépő munkaközeg hőmérsékletét, mint az energiaegyensúlyt feltételező változat, ha a környezettel történő hőcsere nem elhanyagolható. A fekete doboz modell pedig mindkét modellnél pontosabbnak bizonyult, számottevő környezeti hőcsere esetén. ZAVALA-RÍO – SANTIESTEBAN-COS (2007) tanulmányában cső a csőben hőcserélőkre vonatkozó fizikai alapú modellek találhatók. Az első egy elosztott paraméterű modell, mellyel a hőcserélő hideg és meleg oldali munkaközegének hőmérséklete számítható. A második egy másodrendű koncentrált paraméterű modell, amellyel a hideg és meleg oldali munkaközegek kilépő hőmérséklete határozható meg. A szerzők következtetése szerint a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség megközelítésen alapuló, másodrendű koncentrált paraméterű modellek megbízhatóan képesek leírni a hőcserélők dinamikáját.

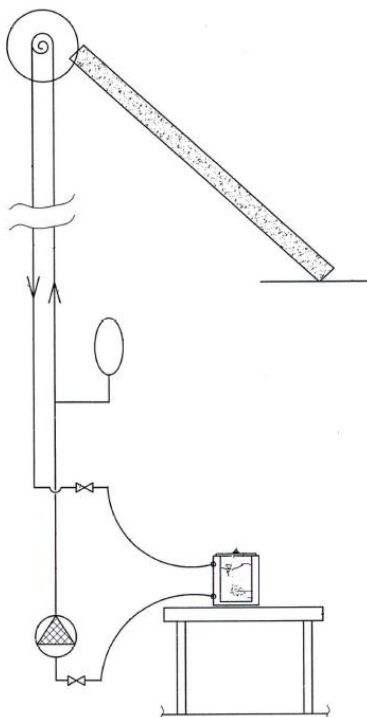
## Anyag és módszer

A kutatás tárgya, a szoláris főzőedény (1. ábra), egy új találmány, amely a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalában, 2021-ben kapott használatiminta-oltalmat, 5489-es lajstromszám alatt (GÉCZI – KICSINY, 2021).



1. ábra A szoláris főzőedény Figure 1. The solar pot

Az edény ételek, italok (vagy egyéb folyadékok) környezettudatos és energiahatékony melegítésére vagy főzésére használható. Felépítését tekintve, egy cső a csőben hőcserélőhöz hasonlóan, rendelkezik egy külső köpennyel és egy belső főzőtérrel. Utóbbiban zajlik a melegítés vagy főzés. A köpeny a (belső) tartály külső felülete mentén, zárt hidraulikai egységet képezve egy biztonsági szeleppel is ellátott napkollektorral (megfelelő csövekkel kapcsolódva ahhoz), hevítőfolyadék (víz vagy kollektorfolyadék) keringtetése által, melegíti a tartályt. A köpenybeli, tehát a hevítőtérben cirkuláltatott, és a tartályban lévő, tehát főzőtérbeli folyadékok hidraulikusan el vannak választva egymástól, tehát a főzés vagy élelmiszer-melegítés higiénikusan, a vonatkozó élelmiszerlánc-biztonsági előírásoknak megfelelő módon történhet. A szoláris főzőedény nemcsak élelmiszer készítésére szolgálhat, hanem a már elkészített élelmiszer újramelegítésére, illetve folyadékok más célú melegítésére is használható. A berendezéssel tehát a főzés vagy melegítés 100%-ban megújuló, környezetbarát módon, napsugárzási energiával valósítható meg. A főzőedény fontos előnye, hogy meglévő (használati melegvíz termelő vagy fűtési célú) napkollektoros rendszerekbe is beépíthető, és akár egy szolár tárolóval felváltva is használható. A főzőedény egy olyan közvetett ételkezelő, amely bármilyen, folyadék munkaközegű napkollektortípussal használható, továbbá elégtelen napsugárzás-intenzitás esetén melegíthető főzőlappal vagy tűzhelyen, kiegészítő lehetőségként. A főzőedényből és napkollektorból álló rendszer vázlatát a 2. ábra mutatja.



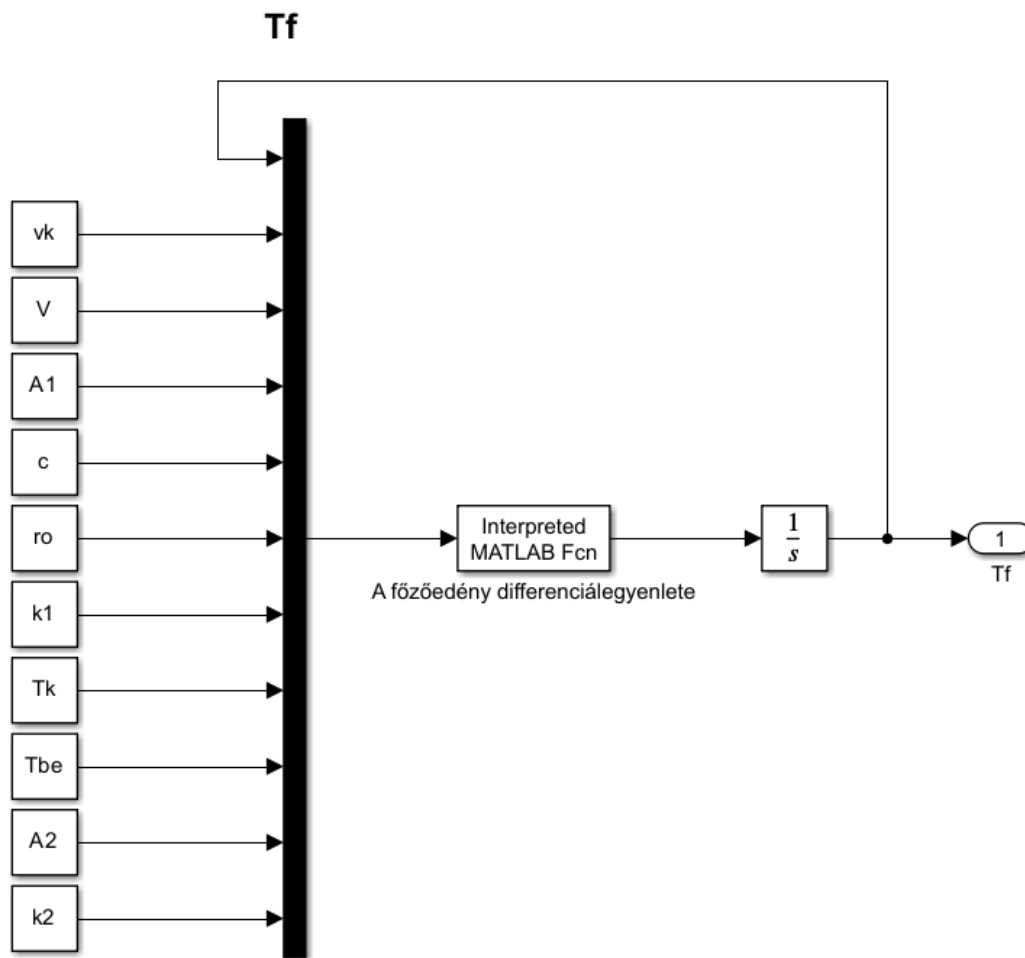
**2. ábra A rendszer vázlata / Figure 2. Outline of the system (GÉCZI - KICSINY 2021)**

A főzőedény fizikailag már legyártásra került, a rajta végzett vizsgálatok folyamatosan zajlanak. A jelen munka a berendezés matematikai úton történő vizsgálatát tűzi ki célul matematikai modellek és számítógépes szimulációk segítségével. Célunk a szoláris főzőedény matematikai modellezése, amely lehetővé teszi a főzőedény hőmérsékletének előrejelzését. Bemutatásra kerül a főzőedény matematikai modellezése, valamint a modellezéshez kapcsolódó első szimulációs eredmények, amelyek alapján következtetések vonhatók le a berendezés működésének hatékonyságára és gyakorlati alkalmazhatóságára vonatkozóan.

A megalkotott fizikai alapú matematikai modellel a szoláris főzőedény hőmérséklete becsülhető. Az energiaegyensúlyon alapuló modell készítése során egyszerűsítésként a köpenyes felépítést elhanyagoltuk. A modellt a Matlab és Simulink programcsomag segítségével készítettük. A modellt az 1. egyenlet mutatja:

$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{v_k}{V} \cdot (T_{be} - T_f) + \frac{A_1 \cdot k_1 + A_2 \cdot k_2}{\rho \cdot c \cdot V} \cdot (T_k - T_f), \quad (1)$$

ahol  $v_k$  a szivattyú térfogatárama [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $V$  a főzőedény térfogata [ $\text{m}^3$ ],  $T_{be}$  a napkollektor felől a köpenybe belépő közeg hőmérséklete [ $^\circ\text{C}$ ],  $A_1$  a főzőedény külső felülete a fedél nélkül [ $\text{m}^2$ ],  $k_1$  a főzőedény hőveszteségi tényezője [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ],  $A_2$  a fedél felülete [ $\text{m}^2$ ],  $k_2$  a fedél hőveszteségi tényezője [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ],  $\rho$  a víz sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $c$  a víz fajhője [ $\text{J}/\text{kgK}$ ],  $T_k$  a környezeti hőmérséklet [ $^\circ\text{C}$ ],  $T_f$  a főzőedény hőmérséklete [ $^\circ\text{C}$ ]. A modell egy differenciálegyenlet, amellyel a főzőedény hőmérséklete számítható. A köpenyes felépítést elhanyagoltuk, ezért az egyenlet arra az egyszerűsített esetre van felírva, amikor a napkollektorból érkező felmelegített közeget közvetlenül keringtetjük a főzőedényen keresztül, hidraulikus elválasztás nélkül. A modell Matlab és Simulink környezetben történt megvalósítását az 3. ábra mutatja.



3. ábra A Simulink modell Figure 3. The Simulink model

Az egyszerűsített modell segítségével szimulációs feladatokat végeztünk el, melyek futási ideje 1 óra volt. Szigeteléssel és szigetelés nélkül is vizsgáltuk a szoláris főzőedényt különböző szivattyú térfogatáramok és a napkollektor felől belépő munkaközeg-hőmérsékletek esetén. Térfogatáram értékei: 100, 150, és 200 l/h. Belépő közeg hőmérsékletek: 90, 95, 100 és 105°C. Az edénnyel összekapcsolt napkollektor légköri nyomásnál nagyobb nyomáson is képes működni, így a főzőedénybe belépő víz hőmérséklete meghaladhatja a 100°C-ot. Az edény anyaga rozsdamentes acél, falvastagsága 2 mm. A szigetelés 50 mm vastag polietilén szigetelő anyagból készült. A főzőedény főzőterében nem uralkodik túlnyomás, a fedelét bármikor szabadon levehetjük. A fedél a vizsgálatok során nincs a főzőedényen, ezért a főzőedény környezettel határos felületét két részre osztottuk. A fedél felülete 0,018 m<sup>2</sup>, ahol a hőátzármaztatási tényező 132,5 W/m<sup>2</sup>K, míg a főzőedény maradék felülete 0,2129 m<sup>2</sup>, ahol a hőátzármaztatási tényező szigetelés nélkül 20,3 W/m<sup>2</sup>K, szigeteléssel pedig 0,733 W/m<sup>2</sup>K. A hőátzármaztatási tényezők CAO (2010) alapján vett átlagos értékek. A modell további bemenetei a főzőedény térfogata, amely 8,109 liter, a munkaközegként szolgáló víz fajhője és sűrűsége, melyek rendre 4200 J/kg°C és 1000 kg/m<sup>3</sup> (hőmérsékletfüggésüket elhanyagoljuk) és a környezeti hőmérséklet. Utóbbi, amely egyben a főzőedény hőmérséklete is a kiindulási pillanatban, 25°C, mivel az edény egy klimatizált helyiségben található. A vizsgálatok eredményei közé tartozik a hővesztés, amit a napkollektornak kompenzálnia kell a főzőedény hőmérsékletének fenntartásához, az állandósult állapot megközelítéséhez szükséges idő, az edény hőmérséklete az állandósult állapot megközelítésekor, a belépő és főzőedény hőmérsékletek közötti különbség az állandósult állapot közelében és a 73,9°C eléréséhez szükséges idő a különböző körülmények között. 73,9°C az ételek csírátlanításához szükséges

legkisebb főzési hőmérséklet USDA (2024) szerint. Az állandósult állapotot valójában sosem érjük el. Megközelítése akkor következik be, amikor a főzőedény hőmérsékletének változása  $0,01^{\circ}\text{C}/\text{percnél}$  kisebb. A hőveszteség számítása a hőátzármaztatási tényezők, a hőátadó felületek és a hőmérséklet-különbségek alapján került meghatározásra. Az eredmények alapján következtetések vonhatók le a szoláris főzőedény főzési képességeire vonatkozóan. A jövőben tervezzük a főzőedényből és az azzal összekapcsolt vákuumcsöves napkollektorból, mint két fő részegységből, álló rendszer fizikai megvalósítását, további összetettebb (a köpenyes felépítést figyelembe vevő) modellek készítését és a modellek, a rendszeren végzett mérési adatok segítségével történő, validálását.

A szoláris főzőedénnyel elérhető a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése, melynek mértéke a következőképpen került kiszámításra. Egy négytagú család átlagosan  $1,2 \text{ kWh}$  energiát fogyaszt főzés során egy nap alatt, amennyiben villamos főzőlapot használ (DANLEY, 2019). Magyarországon  $1 \text{ kWh}$  villamos energia előállítása a 2023. évi átlag alapján  $206 \text{ g}$  szén-dioxid-kibocsátással jár (NOWTRICITY, 2024). Az előzőek alapján a megtakarítás villamos főzőlap használatához képest meghatározható.

## Eredmények

A szigetelés nélküli változatra vonatkozó eredményeket mutatja az 1. táblázat, a szigetelt kialakítás eredményei a 2. táblázatban láthatók. Ezek a főzőedény hőmérséklete az állandósult állapot megközelítésekor ( $T_{\text{áá}}$ ), az ezen hőmérséklet eléréséhez szükséges idő ( $t_{\text{áá}}$ ), a belépő víz és a főzőedény hőmérsékletének különbsége az állandósult állapot közelében ( $\Delta T$ ), a  $73,9^{\circ}\text{C}$  eléréséhez szükséges idő ( $t_{73,9^{\circ}\text{C}}$ ) és a főzőedény hővesztesége ( $P_v$ ). A 4. ábrán látható a szoláris főzőedény hőmérsékletének változása és a belépő víz hőmérséklete a szimuláció időtartományában,  $90^{\circ}\text{C}$ -os belépő víz hőmérséklet és  $100 \text{ l/h}$ -ás térfogatáram esetén, szigetelés nélkül. A 5. ábra a szigetelt edény esetét mutatja, ahol a belépő víz  $105^{\circ}\text{C}$ -os, a szivattyú térfogatárama pedig  $200 \text{ l/h}$ . A két ábra tehát a két szélsőséges vizsgált esetet szemlélteti.

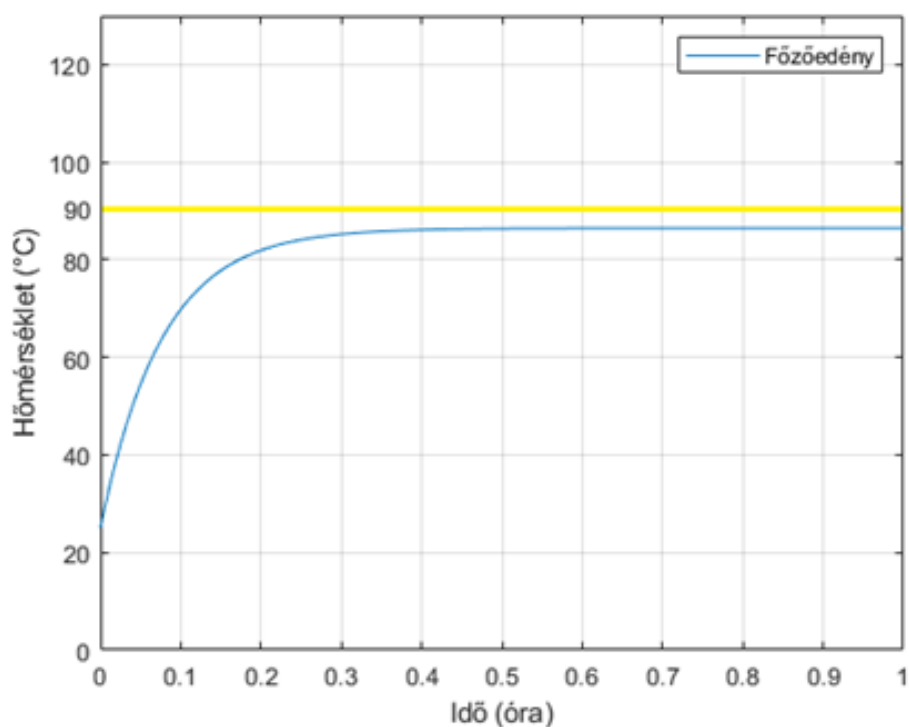
**1. táblázat A szimuláció eredményei szigetelés nélkül /Table 1. Simulation results without insulation**

	$T_{\text{áá}} (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{áá}} (\text{perc})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$t_{73,9^{\circ}\text{C}} (\text{perc})$	$P_v (\text{W})$
<b><math>90^{\circ}\text{C}, 100\text{l/h}</math></b>	86,3	26,75	3,7	7,5	411,1
<b><math>90^{\circ}\text{C}, 150\text{l/h}</math></b>	87,5	19,5	2,5	4,75	419,1
<b><math>90^{\circ}\text{C}, 200\text{l/h}</math></b>	88,1	15,5	1,9	3,75	423,2
<b><math>95^{\circ}\text{C}, 100\text{l/h}</math></b>	91	27	4	6,25	442,7
<b><math>95^{\circ}\text{C}, 150\text{l/h}</math></b>	92,3	19,75	2,7	4,25	451,4
<b><math>95^{\circ}\text{C}, 200\text{l/h}</math></b>	93	15,5	2	3	455,7
<b><math>100^{\circ}\text{C}, 100\text{l/h}</math></b>	95,8	27,5	4,2	5,5	474,5
<b><math>100^{\circ}\text{C}, 150\text{l/h}</math></b>	97,1	19,75	2,9	3,75	483,6
<b><math>100^{\circ}\text{C}, 200\text{l/h}</math></b>	97,8	15,75	2,2	3	488,3
<b><math>105^{\circ}\text{C}, 100\text{l/h}</math></b>	100,5	27,75	4,5	5	506,2
<b><math>105^{\circ}\text{C}, 150\text{l/h}</math></b>	101,9	20	3,1	3,25	515,9
<b><math>105^{\circ}\text{C}, 200\text{l/h}</math></b>	102,7	16	2,3	2,5	521

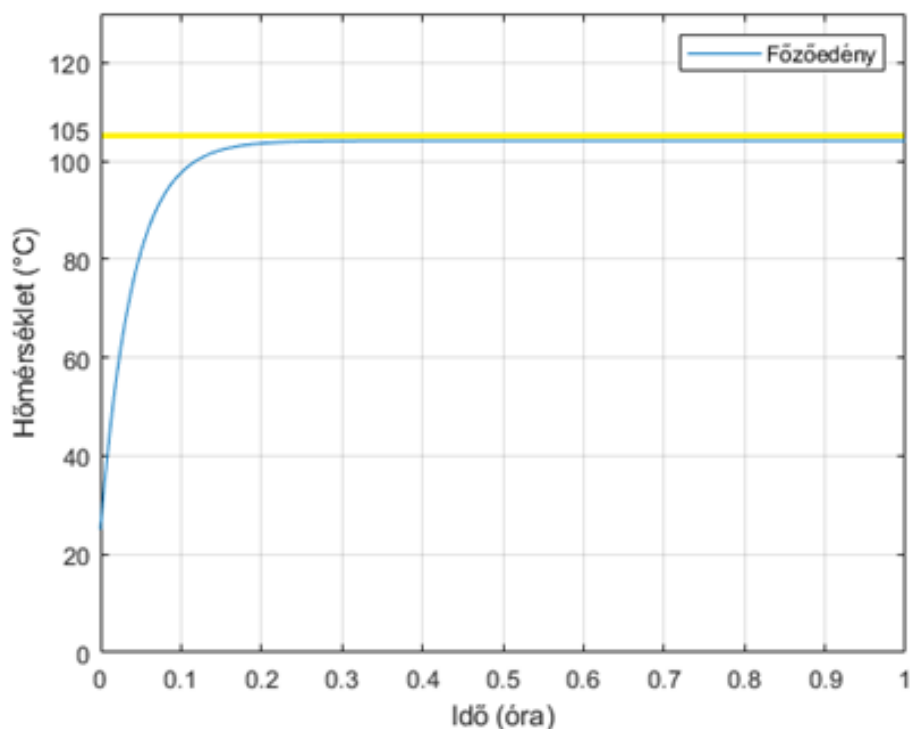


2. táblázat A szimuláció eredményei szigeteléssel / Table 2. Simulation results with insulation

	$T_{\text{áá}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t_{\text{áá}} \text{ (perc)}$	$\Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t_{73,9^\circ\text{C}} \text{ (perc)}$	$P_v \text{ (W)}$
90°C, 100l/h	88,4	27,75	1,6	7	161,2
90°C, 150l/h	88,9	19,75	1,1	4,75	162,5
90°C, 200l/h	89,2	15,75	0,8	3,5	163,2
95°C, 100l/h	93,3	28	1,7	6	173,6
95°C, 150l/h	93,9	20	1,1	4	175
95°C, 200l/h	94,2	15,75	0,8	3	175,7
100°C, 100l/h	98,2	28,5	1,8	5,25	186,1
100°C, 150l/h	98,8	20,25	1,2	3,5	187,5
100°C, 200l/h	99,1	16	0,9	2,75	188,3
105°C, 100l/h	103,1	28,75	1,9	4,75	198,5
105°C, 150l/h	103,7	20,5	1,3	3,25	200,1
105°C, 200l/h	104,1	16,25	0,9	2,5	200,9



4. ábra Edényhőmérséklet, belépő víz 90°C, térfogatáram 100 l/h, szigetelés nélkül /  
Figure 4. Pot temperature, inlet water 90°C, flow rate 100 l/h, without insulation



**5. ábra Edényhőmérséklet, belépő víz 105°C, térfogatáram 200 l/h, szigeteléssel /  
Figure 5. Pot temperature, inlet water 105°C, flow rate 200 l/h, insulated**

A berendezés megfelelő időjárási körülmények között képes főzési feladatok ellátására. Használatával egy főzés alkalmával 247 grammal csökkenthető a széndioxid-kibocsátás villamos főzőlap használatához képest.

## Következtetések

Az eredmények alapján elmondható, hogy a főzőedényben lévő közeg felmelegedéséhez szükséges idő a térfogatáram növekedésével csökken. A belépő víz hőmérséklete a közel állandósult állapotra jellemző hőmérséklet elérésének sebességét alapvetően nem befolyásolja, az állandósult állapot megközelítéséhez szükséges idő csak kis eltéréseket mutat különböző belépő hőmérsékletek és azonos térfogatáramok esetén. A 73,9°C elérése hamarabb következett be nagyobb belépő hőmérséklet esetén. A belépő hőmérséklet növekedése nagyobb főzőedény hőmérsékletet eredményez, azonban a köztük lévő hőmérséklet-különbség is növekszik. A térfogatáram növelése ezt a különbséget csökkenti. A hőveszteség a főzőedény hőmérsékletének növekedésével folyamatosan növekszik. Ez szigetelés alkalmazásával jelentős mértékben csökkenthető, továbbá szigeteléssel a belépő közeg és a szoláris főzőedény hőmérsékletének különbsége is csökken.

A térfogatáram értékének növelése kedvezően hat a rendszer működésére. 90°C-os belépő víz esetén például a szigetelés nélküli edény hőmérséklete a térfogatáram 100 l/h-ról 200 l/h-ra történő emelésével 86,3°C-ról 88,1°C-ra növekszik.

A vizsgálatok alapján szigetelés alkalmazása mindenképpen indokolható. 95°C-os belépő hőmérséklet és 100 l/h-ás térfogatáram esetén például szigetelés nélkül 91°C-ra, szigeteléssel viszont 93,3°C-ra melegszik fel a főzőedény. A hőveszteség ebben az esetben szigetelés nélkül 442,7 W, szigeteléssel pedig csak 173,6 W. A polietilén szigetelőanyag kedvező ára szintén a szigetelés mellett szól.

A főzőedény a szimuláció alapján képes főzési feladatok ellátására. Tudja huzamosabb ideig tartani a főzéshez szükséges hőmérsékletet, így belátható időn belül elkészíthetők vele különböző ételek. A legkedvezőtlenebb esetben is kevesebb mint fél óra alatt felmelegedett a főzőedény a főzési hőmérsékletre. Ha a napkollektor nagyobb nyomáson is képes működni és a napsugárzás intenzitása is megfelelő, akkor a főzőtérben a 100°C körüli értékek is elérhetők (pl. 1,5 bar nyomáson is már 111°C a víz forráspontja). Használatával egy főzés alkalmával 247 grammal csökkenthető a széndioxid-kibocsátás villamos főzőlap használatához képest. A munka folytatása az eredmények fényében indokolt, komoly lehetőségek rejlenek a főzőedényben. A tervek között szerepel egy pontosabb, a köpenyes kialakítást is figyelembe vevő fizikai alapú modell és egy fekete doboz típusú modell elkészítése, melyekkel a főzőtér hőmérséklete számítható. A vákuumcsöves napkollektorból és a szoláris főzőedényből álló kísérleti rendszer összeállítása, mérések végzése a rendszeren és a mérési eredmények segítségével a modellek identifikálása és validálása is a kutatás jövőbeli céljai között szerepel. A mérések és az összeállított kísérleti rendszerrel végzett főzési kísérletek lehetővé teszik ezen munka eredményeinek pontosítását és további igazolását.

## Hivatkozott források

- BADESCU, V. (2008): Optimal control of flow in solar collector systems with fully mixed water storage tanks, *Energy Conversion and Management*, Volume 49, Issue 2, pp. 169-184, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.06.022>
- BIGELOW, A. W. – TABATCHNICK, J. – HUGHES, C. (2024): Testing Solar Cookers for Cooking Efficiency, *Solar Energy Advantages*, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.seja.2024.100053>
- BRADLEY, J. (2010): Counterflow, crossflow and cocurrent flow heat transfer in heat exchangers: Analytical solution based on transfer units, *Heat and Mass Transfer*, Volume 46, pp. 381-394, <https://doi.org/10.1007/s00231-010-0579-5>
- BRUS, L. – ZAMBRANO, D. (2010): Black-box identification of solar collector dynamics with variant time delay, *Control Engineering Practice*, Volume 18, pp. 1133-1146, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.06.006>
- BUZÁS J. – FARKAS I. (2000): Solar domestic hot water system simulation using blockoriented software, *The 3rd ISES-europe Solar World Congress (Eurosun 2000)*, CD-ROM Proceedings, København, Dánia, pp. 1-9
- BUZÁS J. – FARKAS I. – BIRÓ A. – NÉMETH R. (1998): Modelling and simulation aspects of a solar hot water system, *Mathematics and Computers in Simulation*, Volume 48, pp. 33-46, [https://doi.org/10.1016/S0378-4754\(98\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4754(98)00153-0)
- CAO, E. (2010): *Heat Transfer in Process Engineering*, 1st Edition, McGraw-Hill Education, ISBN: 9780071624084
- CASTELLANOS, L. S. M. – NOGUERA, A. L. G. – VELÁSQUEZ, E. I. G. – CABALLERO, G. E. C. – LORA, E. E. S. – COBAS, V. R. M. (2020): Mathematical modeling of a system composed of parabolic trough solar collectors integrated with a hydraulic energy storage system, *Energy*, Volume 208, pp. 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118255>
- DANLEY, D. (2019): How much energy does it take to cook food?, <https://sunspotpv.com/how-much-energy-does-it-take-to-cook-food/> (utolsó elérés: 2024.07.08.)
- FARKAS I. (2003): *Napenergia a mezőgazdaságban*, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest

- GÉCZI G. – KICSINY R. (FELTALÁLÓK); MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM (JOGOSULT) (2021): Berendezés étel napsugárzási energiával történő készítésére és/vagy folyadék melegítésére, Használati mintaoltalom, Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala, lajstromszám: 5489
- GÉCZI G. – KICSINY R. – KORZENSZKY P. (2019): Modified effectiveness and linear regression based models for heat exchangers under heat gain/loss to the environment, *Heat and Mass Transfer*, Volume 55, pp. 1167-1179, <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2495-z>
- GÉCZYNE VÍG P. (2007): Napkollektoros rendszerek modellezése neurális hálóval, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő
- GETNET, M. Y. – GUNJO, D. G. – SINHA, D. K. (2023): Experimental investigation of thermal storage integrated indirect solar cooker with and without reflectors, *Results in Engineering*, Volume 18, pp. 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101022>
- GHABOUR, R. – JOSIMOVIĆ, LJUBIŠA – KORZENSZKY, P. (2021): Two Analytical Methods for Optimising Solar Process Heat System Used in a Pasteurising Plant, *Applied Engineering Letters*, Volume 6, No. 4, pp. 166-174, <https://doi.org/10.18485/aeletters.2021.6.4.4>
- GHABOUR, R. – KORZENSZKY, P. (2020): Mathematical modelling and experimentation of soy wax PCM solar tank using response surface method, *Analecta Technica Szegedinensia*, Volume 14, No. 2, pp. 35-42, <https://doi.org/10.14232/analecta.2020.2.35-42>
- GHABOUR, R. – KORZENSZKY, P. (2023): Dynamic Modelling and Experimental Analysis of Tankless Solar Heat Process System for Preheating Water in the Food Industry, *Acta Polytechnica Hungarica*, Volume 20, No. 4, pp. 65-83, <https://doi.org/10.12700/APH.20.4.2023.4.4>
- GUPTA, P. K. – MISAL, A. – AGRAWAL, S. (2021): Development of low cost reflective panel solar cooker, *Materialstoday: Proceedings*, Volume 45, Part 2, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.004>
- HILMER, F. – VAJEN, K. – RATKA, A. – ACKERMANN, H. – FUHS, W. – MELSHEIMER, O. (1999): Numerical solution and validation of a dynamic model of solar collectors working with varying fluid flow rate, *Solar Energy*, Volume 65, Issue 5, pp. 305-321, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00142-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00142-X)
- HIRIS, D. P. – POP, O. G. – BALAN, M. C. (2022): Analytical modeling and validation of the thermal behavior of seasonal storage tanks for solar district heating, *Energy Reports*, Volume 8, Supplement 9, pp. 741-755, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.113>
- HOSSEINZADEH, M. – FAEZIAN, A. – MIRZABABAEI, S. M. (2020): Parametric analysis and optimization of a portable evacuated tube solar cooker, *Energy*, Volume 194, pp. 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116816>
- HOSSEINZADEH, M. – SADEGHIRAD, R. – ZAMANI, H. – KIANIFAR, A. – MIRZABABAEI, S. M. (2021): The performance improvement of an indirect solar cooker using multi-walled carbon nanotube-oil nanofluid: An experimental study with thermodynamic analysis, *Renewable Energy*, Volume 165, Part 1, pp. 14-24, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.078>
- HOTTEL, H. C. – WHILLIER, A. (1955): Evaluation of flat-plate collector performance, *Trans. Conf. Use of Solar Energy*, Volume 3, Part 2
- HOTTEL, H. C. – WOERTZ, B.B. (1942): The performance of flat-plate solar-heat collectors, *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, Volume 64, pp. 91-104
- HUSSEIN, H. M. S. – EL-GHETANY, H. H. – NADA, S. A. (2008): Experimental investigation of novel indirect solar cooker with indoor PCM thermal storage and cooking unit, *Energy Conversion and Management*, Volume 49, Issue 8, pp. 2237-2246, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.026>

- IRANMANESH, M. – AKHIJAHANI, H. S. – JAHROMI, M. S. B. (2020): CFD modeling and evaluation the performance of a solar cabinet dryer equipped with evacuated tube solar collector and thermal storage system, *Renewable Energy*, Volume 145, pp. 1192-1213, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.038>
- KALOGIROU, S. A. – PANTELIOU, S. – DENTSORAS, A. (1999): Modeling of Solar Domestic Water Heating Systems Using Artificial Neural Networks, *Solar Energy*, Volume 65, pp. 335-342, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(99\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(99)00013-4)
- KICSINY R. (2014): Multiple linear regression based model for solar collectors, *Solar Energy*, Volume 110, pp. 496-506, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.003>
- KICSINY R. (2018): Black-box model for solar storage tanks based on multiple linear regression, *Renewable Energy*, Volume 125, pp. 857-865, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.037>
- KUMAR, R. – ADHIKARI, R. S. – GARG, H. P. – KUMAR, A. (2001): Thermal performance of a solar pressure cooker based on evacuated tube solar collector, *Applied Thermal Engineering*, Volume 21, Issue 16, pp. 1699-1706, [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(01\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00018-7)
- LAMRANI, B. – ELMRABET, Y. – MATHEW, I. – BEKKIOUI, N. – ETIM, P. – CHAHBOUN, A. – DRAOUI, A. – NDUKWU, M. C. (2022): Energy, economic analysis and mathematical modelling of mixed-mode solar drying of potato slices with thermal storage loaded V-groove collector: Application to Maghreb region, *Renewable Energy*, Volume 200, pp. 48-58, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.119>
- MAO, C. – LI, M. – LI, N. – SHAN, M. – YANG, X. (2019): Mathematical model development and optimal design of the horizontal all-glass evacuated tube solar collectors integrated with bottom mirror reflectors for solar energy harvesting, *Applied Energy*, Volume 238, pp. 54-68, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.006>
- NOWTRICITY (2024): Emissions in Hungary, <https://www.nowtricity.com/country/hungary/> (utolsó elérés 2024.07.08.)
- PACIO, J. C. – DORAO, C. A. (2011): A review on heat exchanger thermal hydraulic models for cryogenic applications, *Cryogenics*, Volume 51, Issue 7, pp. 366-379, <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2011.04.005>
- RUIVO, C. R. – COCCIA, G. – DI NICOLA, G. – CARRILLO-ANDRÉS, A. – APAOLAZA-PAGOAGA, X. (2022): Standardised power of solar cookers with a linear performance curve following the Hottel-Whillier-Bliss formulation, *Renewable Energy*, Volume 200, pp. 1202-1210, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.041>
- SAINI, P. – PANDEY, S. – GOSWAMI, S. – DHAR, A. – MOHAMED, M. E. – POWAR, SATVASHEEL (2023): Experimental and numerical investigation of a hybrid solar thermal-electric powered cooking oven, *Energy*, Volume 280, pp. 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128188>
- SAXENA, A. – AGARWAL, N. (2018): Performance characteristics of a new hybrid solar cooker with air duct, *Solar Energy*, Volume 159, pp. 628-637, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.043>
- SAXENA, A. – CUCE, E. – TIWARI, G. N. – KUMAR, A. (2020): Design and thermal performance investigation of a box cooker with flexible solar collector tubes: An experimental research, *Energy*, Volume 206, pp. 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118144>
- SCHWARZER, K. – KRINGS, T. (1996): Demonstrations- und Feldtest von Solarkochern mit temporärem Speicher in Indien und Mali, Abschlussbericht
- USDA (FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE, U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE) (2024): Safe Minimum Internal Temperature Chart, <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/safe-temperature-chart> (utolsó elérés 2024.07.08.)

ZAVALA-RÍÓ, A. – SANTIESTEBAN-COS, R. (2007): Reliable compartmental models for double-pipe heat exchangers: An analytical study, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 31, Issue 9, pp. 1739-1752, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.06.005>

ZHAO, Y. – ZHENG, H. – SUN, B. – LI, C. – WU, Y. (2018): Development and performance studies of a novel portable solar cooker using a curved Fresnel lens concentrator, *Solar Energy*, Volume 174, pp. 263-272, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.007>

ZHENG, J. – FEBRER, R. – CASTRO, J. – KIZILDAG, D. – RIGOLA, J. (2023): A new high-performance flat plate solar collector. Numerical modelling and experimental validation, *Applied Energy*, Volume 355, pp. 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122221>

ZHOU, C. – WANG, Y. – LI, J. – MA, X. – LI, Q. – YANG, M. – ZHAO, X. – ZHU, Y. (2023): Simulation and economic analysis of an innovative indoor solar cooking system with energy storage, *Solar Energy*, Volume 263, pp. 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111816>

ZOHURI, B. (2017): *Compact Heat Exchangers, Selection, Application, Design and Evaluation*, Springer International Publishing, Switzerland, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1>

## Szerzők

### **Rátkai Márton**

PhD hallgató

Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

[ratkai.marton.3@phd.uni-mate.hu](mailto:ratkai.marton.3@phd.uni-mate.hu)

### **Dr. Kicsiny Richárd**

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

[kicsiny.richard@uni-mate.hu](mailto:kicsiny.richard@uni-mate.hu)

### **Dr. Székely László**

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

[szekely.laszlo@uni-mate.hu](mailto:szekely.laszlo@uni-mate.hu)

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

