

# A MÉHFÉSZKEK ÉS A MESTERSÉGES KAPTÁRAK HŐHATÉKONYSÁGI ELEMZÉSE

## THERMAL EFFICIENCY ANALYSIS OF BEE NESTS AND ARTIFICIAL HIVES

Forrai Sándor\*, Dr. habil. Szabó P. Balázs PhD.\*\*

### ABSTRACT

*The thermal performance of honeybee nests depends on the properties of the enclosing structure, cavity geometry, and internal comb arrangement. This paper presents a focused literature review comparing natural tree cavities and artificial beehives in terms of heat loss and winter microclimate. Experimental enclosure measurements and computational studies are distinguished from trials involving live colonies. Under the investigated modelling conditions, bee space above the combs increased heat loss by up to approximately 70%. Colony trials found that hive wrapping combined with top insulation reduced winter hive mass loss and supplementary sugar consumption and improved overwintering survival. These findings support evaluating hive materials, internal geometry, ventilation, and moisture conditions together when developing new hive designs.*

### 1. BEVEZETÉS

A mézelő méhek fészkeinek hőháztartását a méhcsalád hőtermelése, a környezeti feltételek és a fészket határoló szerkezet együttesen alakítja. A természetes faodúk és a mesterséges kaptárak eltérő falvastagsága, geometriája és belső elrendezése különböző feltételeket teremthet a hőmérséklet és a páratartalom szabályozásához. A kaptárak hőtechnikai értékelése ezért az anyagválasztás mellett a szerkezeti kialakítás vizsgálatát is igényli.

A határoló szerkezeteken keresztüli hőátadás mellett a bejáraton keresztüli légáramlás is befolyásolja a fészkek hőmérlegét. Mitchell a nektár besűrítésének energetikai modelljében ezt külön advektív hőtranszportként veszi figyelembe, amelynek nagysága a bejárat felületétől, a légsebességtől és a belső–külső hőmérséklet-különbségtől függ [1].

A természetes méhfészkek szerkezeti referenciát adhat a mesterséges kaptárak hőtechnikai értékeléséhez. Az összehasonlításban a határoló falak mellett a fészkeküreg alakját, a bejárat elhelyezkedését, valamint a lépek és az üregfal közötti kapcsolatot is figyelembe kell venni. Ezek a jellemzők a belső légáramláson keresztül is befolyásolhatják a hőtranszportot.

A tanulmány célja a természetes méhfészkek és a mesterséges kaptárak összehasonlítása a hőveszteség és

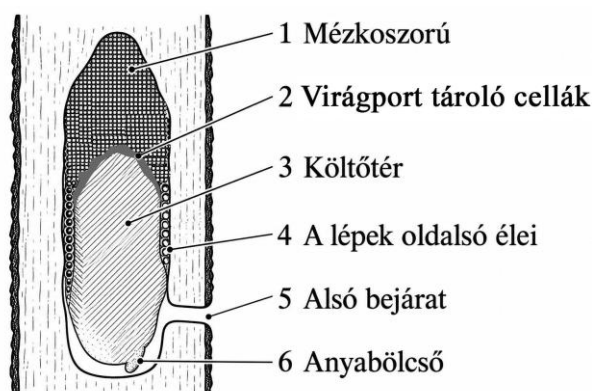
a hőszigetelés szempontjából. A szakirodalmi áttekintés a fészkek felépítését, a lépelrendezés szerepét, valamint a kaptáanyagok és a kiegészítő szigetelés hatását tárgyalja, elkülönítve a modellezésből származó megállapításokat az élő méhcsaládokon végzett vizsgálatok eredményeitől.

### 2. A TERMÉSZETES MÉHFÉSZKEK SZERKEZETI JELLEMZŐI

Seeley és Morse [2] a természetes méhfészkek jellemzéséhez 39 faodúban található fészket vizsgáltak és közülük 21-et részletesen elemeztek. A vizsgált fészkek vázlatát az 1. ábra mutatja be, ahol az üregek függőlegesen megnyúlt, közel hengeres alakúak voltak és a legtöbb vizsgált fészkeküreg térfogata 30–60 liter volt. A fészkek többsége az üreg alsó részén elhelyezkedő kis keresztmetszetű bejáratral rendelkezett.

A lépek felső és oldalsó éleik mentén kapcsolódtak az üreg falához, azonban a csatlakozások helyenként a méhek közlekedését biztosító átjárókkal voltak megszakítva.

A mézkészlet a fészkek felső és peremi tartományaiban helyezkedett el, míg a fiasítás a mézkészlet alatt, a fészkek középső tartományában volt. A virágpor a méz és a fiasítás között helyezkedett el [2].



1. ábra. A méh-fészkek sematikus ábrája [2] alapján

A forrás szerint a fiasítási terület peremén helyezkednek el a heresejtes léprészek. Az üreg belső felületét a méhek propoliszréteggel borították, amelynek vastagsága jellemzően 0,3–0,5 mm volt. A propoliszsal bevont

\* mérnök tanár, Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Gépészeti Intézet

\*\* egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Élelmiszer-mérnöki Intézet

fészekbelső és a bevonat nélküli üregrész közötti határt a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. Propoliszal bevont fészekbelső és bevonat nélküli üregrész, (a szaggatott vonal a bevonat határát jelöli) [3]

A szerzők megállapítják, hogy az alsó bejáratú fészkek konvektív hővesztesége kisebb, mint a felső bejáratúaké. A vizsgálat ugyanakkor nem tartalmazott közvetlen hőveszteség- vagy hőszigetelési méréseket. Eredményei a természetes fészkek geometriai és szerkezeti referenciáját adják meg [2].

### 3. A TERMÉSZETES FÉSZEKÜREGEK ÉS A KAPTÁRAK HŐTECHNIKAI ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Mitchell [4] mesterséges kaptárak és természetes faodúkat reprezentáló hőtechnikai modellek összehasonlításával vizsgálta a fészket határoló szerkezetek eredő termikus konduktanciáját. A teljes méretű faodúmodelleket poliizocianurát- (PIR-) habból készítette, a természetes faodúk termikus konduktanciájának közelítésére; a modellezési megközelítést egy 1:5 méretarányú famodellel ellenőrizte. A méhcsalád hőtermelését ismert

teljesítményű elektromos fűtőelemmel helyettesítette, majd az állandósult belső és külső hőmérsékletek alapján meghatározta a határoló szerkezet eredő termikus konduktanciáját. A konduktancia meghatározására szolgáló kísérlet nem vizsgálta az élő méhcsalád viselkedését, a hőtárolás időfüggő folyamatait, valamint a párolgást és a kondenzációt [4].

A szerző a határoló faanyag nedvességtartalmától függően a fakaptáraknál megközelítőleg 4–7-szeres, a teljes méretű expandált polisztirol- (EPS-) kaptáraknál pedig 1,5–5-szörös hőátadást közölt a természetes faodúkat reprezentáló kialakításokhoz képest [4].

Az összehasonlítás kiegészítésére a szerző a méhcsalád tömegének és a határoló szerkezet eredő termikus konduktanciájának hányadosát, az MCR mutatót alkalmazta. Azonos méhcsaládtömeg mellett a nagyobb MCR kisebb, egységnyi hőmérséklet-különbségre jutó hőveszteséget jelent. A tanulmány alapján a kaptárak értékelésekor az anyag és a falvastagság mellett a geometriai kialakítást, a tetőt, a nyílások elhelyezkedését és a méhcsalád méretét is figyelembe kell venni [4].

A vizsgált tanulmányban közölt hőtechnikai különbségek önmagukban nem igazolják a telelési túlélés vagy a mézhozam javulását, ezért ezek megállapításához élő méhcsaládokon végzett vizsgálatok szükségesek.

### 4. A LÉPELRENDEZÉS ÉS A BELSŐ RÉSEK SZEREPE A HŐTRANSPORTBAN

A határoló szerkezet hőszigetelő tulajdonságai mellett a fészek belső kialakítása is befolyásolja a hőtransportot. A természetes faodúk és a keretes kaptárak egymástól eltérnek a lépek falhoz való kapcsolódásában, a lépek körüli átjárók kialakításában és a rendelkezésre álló függőleges térben is. Ezért a hőtechnikai összehasonlítást a belső légáramlás és a lépelrendezés vizsgálatával szükséges kiegészíteni.

Mitchell [5] áramlástanai modellezéssel (CFD) hasonlított össze a természetes faodúk és a vékony falú mesterséges kaptárak hőtransportját. A vizsgálat a lépek körüli rések, valamint a szabályozott hőmérsékletű fiasítási terület függőleges elhelyezkedésének energetikai hatásaira irányult.

A természetes fészkeket reprezentáló lépszéli rések átlagos méretét méhek által benépesített mesterséges faodúk megfigyeléséből határozta meg [5].

A természetes fészkekben a lépek közvetlenül kapcsolódnak az üreg falához, helyenként átjárókat hagyva, míg a keretes kaptárakban a lépek és a falak, illetve a tető között összefüggő rés található. A modell szerint a lépek feletti méhjárat akár 70%-kal növelhette a hőveszteséget. A kaptárakban a fiasítási területen át zajló konvekció megfékezéséhez a faodúkhöz képest legalább másfélszeres méhsűrűsre volt szükség. A faodúk nagyobb függőleges mozgástere és hőellenállása ugyanakkor kedvezőbb feltételeket biztosíthat a hőszabályozáshoz [5]. Tervezési szempontból ebből az a fontos következtetés vonható le, hogy a kaptár hőtechnikai fejlesztésekor az anyag és a falvastagság

mellett a lépelrendezést, a rések folytonosságát és a fiasítás lehetséges helyzetét is vizsgálni kell. A közölt számszerű eredmények a vizsgált modellfeltételekre vonatkoznak, ezért nem tekinthetők valamennyi kaptártípusra érvényes értékeknek.

### 5. FA- ÉS POLIURETÁN KAPTÁRAK TÉLI MIKROKLÍMÁJÁNAK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

Alburaki és Corona [6] tanulmányukban kilenc fa Langstroth-kaptár és kilenc poliuretán kaptár téli mikroklímáját hasonlította össze az Egyesült Államokban, 2020 decemberétől 2021 márciusáig.

A vizsgált kaptártípusokat a 3. ábra szemlélteti [6]. Mindkét kaptár csoport két, egyenként 10 keretes fiókból állt, illetve a vizsgálathoz hasonló méretű méhcsaládokat választottak ki, amelyek azonos gondozást kaptak.

A fiasítási fiók közepén elhelyezett érzékelők óránként rögzítették a belső hőmérsékletet és a relatív páratartalmat [5]. A poliuretán kaptárak átlagos belső hőmérséklete 10,20 °C, a fa kaptáraké 9,73 °C volt, az átlagos relatív páratartalom 52,05%, illetve 62,50% volt. A hőmérsékleti idősorok a fakaptárakban kifejezettebb ingadozásokat mutattak, míg a poliuretán kaptárakban kisebb nappali-éjszakai páratartalom-változást figyeltek meg [6].

Az eredmények értelmezésekor figyelembe veendő, hogy a két kaptártípus szellőzési kialakítása is különböző volt. A poliuretán kaptárak felső és alsó szellőzőnyílásokkal rendelkeztek, míg a fa kaptárakat a szerzők zárt kialakításúként írták le.

Az alacsonyabb páratartalmat részben a poliuretán kaptárak eltérő szellőzési kialakításával magyarázzák a tanulmányban.

A vizsgálat ezért két teljes kaptárkialakítás összehasonlításának tekinthető, amelyben az anyag és a szellőzés hatása nem különíthető el teljesen. A tanulmány téli mikroklíma-adatokat szolgáltat, de nem közöl közvetlen összehasonlító mérést a táplálékfogyasztásról vagy a telelési túlélésről.

### 6. A KAPTÁR BURKOLAT ÉS A FELSŐ HŐSZIGETELÉS HATÁSA A TÉLI TÁPLÁLÉKFogyasztásra és a túlélésre

St. Clair és munkatársai [7] nyolc Illinois állambeli méhészetben, összesen 43 méhcsalád bevonásával vizsgálták a kiegészítő kaptárburkolás hatását.

A véletlenszerűen kijelölt kezelt kaptárak 4 mm vastag fekete, légkamrás polipropilén burkolatot és 3,81 cm vastag felső habszigetelést kaptak, míg a kontroll kaptárak ilyen kiegészítés nélkül teleltek.

A méhcsaládok azonos előkészítő gondozásban részesültek. A vizsgálat során követték a belső hőmérsékletet, a kaptártömeg változását, a kiegészítő cukorlepeny fogyasztását és a méhcsaládok túlélését [7].

A burkolt kaptárak tömegvesztése kisebb volt, mint a kontrollcsoporté. A telet túlélő családok körében a

kontroll kaptárak tömegcsökkenési üteme megközelítőleg kétszerese volt a burkolt kaptárakénak. A kontrollcsoport a kiegészítő cukorlepenyből is jelentősen többet fogyasztott. A burkolt csoport telelési túlélése szintén kedvezőbbnek bizonyult. A teljes téli időszakra átlagolva ugyanakkor nem figyeltek meg számottevő különbséget a két csoportban mért belső hőmérséklet között [7].



3. ábra. A vizsgálatban alkalmazott kaptártípusok: a) fa Langstroth-kaptár, b) poliuretán kaptár [6]

Az eredmények arra utalnak, hogy a külső burkolat és a felső szigetelés együttes alkalmazása hasonló belső hőmérséklet fenntartása mellett mérsékelheti a téli táplálékkészlet felhasználását.

A megállapítás a vizsgált éghajlati és kezelési körülményekre vonatkozik; a burkolat és a felső szigetelés különálló hatása a kísérleti elrendezés miatt nem határozható meg külön-külön.

Ezen munkák alapján a kaptárak továbbfejlesztésének egyik kutatási iránya olyan anyagok és szerkezeti megoldások vizsgálata lehet, amelyek hőtechnikai tulajdonságai támogatják a méhcsalád aktív hőszabályozását és illeszkednek a fészek biológiai működéséhez [8, 9].

Meikle és munkatársai [10] kísérletében a tömör és hálós kaptáralj váltogatása nem befolyásolta szignifikánsan a belső hőmérsékletet és annak napi ingadozását, ami a méhcsalád aktív hőszabályozásának szerepét hangsúlyozza.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az áttekintett szakirodalom alapján a természetes faodúk és a mesterséges kaptárak hőtechnikai különbségeit nem kizárólag a határoló falak anyaga és vastagsága határozza meg. A fészkek geometriája, a lépek elrendezése, a belső rések és a szellőzőnyílások kialakítása együttesen befolyásolja a hőtranszportot. A poliuretán kaptárakban a fakaptárakhoz képest magasabb átlagos belső hőmérsékletet és alacsonyabb relatív páratartalmat mértek, azonban az anyag és a szellőzési kialakítás hatása nem különíthető el teljesen. A kiegészítő burkolattal és felső szigeteléssel együttesen ellátott kaptárak kisebb téli tömegvesztést és cukorlepeny-fogyasztást, valamint jobb telelési túlélést mutattak a vizsgált körülmények között. A további fejlesztések során a hővesztés mérséklését a nedvességviszonyokkal és a méhcsalád működésével együtt szükséges értékelni.

Új kaptár- vagy szigetelési kialakítások eredményességének igazolásához a hőtechnikai modellezés mellett összehasonlító, élő méhcsaládokon végzett vizsgálatok is szükségesek.

## 8. SUMMARY

Based on the reviewed literature, the thermotechnical differences between natural tree cavities and artificial hives are not determined solely by the material and thickness of the enclosing walls.

The geometry of the nest, comb arrangement, internal gaps, and ventilation openings jointly influence heat transport. Polyurethane hives had higher mean internal temperatures and lower relative humidity than wooden hives; however, the effects of material and ventilation design could not be fully separated.

Under the conditions investigated, hives fitted with both supplementary wrapping and top insulation showed lower winter mass loss, lower sugar-cake consumption, and better overwintering survival. In further developments, the reduction of heat loss must be evaluated together with moisture conditions and colony behavior.

To verify the effectiveness of new hive or insulation designs, comparative studies on live bee colonies are required in addition to thermotechnical modeling.

## 9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] D. MITCHELL: *Thermal efficiency extends distance and variety for honeybee foragers: analysis of the energetics of nectar collection and desiccation by Apis mellifera*, Journal of the Royal Society Interface, Vol. 16, No. 150, 20180879, 2019. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0879>
- [2] T.D. Seeley, R..A. Morse: *The nest of the honey bee (Apis mellifera L.)*, Insectes Sociaux Vol. 23, pp. 495–512, 1976  
<https://doi.org/10.1007/BF02223477>
- [3] M. SIMONE-FINSTROM, M. SPIVAK: Propolis and bee health: the natural history and significance of resin use by honey bees, *Apidologie*, Vol. 41, pp. 295–311, 2010.  
<https://doi.org/10.1051/apido/2010016>
- [4] D. MITCHELL: *Ratios of colony mass to thermal conductance of tree and man-made nest enclosures of Apis mellifera: implications for survival, clustering, humidity regulation and Varroa destructor*, International Journal of Biometeorology, Vol. 60, No. 5, pp. 629–638, 2016  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-015-1057-z>
- [5] D. M. MITCHELL: *Are man-made hives valid thermal surrogates for natural honey bee nests (Apis mellifera)?*, Journal of Thermal Biology, Vol. 122, No. 103882, 2024  
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103882>
- [6] M. ALBURAKI, M. CORONA: *Polyurethane honey bee hives provide better winter insulation than wooden hives*, Journal of Apicultural Research, Vol. 61, No. 2, pp. 190-196, 2021  
<https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1999578>
- [7] A. L. ST. CLAIR, N. J. BEACH, A. G. DOLEZAL: *Honey bee hive covers reduce food consumption and colony mortality during overwintering*, PLoS ONE Vol. 17, No. 4, pp. 1-17, 2022  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266219>
- [8] A. STABENTHEINER, H. KOVAC, M. MANDL: *Coping with the cold and fighting the heat: thermal homeostasis of a superorganism, the honeybee colony*, Journal of Comparative Physiology A, Vol. 207, pp. 337–351, 2021  
<https://doi.org/10.1007/s00359-021-01464-8>
- [9] A. A. ILGUN, T. SCHMICKL: *Mycelial Beehives of HIVEOPOLIS: Designing and Building Therapeutic Inner Nest Environments for Honeybees*, Biomimetics, Vol. 7, No. 2, pp. 75, 2022  
<https://doi.org/10.3390/biomimetics7020075>
- [10] W. G. MEIKLE, A. BARG, M. WEISS: *Honey bee colonies maintain CO<sub>2</sub> and temperature regimes in spite of change in hive ventilation characteristics*, Apidologie, Vol. 53, Article 51, 2022.  
<https://doi.org/10.1007/s13592-022-00954-1>