

ÉPÍTŐANYAGOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA DINAMIKUS HŐ- ÉS PÁRATECHNIKAI MODELLEZÉSHEZ

LABORATORY MEASUREMENTS OF CONSTRUCTION MATERIALS FOR DYNAMIC HEAT AND MOISTURE TRANSPORT MODELLING

Nagy Balázs

Doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
nagy.balazs@epito.bme.hu

Kivonat: Az épületek vagy épületszerkezetek dinamikus hő- és nedvességtranszportjának modellezéséhez az egyes építőanyagok hő- és páratechnikai viselkedésének, anyagtulajdonságainak ismerete elengedhetetlen. Ezen paramétereket épületfizikai és anyagtani laboratóriumi mérésekkel, valamint a mért adatok ismeretében számításokkal határozhatjuk meg. Jelen cikkben e mérésekről (hővezetési tényező, páradiffúziós képesség, szorpciós és deszorpciós képesség, vízfelvétel, nedvességtranszport tényező és entalpia) és a mért eredmények feldolgozásáról lesz szó, melyek segítségével a valós állapotokat modellező dinamikus szimulációk készíthetők.

Kulcsszavak: Épületfizika, építőanyagok, laborvizsgálatok, hő- és páratechnika

Abstract: For dynamic modeling of heat and moisture transport in buildings or components, the knowledge of heat and moisture dependent behavior of construction materials are essential. These parameters of construction materials can provided by physical and laboratory measurements, or calculated from measured data. In this paper, these measurements (thermal conductivity, vapor diffusion, sorption and desorption, water absorption, moisture transport and enthalpy), and the processing of the measurement results will be discussed to help creating the actual state for dynamic simulations.

Keywords: Building physics, construction materials, laboratory measurements, heat and moisture transport

1. BEVEZETÉS

Az épületek energetikai számításakor jelenleg döntő többségében csak az épületszerkezetek hőtechnikai ellenőrzése készül el, az állagvédelmi vizsgálatokat a vonatkozó jogszabályok nem írják elő. Amennyiben páratechnikai vizsgálatokra kerülne sor, leggyakrabban csupán állandósult állapotbeli egydimenziós vizsgálatot folytatnak le a tervezők, mivel a többdimenziós illetve tranzien állapot, továbbá a kapcsolt hő- és páratechnikai modellezéséhez nem áll rendelkezésre elegendő adat sem a hazánkban előforduló építőanyagokról, sem pedig feldolgozott adatsorok az épületek környezetében található éghajlatról.

2. HŐ- ÉS NEDVESSÉGTRANSPORT ALAPJAI

Az épületek vagy épületszerkezetek dinamikus hő- és nedvességtranszport modellezéséhez a vizsgált tartomány hőmérséklet és nedvességeloszlásának ismeretére is szükségünk van, melyek egymástól is függenek, mivel az anyagok épületfizikai tulajdonságai többek között mind a hőmérsékletüktől, mind pedig a nedvességtartalmuktól is függnék, melyeket a szimulációk során figyelembe kell vennünk. Az egyenleteket tehát egymáshoz kapcsoltan kell megoldanunk.

A kapcsolt hő- és nedvességtranszport numerikus modellezéséhez szükséges parciális differenciálegyenleteket az alábbiakban találhatjuk, melyek közül az (1)-es a hőtranszport folyamatokat, míg a (2)-es a nedvesség és páratranszportot írja le:

$$\frac{\partial H}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$\rho_v \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_v D_v \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right), \quad (2)$$

ahol:

- H – nedves építőanyagok entalpiája [J/m³];
- T – termodinamikai hőmérséklet [K];
- t – idő [s];
- x – egydimenziós tartomány [m];
- λ – a hővezetési tényező [W/mK];
- h_v – a víz párolgáshője [J/kg];
- δ – az építőanyagok páradiffúziós tényezője [kg/msPa];
- μ – az építőanyagok páradiffúziós ellenállási száma [-];
- p – a parciális párányomás [Pa];
- ρ_v – a víz sűrűsége [kg/m³];
- ψ – a nedves anyagok víztartalma [m³/m³];
- φ – relatív légnedvesség [-];
- D_v – nedvességtranszport tényező [m²/s].

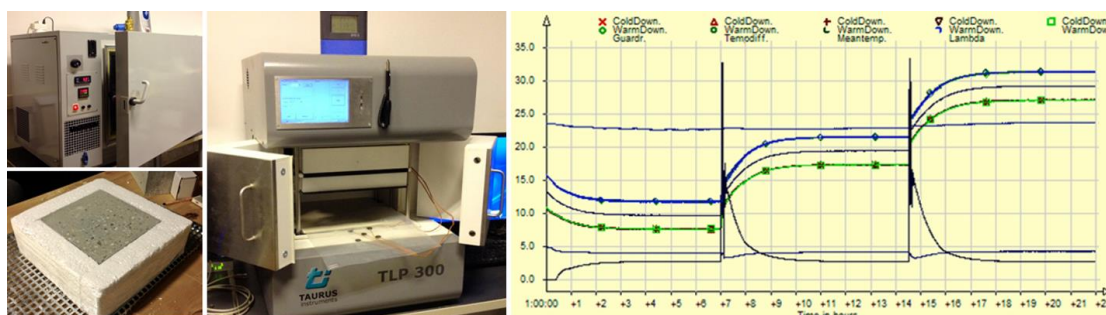
Az (1) egyenlet baloldalán a nedves építőanyagok hőtartalma található a hőmérséklet és az idő függvényében, a jobboldal pedig a hő- és nedvességfüggő hővezetést és a páraáramlás okozta hőtartalom-változást írja le, melyet látens hő effektusnak is nevezünk. A (2) egyenlettel pedig a nedvességtranszport írható fel egydimenziós tartományban, mely során a szerkezetek egyes pontjaiban történő nedvesség és páraáramlást az anyagok nedvességtartalmának a relatív légnedvességtől és az idő függvényében határozhatjuk meg, a jobboldalon szétválasztva a nedvességtranszportot és a páraáramlást.

3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

Az előbbieken bemutatott kapcsolt differenciálegyenlet rendszer numerikus megoldásához szükségünk van az egyenletekben szereplő anyagtulajdonságok laboratóriumi vizsgálatára.

3.1. Hővezetési tényező mérése

A hővezetési tényező megadja, hogy egy méter anyagon egy kelvin hőmérsékletkülönbség hatására egy másodperc időtartam alatt mennyi energia tud áthaladni, mértékegysége W/mK.



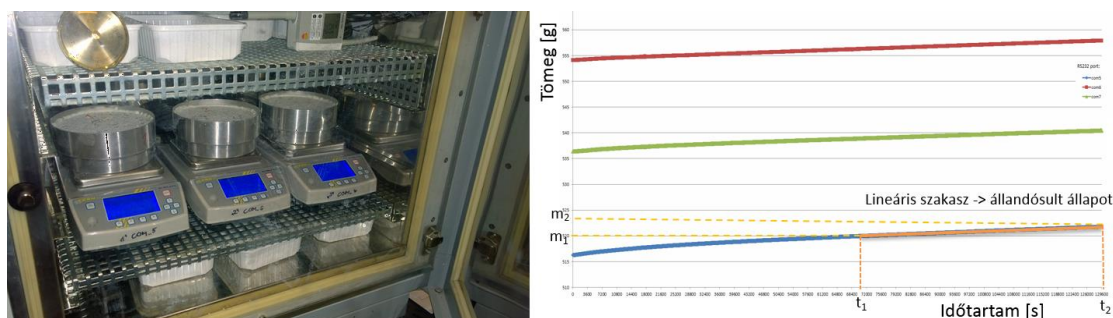
1. ábra Hővezetési tényező mérése

A hővezetési képesség erősen függ az anyag hőmérsékletétől és nedvességtartalmától, melyek hatásait korrekciós tényezőkkel vehetünk figyelembe az MSZ EN ISO 10456 szabvány szerint. A laboratóriumban történő mérésére számos mérési eljárást fejlesztettek ki az elmúlt 100 évben, mely módszerek pontossága és alkalmazhatósági tartománya az anyagok hőmérsékletétől és nedvességtartalmától, valamint hővezetési ellenállásuktól is függ. Hazai mérések során a hőárammérésen alapuló eljárásokat [4] valamint az 1. ábrán bemutatott peremvédett segédfűtőlapos készülékkel történő mérési eljárást részesítjük előnyben.

A készülék mérési képessége kiszélesíthető magasabb hővezetési tényezőjű vagy nedves anyagok vizsgálatára, ha azokat hő- és nedvességáramlást megakadályozó speciális kalodával látjuk el, melyet alumíniumfóliából és EPS habból készíthetünk el [6].

3.2. Páradiffúziós képesség vizsgálata

Az építőanyagok páradiffúziós tényezőit hőmérséklet- és páraszabályozott kamrában, speciális alumínium mérőedényekkel (melyekben a relatív légnedvességet a próbatest alsó oldalánál $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ -vel 53%-ra állítjuk be) és a kamrába helyezett különböző sóoldatokkal beállított relatív légnedvesség hatására kialakuló nyomáskülönbség segítségével vizsgálhatjuk, mely létrehozza a páradiffúziót az építőanyagon keresztül. Az alkalmazott műszereket és mérési összeállítást a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra Páradiffúziós képesség mérése

Amennyiben a próbatest két oldalán található relatív légnedvesség különbség 70%-nál nagyobb, az MSZ EN ISO 12572 szabvány értelmében wetcup vizsgálatról, míg 70%-nál kisebb esetben drycup vizsgálatról beszélhetünk. Előbbi esetben a páravándorlás a mérőedény felé, míg utóbbi esetben a kamra felé történik. A mérőedények tömegváltozását precíziós mérlegek segítségével másodpercenként rögzítjük, majd a mérési eredményeket felhasználva az alábbi összefüggéseket alkalmazhatjuk a páradiffúziós tényező meghatározásához:

$$\delta = \frac{d \cdot \left| \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \right|}{A \cdot |p_k - p_e|} \quad , \quad (4)$$

ahol:

- d – a vizsgált építőanyag vastagsága [m];
- $m_2 - m_1$ – a vizsgálat során bekövetkező tömegváltozás [kg];
- $t_2 - t_1$ – a vizsgálat időtartama [s];
- A – a próbatest szabadfelülete, melyen keresztül a páravándorlás zajlik [m²];

- p_k – a vizsgálókamrában található párányomás [Pa];
 p_e – a mérőedényben található párányomás [Pa].

A páradiffúziós egyenértékű szám a levegő páradiffúziós tényezőjének és a vizsgált építőanyag páradiffúziós tényezőjének hányadosaként határozható meg:

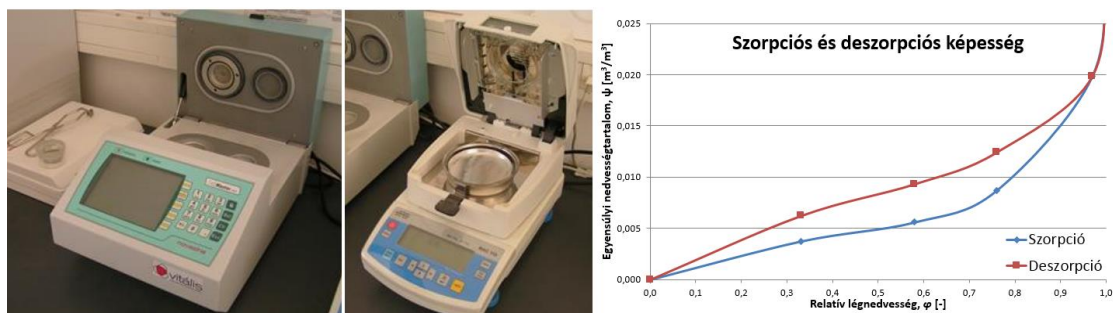
$$\mu = \frac{84,0998 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,81}}{462 \cdot p_b \cdot T} \quad , \quad (5)$$

ahol:

- p_b – a vizsgálókamrában található barometrikus nyomás hektopascalban [hPa].

3.3. Szorpciós és deszorpciós képesség meghatározása

Az építőanyagok adszorpciós és deszorpciós képességének meghatározását az MSZ EN ISO 12571 szabvány szerint sóoldatok vagy klímakamra alkalmazásával vizsgálhatjuk. Előbbi módszer speciális változata laboratóriumunkban a vízáktiváción alapuló mérés, mely során etalon sóoldatokkal kisméretű mintákon mérünk. A módszer alkalmas a természetes és mesterséges építőanyagok, hőszigetelő anyagok vizsgálatára is [2].



3. ábra Szorpciós és deszorpciós képesség meghatározása

A 3. ábrán látható vízáktivációs- és gyors nedvesség meghatározó precíziós mérleg alkalmazásával az egyes anyagok változó relatív légnedvesség melletti egyensúlyi nedvességtartalmát vizsgálhatjuk változó hőmérsékleti tartományokban is. Megfigyelhető, hogy míg a szorpciós izoterma csekély módon, addig a deszorpciós izoterma jelentősen függhet a vizsgálati hőmérséklettől [5].

3.4. Vízfelvételi együttható meghatározása részleges bemelegítéssel

A nedvességtranszport tényező közelítő képlettel történő meghatározásához szükség van a vízfelvételi tényező ismeretére. Az együttható meghatározásához építési anyagok esetén részleges bemelegítési eljárást alkalmazhatunk az MSZ EN ISO 15148 szabvány szerint (lásd például a 4. ábra), vagy hőszigetelő termékek esetén rövid ideig tartó bemelegítéshez az MSZ EN 1609 szabvány alkalmazandó [1].

A vízfelvételi tényező a körbeszigetelt próbatest bemelegített felületén keresztül, a vizsgálat első és utolsó mérési pontja között felvett nedvesség tömegének és a vizsgálat időtartamának négyzetgyökének hányadosaként határozható meg az alábbi képlet felhasználásával:

$$A_v = \frac{\Delta m'_{tf} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}}, \quad (6)$$

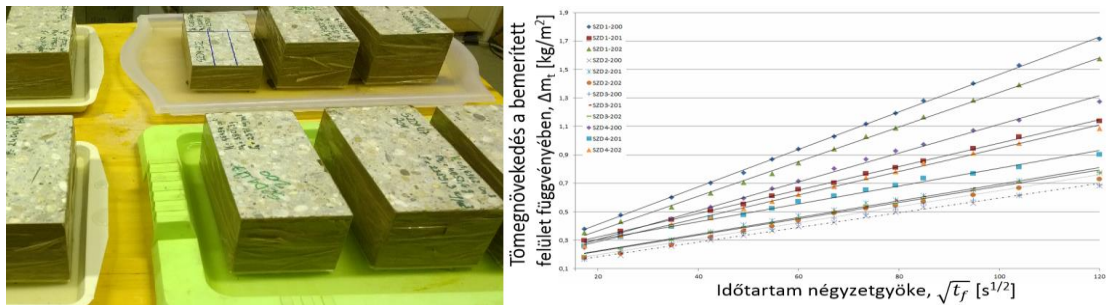
ahol:

A_v – a vízfelvételi tényező [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$];

$\Delta m'_{tf}$ – a felvett nedvesség egy adott időpillanatban és a bemejtett felület hányadosa [kg/m^2];

$\Delta m'_0$ – az első figyelembevett mérés kori felvett nedvesség és a bemejtett felület hányadosa [kg/m^2];

$\sqrt{t_f}$ – a vizsgálat időtartamának négyzetgyöke [$\text{s}^{1/2}$];



4. ábra Vízfelvétel meghatározása mérési eredményekből

3.5. Nedvességtranszport tényező számítása

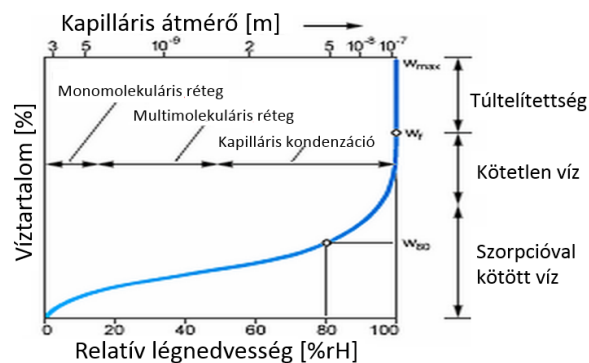
A nedvességtranszport tényező meghatározását a laborvizsgálatokkal meghatározott szorpciós és deszorpciós izoterma átlagaként értelmezett víztartalmi függvény (5. ábra) egyes pontjainak ismeretében és a vízfelvételi tényező segítségével határozhatjuk meg, mely a függvény minden pontjában eltérő lehet és az alábbi közelítő egyenlettel határozható meg:

$$D_v(w) = 3,8 \cdot \left(\frac{A_v}{w_f} \right)^2 \cdot 1000 \left(\frac{w}{w_f} - 1 \right), \quad (7)$$

ahol:

w_f – az építőanyag szabadvíz tartalma [kg/m^3];

w – az építőanyag nedvességtartalma [kg/m^3];

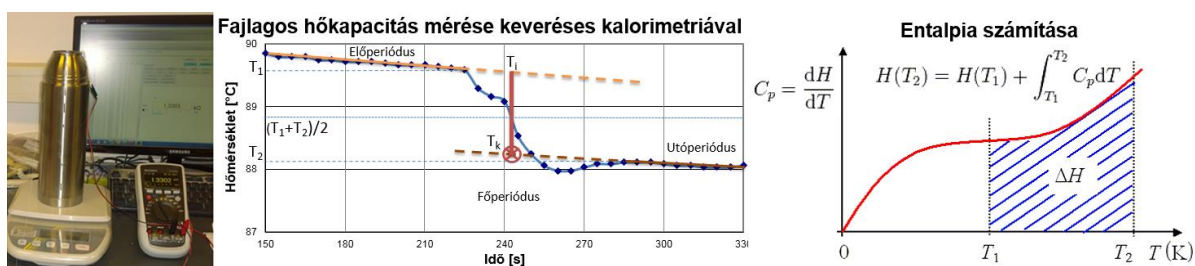


5. ábra Relatív légnedvesség, víztartalom és kapilláris átmérő összefüggése

A modellezés során megkülönböztethetünk vízfelvételekre és vízeloszlásra vonatkozó nedvességtranszport tényezőket, előbbi a vízzel közvetlenül érintkező esetben (pl. a felületet érő csapóeső esetén), utóbbi a felvett víz anyagban történő eloszlásakor értelmezhető [3].

3.6. Fajlagos hőkapacitás és entalpia meghatározása

Az állandó nyomáson vett fajlagos hőkapacitás (fajhő, c_p) megadja, hogy mekkora energiát (J) kell közölni egy kg építőanyaggal, hogy hőmérsékletét 1 Kelvinnel emeljük. E tulajdonság hőmérsékletfüggő. Az épületfizikában gyakran térfogati hőkapacitással számolunk, mely a fajhő és a testsűrűség szorzata. Az anyagok fajhője az alkotóik fajhőjének ismeretében számítható. A fajhő nem egyenlő az entalpiával (H), mely egy zárt rendszer összes hőtartalmát leíró mennyiség, azonban annak meghatározásához ismernünk kell a fajhőt is.



6. ábra Építőanyagok fajlagos hőkapacitásának meghatározása és az entalpia számítása

A fajhőt a 6. ábrán látható eljárással mérhetjük meg a legegyszerűbben, mely során kaloriméterben lévő forró vízbe helyezünk laborlevegőn kondicionált próbatestet, vagy hideg vízbe felmelegítettet. A víz hőmérsékletváltozásának ismeretében, a kezdeti és a közös hőmérséklet grafikus korrekciója után meghatározhatjuk az építőanyag fajlagos hőkapacitását:

$$c_p = \frac{c_v \cdot m_v \cdot (T_k - T_i)}{m \cdot (T - T_k)}, \quad (8)$$

ahol:

- c_p – állandó nyomáson vett fajlagos hőkapacitás [J/kgK];
- m – a próbatest tömege [kg].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben az építőanyagok hő- és páratechnikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatát mutattam be, mely során a dinamikus hő- és nedvességtranszport szimulációkhoz szükséges összes anyagtulajdonságra meghatározásának módszerére és számítására kitértem.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BOZSAKY, D.**, *Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálata és elemzése*, doktori értekezés, Széchenyi István Egyetem MTK ÉÉT, 2011., pp. 165.
- [2] **CSANAKY, J. E.**, *Természetes anyagok laboratóriumi vizsgálata és minősítése*, Magyar Építőipar LI (5), 2014., pp. 187-190.
- [3] **KRUS, M.**, *Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials*, doktori értekezés, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1996., pp. 88.

- [4] **LAKATOS, Á., CSÁKY, I., KALMÁR, F.**, *Thermal conductivity measurements with different methods*, Materials and Structures 48, 2015., pp. 1343-1353.
- [5] **OROSZ, M.**, *Polisztirolbeton falpanel hő- és nedvességfüggő hővezetése*, Műszaki Tudomány az Észak - Kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia, 2015., pp. 6.
- [6] **SZAGRI, D.**, *Szálerősített betonok hővezetési tényezőinek vizsgálata*, TDK dolgozat, BME Magasépítési Tanszék, 2014., pp. 73.