

ÉPÍTŐIPARI ANYAGOK HŐVEZETŐKÉPESSÉGÉNEK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

Juhász Attila

járműmérnök BSc hallgató, Miskolci Egyetem
Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék
Miskolc-Egyetemváros, Miskolci Egyetem, e-mail: juhaszattila1216@gmail.com

Szaszák Norbert

adjunktus, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék
3515 Miskolc-Egyetemváros, Miskolci Egyetem, e-mail: aramszn@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Jelen dolgozatban különböző – elsősorban építőipari anyagok – hővezetésének vizsgálatára alkalmas kísérleti berendezést s annak működését mutatjuk be, amely segítségével az anyagon belüli hőterjedés az idő és a hely függvényében vizsgálható. Ehhez egy kisméretű, téglatest alakú hőszigetelő kamra került összeállításra, amelynek a belső légtérét lezáró elem maga a próbatest. A kamra belső terében egy digitális termosztát-egységgel beállítható a kívánt léghőmérséklet, így abban közel állandó hőmérséklet hozható létre, amely a próbadarab hővezetés-mérésének egyik feltétele. A kamra hővezetése jóval kisebb a vizsgált test hővezetésétől, ezért a hőáram jelentős része a próbatesten keresztül áramlik a környezetbe. A próbatest különböző pozíciójú és mélységű pontjaiban hőelemek kerültek beépítésre, amelyek feszültségjeleit az idő függvényében számítógépen rögzítjük. Az adatfeldolgozással kapott hőmérséklet-idő függvények alapján a próbatest több hőtani jellemzője is meghatározható.

Kulcsszavak: hővezetés, hőszigetelés, termodinamika

Abstract

In this study, an instrument for examination of the heat conductivity of – mainly – construction materials is presented. The heat flow within the material can be examined both in the function of time and spatial position with this instrument. For this purpose, a small heat-insulated chamber with digital thermostat was constructed in which the temperature of the air can be set. The quasi constant temperature allows that the heat-conduction of a specimen placed in a part of the chamber – designed for this purpose – can be determined. The heat conductivity of the chamber is much lower than that of the specimen thus almost all of the heat flow goes through the specimen. Thermocouples were placed in several positions and depth of the specimen. The time series of the signals of the thermocouples were acquired with computer. As a result of the data processing of the time series of temperature values the thermal characteristics of the specimen can be determined.

Keywords: thermal conduction, thermal insulation, thermodynamics

1. Bevezetés

Az épületek fűtésére és klimatizálására rengeteg energiát fordítunk. Ezt a pazarló magatartást megelőzhetnénk azzal, ha már az építőipari anyagokat is úgy válogatnánk meg, hogy alacsony hővezetésű anyagot alkossanak. Továbbá a szigetelőanyagokat is könnyebben tudnánk megválasztani, ha látnánk, melyik szigetelőanyag, szigetelő anyagkombináció milyen hővezetéssel rendelkezik. Elsődlegesen e mennyiség mérése céljából építettük meg saját vizsgálóberendezésünket és mérőrendszerünket is.

A szilárd testekben lejátszódó hővezetési folyamatokat a legtöbb esetben az okozza, hogy azok a felszíni hőmérsékletüktől eltérő hőmérsékletű folyadékkal (gázzal) érintkeznek. Newton különböző fémtárgyak lehűlésének tanulmányozása során állította fel azt az összefüggést, amely leírja a szilárd test felülete és az azzal érintkező fluidum közötti hőcserét, ezért a jelenséget leíró törvényszerűséget Newton-féle hőátadási törvénynek nevezik [1].

A hővezetés, mint jelenség igen gyakori a műszaki életben, viszont megértése nem túl egyszerű. Ennek segítése érdekében például Padrah et al. [2] létrehozta egy olyan szemléltető berendezést, ami viszonylag gyorsan, kevesebb, mint két óra alatt képes adatokat szolgáltatni a vizsgált anyag hővezetéséről. Ehhez egy, a „hot plate” elven működő rendszert hoztak létre. A gyors és szemléletes mérés az oktatást segíti, és egyben a hővezetés könnyebb érthetőségét is.

Célunk egy olyan mérőrendszer összeállítása volt, amellyel különböző próbatestekben, elsősorban építési anyagokban a rajtuk átáramló hőenergia hatására kialakuló hőmérsékletmezők időbeni változását tudjuk vizsgálni [3].

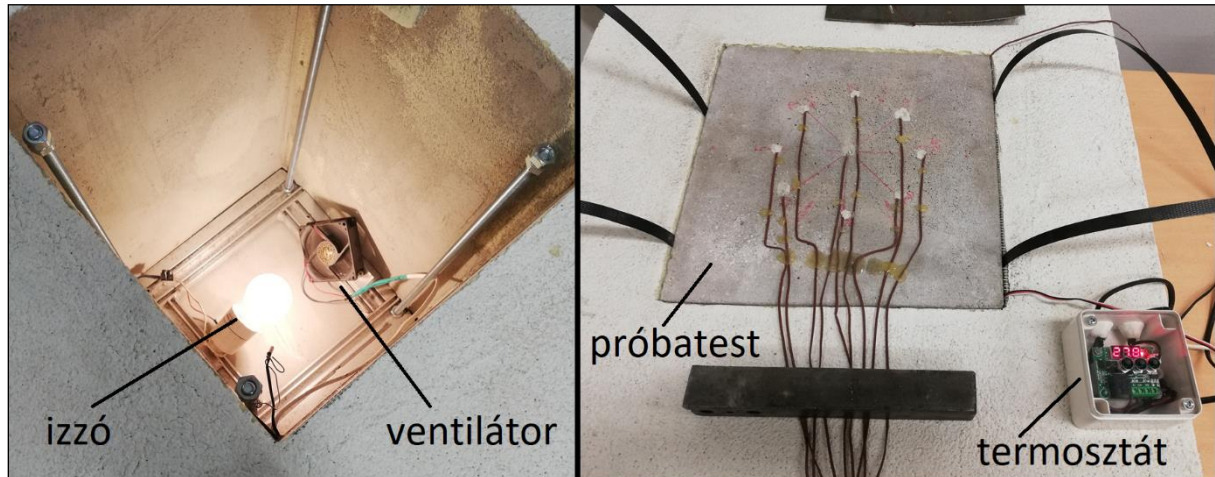
2. A mérőrendszer

A mérőrendszer fő vizsgálati egysége egy téglatest alakú hőszigetelt kamra, amely külső méretei 600×600×650 mm. A kamra képes automatikusan egy előre beállított hőmérsékletet tartani, egy megadott, min. ±0,1°C-os hőfok-hiszterézissel. Ehhez a kamra belső terében egy elektromos hőforrás került beépítésre, amelyről a hő nagy része kényszerkonvekcióval, ventilátor segítségével jut el a belső légtér minden egyes pontjába. A kamra belső légtérében, annak több pontjában, hőelemek segítségével mérjük a hőmérsékletet.

Az 1. ábra jobb oldali részén a termosztát modul látható, amely a szigetelt kamra fontos eleme. Ehhez a modulhoz tartozik egy hőelem, amely a kamra belsejében került elhelyezésre, annak belső felületeitől megközelítőleg 50 mm távolságra. A belső hőmérséklet beállítása a belső tér villamos fűtésének be/kikapcsolásával történik, amelyet a termosztát-modulon található relé vezérel. A fűtőtest praktikus okokból egy 40 W teljesítményű hagyományos izzó. A légkeringtetésért és a kényszerkonvekcióért egy 12 V-os, 1,5 W-os axiális ventilátor felel, amely folyamatosan üzemel a lehető leghomogénebb hőmérsékletmező elérése céljából (lásd az 1. ábra bal oldali része). Melegítéskor, a kívánt hőmérséklet elérésekor a modul egy relé segítségével kikapcsolja a villanykörtét. Viszont abban az esetben, ha a rendszer elkezd hűlni a környezet felé áramló hőmennyiség miatt, s így a hőmérséklet a beállítottól a hiszterézis-értékkel (0,1°C) eltér, a termosztát visszakapcsolja az izzót, így tehát a ki- és bekapcsolgatással közel állandó hőmérsékletet tart a rendszer.

A mérni kívánt próbatest (lásd az 1. ábra jobb oldala) a kamrának erre a célra kialakított nyílásába helyezhető (a kamrába beépített teherviselő vázra ültethető), ezáltal magának a kamrának a lezárása is megtörténik. A vizsgálatok során mind a kamra belső terében és a külső környezetben, mind pedig a próbatestbe beépített, továbbá annak belső és külső felületein elhelyezett hőelemekkel összesen húsz pontban mérjük a hőmérsékleteket (ld. 1. ábra jobb oldali része). A hőelemek feszültségjeleinek gyűjtése Phidget adatgyűjtő rendszer segítségével történik, amely központi modulja USB porton keresztül

csatlakozik a mérőszámítógéphez, ami az időben folyamatosan mintavételezett adatokat egy text file-ba menti a későbbi adatfeldolgozás céljából.



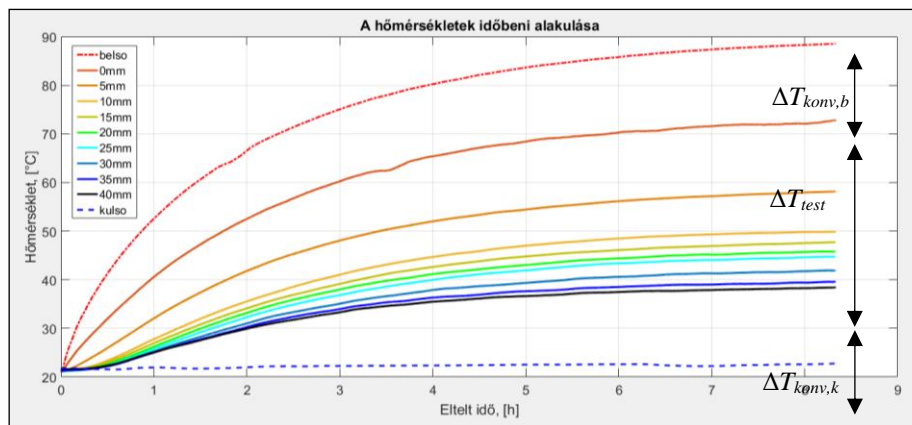
1. ábra. A kamra belső tere (balra) és a kamrába illesztett próbatesszt a kamrát vezérlő termosztáttal (jobbra).

3. Tesztmérés

Az összeállított mérőrendszer tesztelése céljából egy habosított betontömböt (300×300×40 mm) használtunk próbatesszt gyanánt, amelyen – annak négyzet felületű lapján – a felszíntől mérve 5 mm-es lépésközzel egy kör mentén különböző mélységekben helyeztük el a K-típusú hőelemeket (lásd az 1. ábra jobb oldali képén). Ilyen módon a betontömb esetében összesen kilenc: nyolc belső, továbbá két felületi hőmérő pontot alakítottunk ki. A vizsgálat kezdetén a kamra belső terének és a próbatessztnek a hőfoka megegyezett a környezeti hőmérséklettel, ami 20°C-os volt. Mind a belső tér, mind pedig a környezet hőmérsékletét regisztráltuk. A mérés kezdetén 90°C-ot állítottunk be a termosztáton, amely hőmérsékletre való felmelegítés során az folyamatosan működtette a fűtésért felelős izzót. A 40 W-os izzóval és az adott hővezetésű próbatessztal az elérhető maximális belső hőmérséklet jó közelítéssel 88,5°C-ra adódott: e hőmérséklet esetén már csupán 0,1°C/min melegedés volt regisztrálható. Ebben az állapotban a kamra teljes hővesztesége éppen 41,5 W értékű volt, tehát a bevezetett hőteljesítménnyel megegyező hőáram hagyta azt el. Az adott, állandó teljesítményű hőbevezetéssel ez az állandósult állapot közel 8 és fél óra alatt volt elérhető. Ennek oka a kamrában található részegységek és a levegő, a kamra anyagának, továbbá a vizsgált próbatessztnek a hőkapacitása volt. Ahhoz, hogy a vizsgált test hővezetése jó közelítéssel meghatározható legyen, stacioner állapotban szükséges ismerni az adott hőfokkülönbség esetén a rajta átáramló hőteljesítményt. Ehhez ismerni kell a rendszerbe bevezetett hőteljesítményt, továbbá a kamra falán veszteségként kiáramló hőteljesítményt. A bevezetett hőteljesítmény egyszerű teljesítménymérő műszerrel könnyen mérhető, mivel az teljes egészében a rendszerbe vezetett elektromos teljesítményből adódik; azonban a veszteség-teljesítmény meghatározása még nem történt meg. Ennek meghatározása céljából a későbbiekben egy olyan próbatesszt kerül beépítésre, amely anyaga és falvastagsága megegyezik a kamra hőszigetelő falával. Így különböző fűtési teljesítmények esetén a stacioner állapotot elérve meghatározhatók az egyensúlyi hőmérsékletek, amelyek ismeretében függvénykapcsol-

lat írható fel a veszteségteljesítmény és a hőfokkülönbség között. E függvény ismeretében pedig a vizsgált próbatest esetén kialakuló egyensúlyi hőmérséklet-különbségből kalkulálható az aktuális veszteségteljesítmény, tehát a próbatesten átáramló hőteljesítmény is.

Első lépésként célunk az összeállított mérőrendszer működésének tesztelése volt. Ehhez az előzőekben bemutatott próbatestet preparáltuk és építettük be a mérőkamrába. A közel 8 és fél órán keresztül másodpercenként mintavételezett hőmérséklet-adatokat később a MATLAB szoftverrel dolgoztuk fel. A 2. ábra a mért hőmérsékleti értékek időbeni alakulása látható a vizsgálat teljes időtartama alatt.



2. ábra. A hőmérsékletértékek időbeni alakulása.

A 2. ábra alapján több fontos megállapítás is tehető. A diagramon jelölt szaggatott vonal a külső levegő (környezet) hőmérsékletét mutatja, amely jó közelítéssel állandó értékű volt. A későbbi mérések során a külső környezet hőmérséklete és páratartalma az adott feladatnak megfelelően beállítható lesz, miután a mérőegység egy klímakamrába kerül behelyezésre. A diagramon látható összes görbe meredeksége közel zérus értékre csökken a mérés végéhez közeledve, amely jelzi az időben stacionárius hőáramlás kialakulását, tehát ekkortól már a teljes bevezetett hőáram megegyezik a környezet felé leadott hőáram értékével; a kamra és a próbadarab hőkapacitása már nem befolyásolja a rendszerből kilépő hőáram értékét. A legmagasabb hőmérsékletértékek a pontvonallal jelölt belső levegőhöz tartoznak, amelyet közvetlenül a kamrában elhelyezett villamos fűtés melegített. Ez a ventilátorral keringtetett levegő melegítette konvekció segítségével a próbatest belső felületét, amelyhez tartozó hőfokgörbe a diagramon a „0 mm”-es görbének felel meg (lásd a 2. ábra látható jelölésjegyzék). E görbe bármely időpillanatban a „belső” görbe alatt helyezkedik el, amelynek oka a hőátadás során kialakuló hőfoklépcső. Hasonló a helyzet a próbatest külső felülete („40 mm”) és a környezeti levegő hőfoka („kulso”) között. A 8. órától jó közelítéssel stacioner folyamat esetén a levegő hőmérséklete és a felület hőfoka közötti hőfoklépcsők ($\Delta T_{konv,b}$ és $\Delta T_{konv,k}$ lásd a 2. ábra) a Newton-féle hőátadási törvényből származtatva írható fel:

$$\Delta T_{konv,i} = \frac{\dot{q}}{\alpha_i}, \quad (1)$$

ahol \dot{q} a vizsgált próbatesten átáramló hőáram sűrűsége [Wm^{-2}] (egydimenziós hőáramlást feltételezve), α_i pedig a belső ($i=b$) és külső ($i=k$) hőátadási tényező [$\text{W}(\text{m}^2\text{K})^{-1}$], amelyek értéke többek között a levegő áramlási sebességétől és a felület érdességétől is függ. Jelen mérési összeállítás esetén a hőátadási tényezők a számított hőáramsűrűségből és a hőfoklépcsőkből kalkulálhatók.

A próbatest hővezetési tényezője (λ) egydimenziós hővezetést feltételezve a Fourier-féle hővezetési törvény egydimenziós alakja alapján számítható, átrendezve az alap összefüggést:

$$\lambda = \frac{\dot{q} \cdot \delta}{\Delta T_{test}}, \quad (2)$$

ahol $\Delta T_{test} > 0^\circ\text{C}$ a próbatest két felületének hőfokkülönbsége stacionárius esetben és $\delta = 40$ mm a falvastagság (lásd 2. ábra).

Mindezek alapján tehát a vizsgált test hővezetési tényezőjének meghatározásához szükséges még a \dot{q} hőáramsűrűség értéke is, amelyet a próbatest hőáramlásra merőleges felületének ismeretében (A_{test}) a következő összefüggésből számíthatunk:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A_{test}}. \quad (3)$$

A (3) összefüggésben szereplő \dot{Q} hőteljesítmény pedig nem más, mint a próbatesten időegység alatt átáramló hőmennyiség. Ez az előzőekben leírtak alapján a stacioner állapot elérése esetén megegyezik a rendszerbe bevezetett \dot{Q}_{be} hőteljesítmény és a veszteségként abból nem a próbatesten keresztül kilépő \dot{Q}_{veszt} hőteljesítmény különbségével:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{be} - \dot{Q}_{veszt}. \quad (4)$$

A hővesztéséget a korábbiakban leírt módon kívánjuk meghatározni a kamra falával megegyező tulajdonságokkal rendelkező próbadarab vizsgálatával. Ez a mérési módszer az úgynevezett „abszolút technika” [4].

A 2. ábra a próbatest különböző mélységű pontjainak függvényei („0 mm” – „40 mm”) alapján további fontos megállapítás is tehető. Megfigyelhető, hogy a belső felülettől („0 mm”) minél távolabbi pont hőmérséklet-görbéjét vizsgáljuk, időben annál később kezd el nőni annak hőfoka. Ez a 0-0,5 óra időintervallumban figyelhető meg leginkább. Ebben az időintervallumban a próbatestbe a kamra belső tere felől belépő hőáramnak az egyre kisebb része jelenik meg távolodva annak belső felületétől a külső felülete felé, ami miatt a hőmérséklet is késve kezd el emelkedni időben a belső hőmérséklethez képest. Ennek oka feltételezhetően a vizsgált test hőkapacitásában keresendő: instacioner esetben – egydimenziós hőáramlást feltételezve – a testbe belépő hőáram folyamatosan csökken a testen történő áthaladása közben, hiszen a hőenergia egy része a test anyagának felmelegítését szolgálja. Így tehát a test külső felületén csak időben eltolva, annak fajlagos hőkapacitásától (fajhőjétől) és térbeli dimenzióitól függően jelenik meg az a hőáram, amely a belső felületen a testbe belépett. Ennek az időben való eltolódásnak fontos hatása van az építőanyagok esetében. Egy nagyobb hőkapacitással rendelkező építőanyag nagyobb idő alatt tud csak „átjutni” az egyik oldalán közölt hő, így a másik felületen időben csak később jelenik meg a hőmérséklet-változás. Ez a napi hőfok-ingadozás esetén egy hőmérséklet-kiegyenlítő hatást eredményez. Jól megválasztott építőanyag (hővezetési tényező és hőkapacitás) és építőanyag-vasagság esetén a belső térben a falhőmérséklet ingadozása jelentősen lecsökkenthető. Hasonló elvet alkalmaznak a régi építésű, nagy tömegű vályogházak is. Mivel a hőkapacitás értéke összefüggésben áll a próbatest különböző mélységű pontjaiban mért hőmérséklet-értékek időbeni alakulásával, ezért az általunk készített berendezést a jövőben képessé kívánjuk tenni a nevezett mennyiség meghatározására is. Az adatfeldolgozás pontosítása érdekében hasonló problémával foglalkozó munkából vett eljárásokat is be kívánunk abba illeszteni.

4. Összefoglalás

Az összeállított mérőrendszerrel a saját készítésű hőszigetelt kamrába beépített próbadarabon elvégzett mérés eredményei alapján elmondható, hogy a rendszer alkalmas különböző anyagok hővezető képességének meghatározására. A mért mennyiségek feldolgozásával meghatározhatóvá válik a próbatest hővezetési tényezője, ami a mérőrendszer összeállításának elsődleges célja volt.

A későbbiekben a próbatest hőkapacitásának meghatározása céljából kívánjuk továbbfejleszteni a rendszert. Mivel maga a vizsgálókamra kisméretű, így az behelyezhető a Tanszék laboratóriumában található klímakamrába, amelyben szimulálható a napi hőingadozás hatása is. Az elkövetkezőkben a mérések mellett a jelenségek pontosabb vizsgálata céljából numerikus szimulációkkal (ANSYS Fluent) is ki kívánjuk egészíteni vizsgálatainkat.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti Farkas László műszaki szolgáltatót és Bozzay Péter tanszéki mérnök kollégát, akik a mérőrendszer összeállításában és az adatgyűjtés automatizálásában nyújtottak segítséget. A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Bihari, P.: *Műszaki hőtan*, Edutus Főiskola, Budapest, 2012.
- [2] Padrah, I., Pásztor, J., Farnos, R.: *Hővezetés jelenségét tanulmányozó berendezés tervezése és kivitelezése*, Műszaki Tudományos Közlemények, vol. 11., 2019., pp. 153-156. <https://doi.org/10.33895/mtk-2019.11.34>
- [3] Jónás, Z.: *Hővezetési tényező mérése polisztirol habokban*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ, 1998. pp. 257-260.
- [4] Dongliang, Z., Xin, Q., Xiaokun, G.: *Measurement Techniques for Thermal Conductivity and Interfacial Thermal Conductance of Bulk and Thin Film Materials*, Univ. of Colorado, Boulder, 2017., pp. 5-10.