

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszék



Építőanyagok fajhőjének mérése adiabatikus kaloriméterrel

Készítette: **Varga Tamás Antal II. éves gépészmérnök hallgató**

Belső konzulens:	Dr. Lakatos Ákos
Tanszékvezető:	Dr. Kalmár Ferenc

Lezárás dátuma: 2014.04.28.

Debrecen
2013.

Tartalomjegyzék

I. Bevezetés	3
I.1. Építő anyagok jelentősége a hőtárolásban	3
I.2. Hőszigetelés	6
I.3. Épület szerkezetek hőtárolása	7
II. Elméleti áttekintés, szilárd testek fajhői	11
II. 1. Hőkapacitás	11
II.2. Néhány anyag fajlagos és moláris hőkapacitása	13
III. Fajhő mérése, adiabatikus kaloriméterrel	15
III.1. Elméleti összefoglaló.....	15
III.2. Méréshez felhasznált eszközök	21
III.3. Saját adiabatikus kaloriméter elkészítése	23
III.4. A mérés menete	28
IV. Anyagok bemutatása	30
IV.1. Ytong.....	30
IV.2. Porotherm téglá	31
IV.3. Vörös téglá	32
IV.4. Keramzit falazóanyag (Liapor)	33
IV.5. Kőzetgyapot.....	34
V. Mérési adatok bemutatása.....	35
V.1. Ytong	35
V.2. Porotherm	36
V.3. Vörös téglá.....	37
V.4. Keramzit falazóanyag (Liapor).....	38
V.5. Kőzetgyapot.....	39
V.6. Mért adatok összehasonlítása	40
VI. Összefoglalás.....	42
VII. Irodalomjegyzék.....	43
VIII. Ábrajegyzék.....	44
IX. Táblázatjegyzék	45

I. Bevezetés

I.1. Építő anyagok jelentősége a hőtárolásban

Építkezések, tervezések során az egyik, szinte mindenki számára fontos kérdés a falazatok kialakítása. A több évszázados hazai gyakorlat egyértelműen az úgynevezett nehézszerkezetek (vályog, kő, tégl, beton) mellett le a voksát, de az utóbbi időben azért egyre több épület készül már itthon is a tőlünk nyugatabbra és északabbra megszokott, ún. könnyű szerkezetes (fa, faváz) építésmóddal. Ahogy a gyakorlat is mutatja, mind a két elvi megoldásnak megvan a létjogosultsága, nézzük meg, hogy milyen előnyök és hátrányok kapcsolódnak egyik, illetve másik megoldáshoz.

Az első és talán legismertebb különbség a nagytömegű építési módú épületek hőtároló kapacitása. Az ilyen épületek lomhábban reagálnak a hőmérsékletváltozásokra. A külső-belső hőmérséklet-ingadozások a szerkezeten keresztül időben késleltetve jutnak át, hiszen első körben az energia jó része a fal, a nagy tömeg felmelegítésére fordítódik. Minél nagyobb a szerkezet fajhője / tömege, a folyamat értelemszerűen annál lassabb. (Egy családi ház léptékű épület könnyedén megbirkózik a több napi, egy templom akár heti, míg egy hagyományos, földalatti pince akár az évi ciklusokkal is.)

Ennek előnyeit élvezhetjük például nyáron, amikor a nappali külső meleg nem jut át a falon, sőt az éjszakai lehűlés alkalmával vissza is hűl. Téli időszak alatt az ablakos szellőztetés idejét követően a bejövő hideg levegő hamar felmelegszik, átveszi, kiegyenlíti a nagy tömeg hőmérsékletét. Ezzel szemben például egy könnyűszerkezetes (fa tartószerkezetes) tetőtér – még ha hőszigetelt is – sokkal hamarabb átmelegszik, és könnyebben ki is hűl.

A nagy hőtároló tömeg ezek szerint jól kisimítja a hőmérsékleti ingadozásokat, ellenben a lomhaságának hátrányai is vannak. Például egy hosszabb szabadság alatt áthűlt épület újbóli felmelegítése hosszabb időt és több energiát igényel, mint egy könnyűszerkezetes társáé. Egy esetleges fűtésleállásra viszont ismét a nehézszerkezet reagál jobban, hiszen nagy mennyiségű hő van „betárolva” a tömegben, s így a lehűlés is lassabb.

Persze a különbségek azért az esetek többségében nem ennyire ordítóak. Mérések és számítások is igazolják, hogy a hőenergia tárolás szempontjából gyakorlatilag a fal belső 12-16 cm-es sávja „dolgozik” csak, így a mai teherhordó falak 38-44 cm-e ebből a szempontból feleslegesnek tűnik. És persze az épület többi szerkezete is „árnyalja” a képet, mindig a ház

összességét kell nézni. A padló- és födém szerkezetek is – általában – nagy tömeget képviselnek, így csökkentve a faltípusok által létrejövő különbséget.

Természetesen a tömeg pozitív hatása is csak akkor hasznosul, ha a hőtároló-szerkezet nincs elszigetelve a belső tértől. A belső oldali hőszigetelés ebből a szempontból is kerülendő. Ilyen megközelítésből a hőszigetelő zsaluelemes, betonmagos falszerkezet is – a belső oldali hőszigetelő kéreg miatt - kedvezőtlenebb, mint egy hagyományos, teherhordó falszerkezetből és külső oldali kiegészítő hőszigetelésből álló szerkezet.

De azt se feledjük el, hogy a mai hőszigetelő téglák tömege és így hőtároló képessége a vékony elemszerkezet és a sok bezárt légakna miatt meg sem közelíti a korábbi, tömörtéglás szerkezetekét. Ilyen szempontból, hőtechnikailag a belső tömör téglás vagy betonfalas és külső oldali kiegészítő hőszigeteléssel ellátott falszerkezet lenne a legkedvezőbb.

A könnyűszerkezetes épületeknek van egy kiemelt előnye, éspedig az, hogy lényegesen kisebb az ökológiai lábnyoma, mint egy hazánkban hagyományos, nehézszerkezetes épületnek. Vagyis ilyen szerkezet használata mellett mind a beépített energiatartalom, mind az előállítás során felszabaduló CO₂ terhelés lényegesen alacsonyabb.

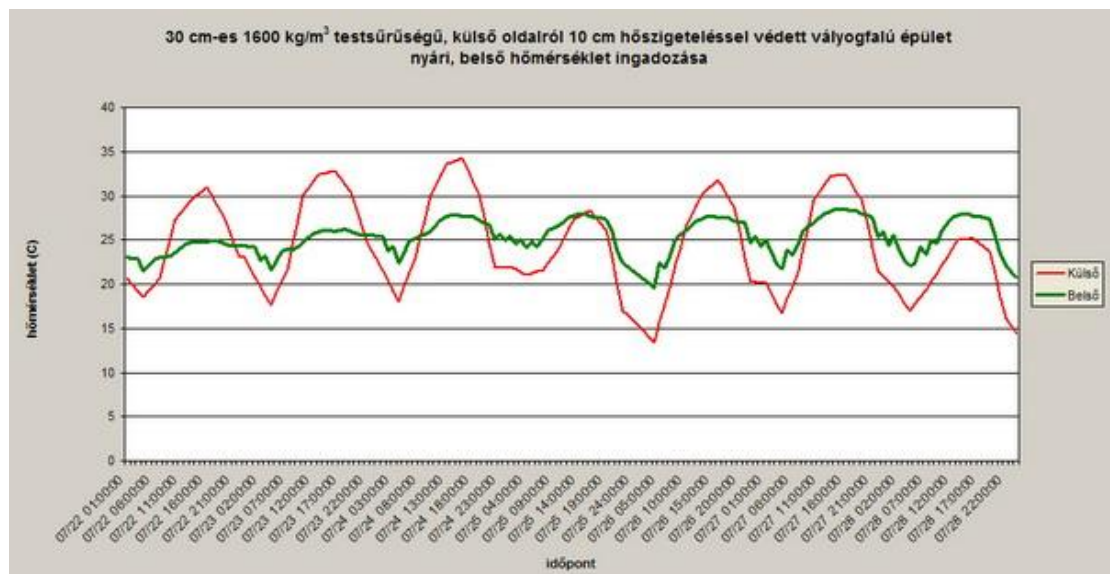
Persze ha belegondolunk a felhasználásba kiderül, hogy mely megoldásoknak mikor, milyen klíma és építési kultúra mellett jelentkeznek az előnyei. A nehézszerkezetes építésmód egyértelműen a melegebb, mediterrán terület sajátja, míg a könnyűszerkezetes épületek főleg északabbra, a nyári hővédelemre nem érzékeny klímájú - és persze nem mellékesen fában gazdag - területeken terjedtek el leginkább. Nekünk itt „középen” jogos lehet a mérlegelés, bár az időjárás jelenlegi és várható alakulása inkább, az érték- és időtállóság itthoni gyakorlata viszont egyértelműen a nehéz építésmód irányába mozdíthatja el a mérleg nyelvét.

[1]

Mi a hőtárolás szerepe nyáron?

Az épületszerkezetek hőtároló, hőcsillapító képességük révén képesek a nappali hőmérséklet csökkentésére. Az éjszakai hűvösebb levegő által lehűtött szerkezetek a nappali melegben csökkentik a belső levegő hőmérsékletét.

A belső hőmérséklet csillapítva követi a külső hőmérséklet ingadozásait, úgy, hogy a hőmérséklet maximum értékei között fáziseltolódás van.[2]



1. ábra: Hőszigeteléssel védett vályogfalú épület nyári belső hőmérséklet-ingadozása [2]

I.2. Hőszigetelés

A hőszigetelés mint fogalom jelentése: két eltérő hőmérsékletű tér (például a kültér és az épületbelső) között fellépő hőközlés gátlása, jellemzően nagy hőellenállással rendelkező szerkezettel. Tehát például hazánk klimatikus körülményei között télen a kinti hideg beáramlásának, illetve a beltéri meleg kiáramlásának akadályozása, azaz a fűtött helységek hővesztésének csökkentése.

A hőszigetelés az 1970–80-as években kapott igazán nagy figyelmet, és terjedt el az egész világon, aminek kiváltó oka az 1973-as olajválság volt. A cél az volt, hogy minél kevesebb anyagi ráfordítással emelkedjék az épület komfortfokozata, és egyben csökkenjen az épület energiafelhasználása.

Az egyre növekedő energiaárak, valamint a föld fosszilis energiahordozó-készletének kimerülése miatt ma már nem kérdés a hőszigetelés létjogosultsága. Az ügy fontosságát igazolják bizonyos európai uniós irányelvekben szereplő útmutatások, valamint az új építésű házakra vonatkozó hazai jogszabályi előírások is. A ház hőszigetelésével nagymértékben hozzájárulhatunk környezetünk szennyezésének csökkentéséhez.

Mivel a nyugalomban lévő levegő a legjobb hőszigetelő anyag, ezért a szerkezetek hőszigetelő tulajdonságát a szerkezeti rétegek által közbezárt levegő adja. A hőszigetelés témáját tárgyalva meg kell különböztetnünk hőszigetelő anyagokat és az olyan hőszigetelő képességgel rendelkező szerkezeteket, amelyek anyagukat tekintve nem rendelkeznek feltétlen hőszigetelő tulajdonsággal, de szerkezeti kialakításuk folytán igen (például a különböző ablakszerkezetek).

Hőszigetelő anyagok:

- Expandált polisztirol hab (EPS)
- Extrudált polisztirol hab (XPS)
- Kőzetgyapot (ásványgyapot)
- Üveggyapot
- Poliuretán hab (PUR hab)
- Fagyapot lemez
- Magyarországon nem jellemző hőszigetelő anyagok: parafa, gyapot, kókusz, kender, farost, cellulóz alapú anyagok. [3]

I.3. Épület szerkezetek hőtárolása

Hőtárolóképesség

Időben nem állandósult folyamatok esetében a rendszerbe belépő és az onnan távozó hőáramok különbsége egyenlő a rendszerben tárolt energia változásával. Ennek következtében a hőmérséklet-eloszlás a szerkezetben módosul. Egy külső falszerkezetben a tárolt hő, te hőmérsékletű falhoz viszonyítva:

$$W = \sum_{j=1}^n W_j = \sum_{j=1}^n C_j \theta_j \quad (1)$$

ahol:

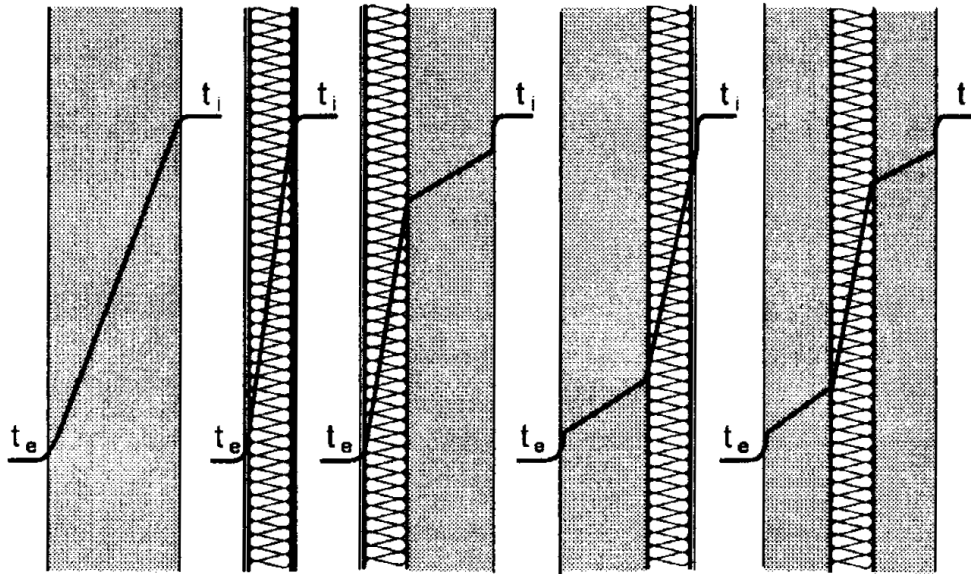
$$C = \sum_{j=1}^n C_j = \sum_{j=1}^n m_j c_j = A \sum_{j=1}^n d_j \rho_j c_j \quad (2)$$

$$\theta_j = \bar{t}_j - t_e \quad (3)$$

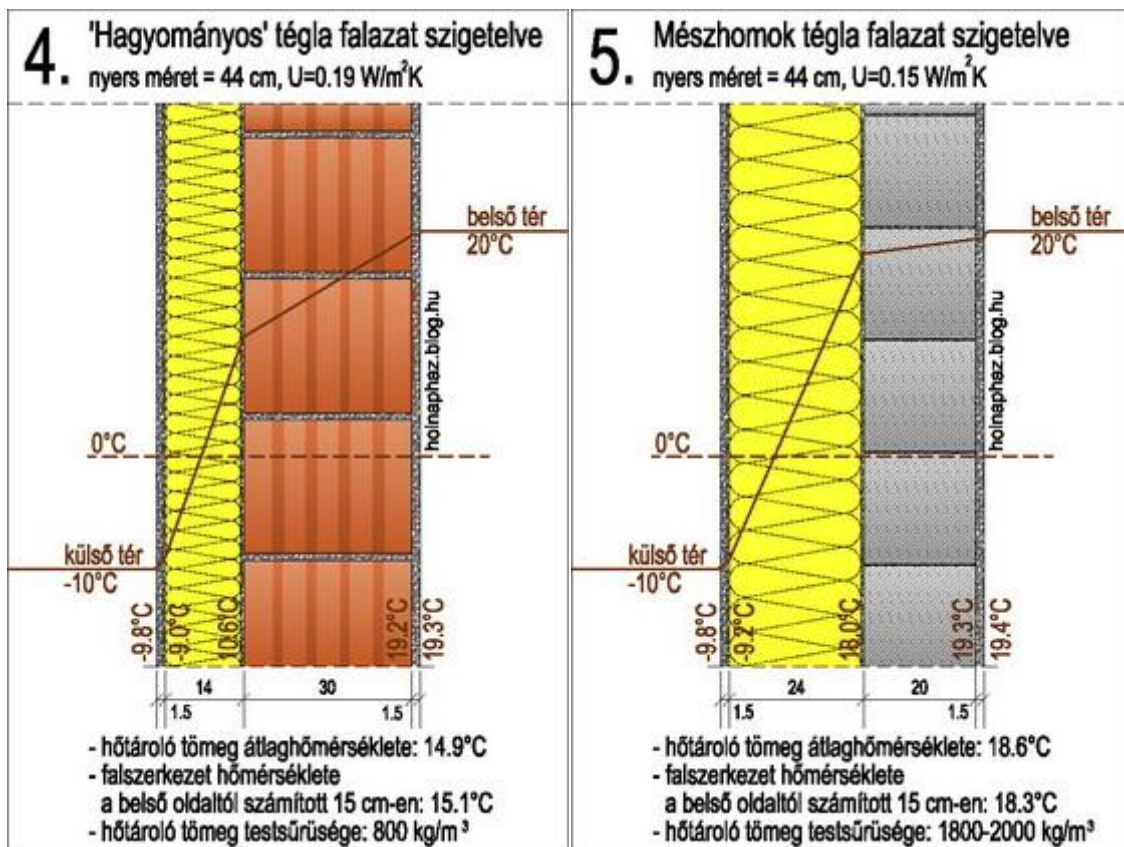
ahol: W_j a tárolt hő az épületszerkezet j rétegében ; C – a falszerkezet hőkapacitása; m_j a j réteg tömege; A az épületszerkezet felülete; d_j – a j réteg vastagsága, ρ_j - a j réteg anyagának sűrűsége; c_j - a j réteg anyagának a fajhője; θ_j - a j réteg túlhőmérséklete, $\bar{t}_j$ - a j réteg átlagos hőmérséklete.

Az (1) összefüggés alapján látható, hogy a tárolt hő két azonos méretekkkel és túlhőmérséklettel rendelkező anyag közül abban nagyobb, amelyiknek nagyobb a sűrűsége és fajhője. Az építőiparban használatos anyagok túlnyomó részének fajhője $c=0,84-0,95$ [kJ/kgK], kivételt képez a fa (1,7-3,0 [kJ/(kg·K)]), illetve a szerves adalékú vályog (1,0-1,3 [kJ/(kg·K)]).

Hogy egységnyi homlokfelületű elemi rétegben a külső hőmérséklethez viszonyítva mennyi tárolt hő van, az az $(1 \cdot \Delta x \cdot \rho \cdot c)$ szorzaton kívül attól is függ, mennyivel melegebb az adott réteg a külső környezeténél, - ezt a hőmérséklet-eloszlás vonalai alatti metszések is jelzik. (2.ábra).

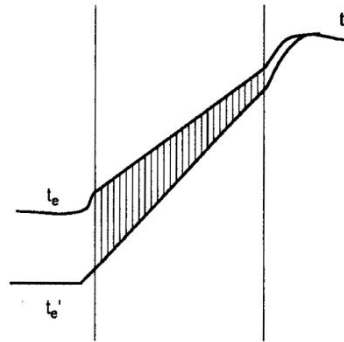


2. ábra: Különböző falszerkezetek hőmérséklet-eloszlási vonalai[4]



3. ábra: Porotherm, illetve Ytong hőmérséklet-változási vonalai, szigeteléssel ellátva [5]

Ha a külső hőmérséklet hirtelen lecsökken, az új külső hőmérsékletnek megfelelő új hőmérsékletesési vonal csak akkor alakul ki, ha a régi és az új helyzet különbségének megfelelő hőmennyiség a falból már „távozott”. (4. ábra).



4. ábra: A falból távozó hő a külső hőmérsékletváltozás hatására [4]

Ha a túlhőmérséklet elemi $d\theta$ változást szenved, akkor a tárolt hő rovására a szerkezeten elemi $d\tau$ időtartam alatt áthaladó hőáram:

$$Cd\theta = -k\theta d\tau \quad (4)$$

ennek megfelelően a túlhőmérséklet

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{\tau}{T}} \quad (5)$$

ahol θ_0 – a túlhőmérséklet $\tau=0$ időpontban; T - a szerkezet időállandója, [s]:

$$T = \frac{c}{Ak} \quad (6)$$

Egy épületszerkezet időállandója tulajdonképpen azt jelzi, hogy mennyi idő alatt távozna a tárolt hő a szerkezetből állandó hőáramsűrűség mellett. Valójában azonban a csökkenő hőmérséklet-különbség miatt a hőáramsűrűség is fokozatosan csökken és ezért T idő alatt a szerkezet nem hűl le a környezet hőmérsékletére.

Hőtároló tömeg

A tárolt hő elsősorban rövid ideig tartó hideg időszakok „átvételése” szempontjából fontos. A periodikus hőtárolási folyamatban a szerkezetnek csak egy bizonyos mélységű zónája vesz részt aktívan. Ennek a zónának a mélysége, hővezetési ellenállásban mérve $R < 0,15$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$]. Azok a rétegek, amelyeket a felszíntől $R \geq 0,15 \text{ m}^2 \text{K} / \text{W}$ ellenállású rétegek választanak el, a nap periódusú hőfelvétel és leadás folyamatában aktívan nem vesznek részt.

Külső épületszerkezetek fajlagos hőtároló tömege

Egy homogén épületszerkezet fajlagos (1 m^2 felülethez tartozó) hőtároló tömege:

$$m = x\rho; \quad R \frac{x}{\lambda} = 0,15 \Rightarrow m = 0,15\lambda\rho \quad (7)$$

Ha az épületszerkezet többretegű, akkor meg kell vizsgálni, hogy teljesül-e az $R_1 > 0,15$ feltétel. Ha igen, akkor ugyanúgy járunk el mint, homogén határoló szerkezetek esetében. Ha a feltétel nem teljesül, akkor azt kell megvizsgálni, hogy az első két réteg hővezetési

ellenállása nagyobb-e, mint $0,15 [(m^2 \cdot K)/W]$. Ha igen akkor, aktív zóna második rétegében van:

$$m = d_1 \rho_1 + x \rho_2 ; R_1 + \frac{x}{\lambda_2} = 0,15 \Rightarrow x = (0,15 - R_1) \lambda_2 \quad (8)$$

Ha a feltétel nem teljesül, akkor az első három réteg összeállítását kell megvuzsgálni, és így tovább.

Mindezek alapján látható, hogy ha a határolószervezet belső oldalán az első réteg nagyon magas hővezetési ellenállással rendelkezik (pl. lambéria, gipszkarton+légréteg, stb.) akkor az aktív zóna egy igen vékony réteg lesz. Mivel ezen anyagoknak a sűrűsége is alacsony, ilyen szerkezetek esetében kicsi a fajlagos hőtároló tömeg.

Belső épületszerkezetek fajlagos hőtároló tömege

Ha a szerkezet belső és hőtechnikai szempontból elég vastag ($R \geq 0,3 [(m^2 \cdot K)/W]$), akkor az egyik és a másik oldaláról számított aktív hőtároló zónák nem érnek össze. Ebben az esetben úgy járnak el, mint a külső szerkezet esetében.

Ha a szerkezet hőtechnikai szempontból vékony ($R < 0,3 [(m^2 \cdot K)/W]$), akkor az aktív hőtároló zónák egymást átlapolják. Ebben az esetben megkeressük a szerkezet hőtechnikai közepét. Homogén szerkezetre ez a geometriai közép, inhomogén szerkezetre a felezősíktól jobbra és balra a hővezetési ellenállások egyformák, majd kiszámítjuk a hőtároló tömeget.

Helyiségek hőtároló tömege

A helyiségek hőtároló tömege az öt burkoló egyes szerkezetek felületének és fajlagos hőtároló tömegének szorzatösszege:

$$m = \sum A_j m_j \quad [4] (9)$$

II. Elméleti áttekintés, szilárd testek fajhői

II. 1. Hőkapacitás

Egy rendszer **hőkapacitása** megadja, hogy mennyi hőt (Q) kell közölni a rendszerrel, hogy hőmérséklete (T) egy kelvinnel emelkedjék. Jele: C , mértékegysége: J/K Matematikailag megfogalmazva: a hőmennyiség hőmérséklet szerint differenciálhányadosa:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (10)$$

A hőközlés kétféle módon történhet: vagy állandó térfogaton (izochor folyamatban), vagy állandó nyomáson (izobár folyamatban). Az állandó nyomáson tartott rendszer hőkapacitása mindig nagyobb, mint az állandó térfogatú rendszeré. Az eltérés gyakorlati szempontból csak légnemű anyagot tartalmazó rendszer esetében jelentős. Kondenzált rendszerek esetén elhanyagolhatóan kicsi.

Ha a rendszerrel állandó térfogaton közlünk hőt, az a rendszert alkotó részecskék – atomok, molekulák – belső energiájának (U) a növekedésére fordítódik. Ha viszont a hőközlés állandó nyomáson történik, akkor a hőközlés során bekövetkező hőmérséklet-változás nem csak a részecskék mozgási energiáját növeli, hanem a rendszer hőtágulását, térfogat-növekedését is eredményezi, ami térfogati munka végzésével jár. (A két energia összegét nevezzük entalpiának (H)).

A térfogatváltozás miatt állandó nyomáson mindig nagyobb hőt kell közölni ugyanazon rendszerrel, mint állandó térfogaton, hogy azonos nagyságú hőmérséklet-növekedést érjünk el. A fentebb vázolt okok miatt kétféle hőkapacitást definiálunk.

Állandó térfogaton mért hőkapacitás

Az állandó térfogaton mért hőkapacitást a belső energia (U) hőmérséklet szerinti differenciálhányadosaként az alábbi kifejezés definiálja:

$$C_V = \frac{dU}{dT} [J/K] \quad (11)$$

Állandó nyomáson mért hőkapacitás

Az állandó nyomáson mért hőkapacitást az entalpia (H) hőmérséklet szerinti differenciálhányadosaként az alábbi kifejezés definiálja:

$$C_p = \frac{dH}{dT} \text{ [J/K]} \quad (12)$$

Fajlagos és moláris hőkapacitás

A **fajlagos hőkapacitás** (régi nevén fajhő), megadja, hogy mennyi hőt kell közölni egységnyi tömegű anyaggal ahhoz, hogy a hőmérséklete egy fokkal megemelkedjék. Jele: c , mértékegysége: J/kgK. Matematikailag megfogalmazva:

$$c = \frac{dQ}{mdT} \quad (13)$$

ahol m a rendszer tömege.

A **moláris hőkapacitás** (régi nevén mólhő), megadja, hogy mennyi hőt kell közölni egységnyi anyagmennyiségű anyaggal ahhoz, hogy a hőmérséklete egy fokkal megemelkedjék. Jele: C_m , mértékegysége: J/molK. Matematikailag megfogalmazva:

$$C_m = \frac{dQ}{ndT} \quad (14)$$

ahol n a rendszer anyagmennyisége.

Mind a fajlagos, mind pedig a moláris hőkapacitás értelmezhető állandó térfogaton és állandó nyomáson. Gyakrabban az állandó nyomáson mért hőkapacitásokat használjuk, mivel a gyakorlatban a hőközlés is állandó (légköri) nyomáson történik.

Tökéletes gázok esetében a kétféle moláris hőkapacitás közötti különbség az egyetemes gázállandó értékével egyenlő:

$$C_p - C_v = R = 8,314 \text{ [J/mol} \cdot \text{K]} \quad [5] \quad (15)$$

II.2. Néhány anyag fajlagos és moláris hőkapacitása

Anyag neve	Hőmérséklet t [C°]	Hőmérséklet T [K]	Fajhő c [kcal/kg K]	Fajhő c [kJ/kg K]
Agyag	20	293,15	0,21	0,879
Üveg	20	293,15	0,20	0,837
-jénai 16 III	20	293,15	0,186	0,779
-jénai 59 III	20	293,15	0,198	0,791
-közönséges tirimi, üvegcsövek	-50	223,15	0,158	0,662
	20	293,15	0,184	0,770
	100	373,15	0,214	0,896
	20	293,15	0,183	0,766
-tükör számára	22	293,15	0,115	0,481
-flint	20	293,15	0,159	0,666
-króm	20	293,15	0,174	0,729
-kvarc	20	293,15	0,185	0,775
-pirex				
Üveggyapot	20	293,15	0,20	0,837
Beton, üreges	20	293,15	0,19	0,795
Beton	20	293,15	0,21	0,879
Cement, portland	20	293,15	0,186	0,779
	100	373,15	0,205	0,858
Fa	0	273,15	0,33	1,382
	20	293,15	0,60	2,512
	100	373,15	0,65	2,721
	20	293,15	0,65	2,721
	20	293,15	0,65	2,721
	20	293,15	0,57	2,386
	20	293,15	0,65	2,721
	34	307,15	0,288	1,206
Föld, kavicsos	20	293,15	0,44	1,842

Habarc, falazó	20	293,15	0,20	0,837
Homok, nedves	20	293,15	0,17	0,712
Könnyű építőlapok (heraklit és hasonló)	20	293,15	0,40	1,675
Kazánkő (szulfátos)	300	573,15	0,20	0,837
Kovakő	20	293,15	0,18	0,754
Len, fonál a hő áramlására merőleges	-	-	0,320	1,340
Márvány	20	293,15	0,19	0,795
Mészkő	20	293,15	0,20	0,837
Pala	20	293,15	0,18	0,754
Szilikatégla	20	293,15	0,22	0,921
	25	298,15	0,19	0,795
Tőzeg	20	293,15	0,45	1,884
Tégla	20	293,15	0,20	0,837
Téglafal	20	293,15	0,25	1,047
Vulkanikus eredetű kő	100	373,15	0,331	1,386

1. táblázat: Egyes anyagok adott hőmérsékleten mért fajhője [6]

III. Fajhő mérése, adiabatikus kaloriméterrel

III.1. Elméleti összefoglaló

Egy anyag belső energiája (U) a rajta végzett makroszkopikus munka (W), vagy egy másik testtel létrejött kontaktus során molekuláris szinten lezajló energia átadás (Q) útján változtatható meg. Ezt a tapasztalatot rögzíti a hőtan I. főtétele:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (16)$$

ahol ΔU a belső energia megváltozása, ΔW a testen végzett makroszkopikus munka, ΔQ pedig a molekuláris mechanizmussal a testnek átadott energia, amit *hőnek* (hőmennyiségnek) nevezünk. Ha egy testtel hőt közlünk (pl. elektromos fűtőtesttel melegítjük), akkor belső energiája és ezzel együtt hőmérséklete is megváltozik. A tapasztalat szerint nem túl nagy hőmennyiség közlése esetén a bekövetkező hőmérséklet-változás (Δt) egyenesen arányos a közölt hővel (Q), fordítottan arányos a vizsgált anyag tömegével, (m) és függ a vizsgált anyag minőségétől is:

$$\Delta t = \frac{Q}{cm} \quad (17)$$

ahol az anyagra jellemző c állandót fajhőnek nevezzük. Számértéke megadja, hogy egységnyi tömegű anyaggal mennyi hőt kell közölnünk ahhoz, hogy hőmérsékletét 1 K-nel megváltoztassuk. Mértékegysége [$J kg^{-1} K^{-1}$].

A testtel közölt hő azonban nemcsak a belső energia megváltoztatására, hanem munkavégzésre is fordítható:

$$\Delta Q = \Delta U - \Delta W \quad (18)$$

Ennek megfelelően a fajhő:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1}{m} \frac{\Delta U}{\Delta t} - \frac{1}{m} \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (19)$$

Mivel a munkavégzés függ a folyamat körülményeitől, a fajhő csak akkor határozható meg egyértelműen, ha a hőközlés folyamatát pontosan rögzítjük. Ennek megfelelően, elvileg igen sokféle fajhő definiálható, a gyakorlatban ezek közül kettőt használnak, az állandó térfogaton (c_V) és az állandó nyomáson (c_P) mért fajhőt. Gázok esetében e kétféle fajhő számottevően különböző, szilárd és folyékony anyagoknál közel azonos értékű.

A fajhő – különösen alacsony hőmérsékleten – a hőmérséklettől is függ. A mérés során szilárd anyagokat vizsgálunk, amelyeknek fajhője a vizsgált hőmérsékleteken állandónak tekinthető és amelyeknél a c_p és c_v eltérése is elhanyagolható. Ezért a továbbiakban egyszerűen "fajhő"-ről beszélünk, és index nélküli c jelölést használunk. (Szigorúan véve a c_p -t mérjük.)

A mérnöki gyakorlatban a hűtő- és fűtő berendezések és a határoló szerkezetek hőtani viselkedésének egyik meghatározója az alkalmazott anyagok fajhője. Az anyagtudományban a fajhő mérésével bizonyos anyagszerkezeti változásokat – fázisátalakulásokat – követhetünk nyomon. A fajhő meghatározása a $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ képlet alapján lehetséges. Megmérve a vizsgált anyag tömegét, az anyaggal közölt, ill. a tőle elvont hő mennyiségét és a bekövetkezett hőmérséklet-változást, a fajhő kiszámítható.

A gyakorlatban sok esetben közvetlenül a testtel közölt hő és a hőmérsékletváltozás összefüggésére van szükség, így a fajhő helyett az adott testre jellemző $C = mc$ mennyiséget használják, amelyet hőkapacitásnak neveznek. A $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ összefüggés így a $C = \frac{Q}{\Delta t}$ alakot ölti.

A vizsgált anyaggal történő hőközlés két módszere terjedt el, a különböző hőmérsékletű anyagok összekeverésével, ill. az elektromos fűtőtesttel történő hőközlés. Az alábbiakban ezen két módszer alap gondolatát ismertetjük.

Fajhőmérés keveréssel

A mérendő c fajhőjű, m tömegű, t hőmérsékletű anyagot ismert paraméterekkel (c_i, m_i, t_i) rendelkező anyaggal – általában olyan folyadékkal, amely nem lép kémiai reakcióba a mérendő anyaggal – összekeverjük, majd megmérjük a beálló közös hőmérsékletet (t_k). Feltéve, hogy a keverés során a két anyag között kizárólag hőátadás történik, a vizsgálandó anyag által felvett (vagy leadott) hő egyenlő az ismert anyag által felvett (vagy leadott) hővel, ezért

$$cm(t - t_k) = c_i m_i (t_k - t_i) \quad (20)$$

ami alapján az ismeretlen c fajhő meghatározható.

Ez a módszer elsősorban szilárd testek és folyadékok fajhőjének meghatározására alkalmas, de segítségével gázok állandó nyomáson mért fajhője is megmérhető. Ebben az esetben a vizsgált gázt cső-spirálon áramoltatják a folyadékon át. A gáz tömegének, hőmérséklet-változásának valamint a mérő folyadék adatainak ismeretében a gáz állandó nyomáson mért

fajhője (c_p) meghatározható. Az állandó nyomáson mért fajhő ismeretében az állandó térfogaton mért fajhő, (c_v) szintén meghatározható (pl. hangsebesség-méréssel).

Fajhőmérés elektromos energiaközléssel

Ennél a módszernél a vizsgált anyag (fajhője c , tömege m) hőmérsékletét elektromos fűtőtest segítségével Δt értékkel megnöveljük. Feltéve, hogy a fűtőtest által leadott energia teljes egészében a vizsgált anyag belső energiáját növeli:

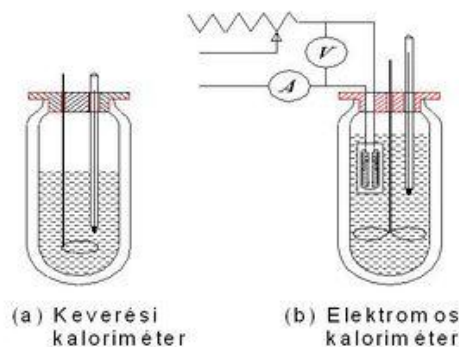
$$UI\tau = cm\Delta t \quad (21)$$

amiből az UI fűtőtéljesítmény, a τ melegítési idő, a vizsgált anyag m tömege és a Δt hőmérsékletváltozás ismeretében a c fajhő meghatározható.

A módszer elsősorban folyadékok fajhőjének meghatározására alkalmas. Használható azonban szilárd anyagok esetén is, ha azokat folyadékba helyezve a folyadékkal együtt melegítjük.

A kaloriméter hőkapacitása és a hőmérsékleti korrekció

A keveréssel és az elektromos melegítéssel történő fajhőmérés esetén eddig feltételeztük, hogy a folyamat a környezettől hőtanilag jól elszigetelve, hőveszteség nélkül játszódik le. Ennek a feltételnek a teljesítése érdekében a hőközlés a környezettől jó hőszigetelő anyagokkal elválasztott edényben, kaloriméterben történik. (Egy keverési és egy elektromos kaloriméter vázlatát a következő ábra mutatja.)



5. ábra: Keverési és elektromos kaloriméter felépítése [7]

Ennek ellenére a hőveszteség nélküli mérés mégsem valósítható meg, elsősorban az alábbi két ok miatt: az egyik az, hogy az edény hőmérséklete is változik a mérés közben, és ez is energiát igényel, a másik pedig, hogy bármilyen jó hőszigetelést is alkalmazunk a környezet felé, mindig történik energiaátadás. Ez a két ok (hiba) a kaloriméter hőkapacitásának figyelembevételével, illetve a hőveszteségek becslésével csökkenthető.

A kaloriméter hőkapacitása

Ha tudnánk azt, hogy a kaloriméter egyes részei milyen tömegűek, mekkora a fajhőjük és milyen mértékben melegsznek fel, akkor meg tudnánk határozni a kísérlet közben a kaloriméter egyes részeinek melegítéséhez szükséges energiát. Ez az eljárás gyakorlatilag megvalósíthatatlan. Ehelyett mérés segítségével meghatározzuk a kaloriméter C hőkapacitását. Ha a kaloriméter hőkapacitását is figyelembe vesszük, akkor a hőcserét leíró egyenleteink az alábbiak szerint módosulnak:

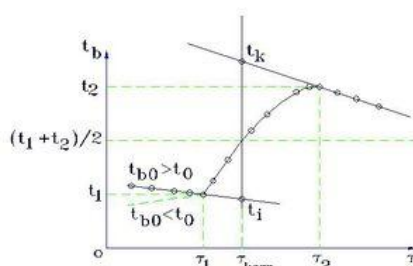
$$cm(t - t_k) = c_i m_i(t_k - t_i) + C(t_k - t_i) \quad (22)$$

$$UI\tau = cm\Delta t + C\Delta t. \quad (23)$$

A kaloriméter hőkapacitásának meghatározásához ismert fajhőjű (c_i, c) anyagok alkalmazásával a fenti egyenletek valamelyikével történik. Ismert fajhőjű anyagként rendszerint vizet alkalmazunk.

A hőmérsékleti korrekció

A kaloriméter belseje és a környezet között energiaátadást a belső tér (t_b) és a környezet (t_0) hőmérséklete közötti eltérés eredményezi. Az ezen hőmérsékletkülönbség okozta energiaátadást jó hőszigeteléssel, valamint egymáshoz közeli t_b és t_0 választással csökkentjük. A kaloriméter belseje és a külső tér között mindezek ellenére fellépő energiacsere "hőmérsékleti korrekcióval" vehető figyelembe. Az alábbiakban a hőmérsékleti korrekció grafikus végrehajtását mutatjuk be.



6. ábra: Kaloriméter hőmérsékletének változása [7]

Az ábra a kaloriméteres mérés során a kaloriméter hőmérsékletének változását mutatja be az idő függvényében. A görbe három jól elkülöníthető szakaszra osztható, az egyes szakaszokon lejátszódó folyamatokat áttekintjük:

- *Előperiódus:* A kaloriméterbe helyezett folyadék (víz, olaj stb.) és a kaloriméter, valamint a folyadék és a környezet közötti hőmérsékleti egyensúly kialakulásának folyamata. A kaloriméter és a mérő folyadék hőmérsékletétől függően ebben a szakaszban a belső tér hőmérséklete csökken, ha $t_{b0} > t_0$ vagy növekszik, ha $t_{b0} < t_0$ (t_{b0} a belső tér hőmérséklete kísérlet indításakor). Ebben a szakaszban a kis hőmérsékletkülönbségek miatt a hőmérséklet - idő kapcsolat jó közelítéssel lineárisnak tekinthető.
- *Főperiódus:* Az előperiódus a fő energiaátadási folyamattal folytatódik (főperiódus), amely az anyagok összekeveredésével, illetve a fűtőtest bekapcsolásával kezdődik. A főperiódusban a belső tér hőmérséklete (t_b) emelkedik. Ebben a szakaszban megy végbe az energiacsere az összekevert különböző hőmérsékletű anyagok között, vagy a kaloriméterben levő anyagok és a fűtőtest között. A kaloriméter belsejének hőmérséklete a környezeti hőmérséklet fölé emelkedik $t_b > t_0$ és ezért energialeadás történik a környezet felé. A hőveszteség miatt a belső tér hőmérséklete nem érheti el a tökéletes hőszigetelés esetén várható t_k egyensúlyi hőmérsékletet. A főperiódust követő szakasz (az utóperiódus) hőmérséklet-idő grafikonjából azonban következtetni tudunk erre az értékre.
- *Utóperiódus:* Ebben a szakaszban $t_b > t_0$ és a nem tökéletes hőszigetelés miatt lassan csökken a kaloriméter belsejében a hőmérséklet. A hőmérsékletcsökkenést most is lineárisnak tekintjük.

Látható, hogy a folyamat a nem tökéletes hőszigetelésből adódó hibák miatt az ideálistól eltérően alakul. A hőmérséklet - idő görbe felvétele azonban lehetőséget ad a hibák korrigálására. A hőmérsékleti korrekció gyakorlati végrehajtása a következőképpen történik (2. ábra). Felvesszük a kaloriméter hőmérsékletének időfüggvényét. Az elő- és utóperiódus szakaszára egyenest illesztünk. Tegyük fel, hogy az előperiódusra illesztett egyenes utolsó érintési pontjának koordinátái τ_1, t_1 . Az utóperiódusra illesztett egyenes első érintkezési pontjának koordinátái τ_2, t_2 . Ezek megállapítása után megrajzoljuk a $t = (t_1 + t_2)/2$ időtengellyel párhuzamos egyenest. Ennek az egyenesnek és a főperiódus görbéjének metszéspontján keresztül párhuzamost húzunk a hőmérséklettengellyel. Ez utóbbi egyenesnek és az időperiódusra illesztett egyenesnek a metszéspontját tekintjük a kaloriméter + mérőfolyadék rendszer kezdeti hőmérsékletének (t_1), az utóperiódusra illesztett egyenessel való metszéspontját fogadjuk el közös hőmérsékletnek (t_k).

A korrekció fenti módon történő végrehajtása az alábbiakon alapul: a környezettel való energiacsere miatt a kaloriméterben állandóan változik a hőmérséklet, egyensúlyi hőmérséklet sem alakulhat ki, így sem a kiindulási, sem a véghőmérsékletet nem tudjuk megmérni. Az előperiódusra fektetett egyenes mutatja, hogy hogyan változna a kaloriméter belsejében a hőmérséklet, ha nem indulna meg az energiacsere a főperiódusban. Ebből lehet a valódi kezdeti hőmérsékletre következtetni.

Az utóperiódusra fektetett egyenes segítségével arra lehet következtetni, hogy milyen hőmérséklet értéket vehetett volna fel a kaloriméter belseje ideális hőszigetelés mellett.

A jó minőségű kaloriméter hőkapacitása kicsi és hőszigetelése jó, azaz kicsi a környezettel való energiacsere. Ekkor a hőmérséklet közel állandó az elő- és utóperiódus során. [7]

III.2. Méréshez felhasznált eszközök

- testo 905 tapintó-beszűrő hőmérsékletmérő



7. ábra: testo 905 tapintó-beszűrő hőmérő (Forrás: <http://www.trutechtools.com>)

- Kimo típusú hőmérséklet mérő és regiszter.



8. ábra: Kimo hőmérséklet mérő és regiszter (Forrás: <http://www.kimocanada.com>)

- KERN EW laboratóriumi mérleg



9. ábra: Kern EW laboratóriumi mérleg (Forrás: <http://www.sysmatec.ch>)

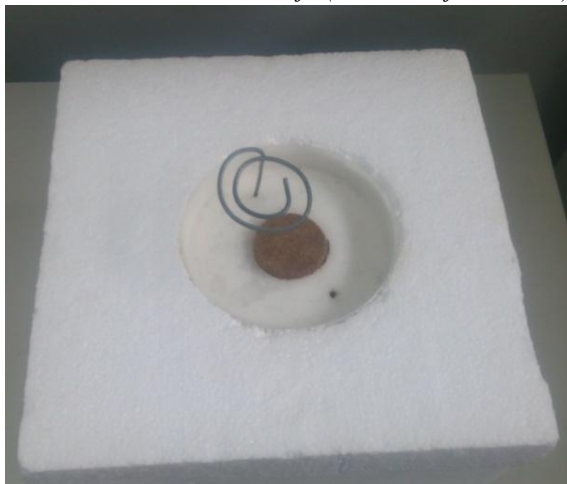
- saját készítésű adiabatikus kaloriméter



10. ábra: Kaloriméter külseje (Forrás: saját készítés)



11. ábra: Kaloriméter belseje (Forrás: saját készítés)



12. ábra: Kaloriméter fedele (Forrás: saját készítés)

III.3. Saját adiabatikus kaloriméter elkészítése

A kaloriméteréhez felhasznált anyagok

- 1 db 13,5 cm átmérőjű műanyag hengeres doboz fedővel
- 1 db 12,5 cm átmérőjű műanyag hengeres doboz
- Üveggyapot
- Hungarocell táblák
- Hungarocell ragasztó
- Parafa dugó
- Rozsdamentes fémszálból készített keverő



13. ábra: Kaloriméter hengerei egymásba illesztve (Forrás: saját készítés)



14. ábra: Kaloriméter hengerei (Forrás: saját készítés)

Elkészítésének menete

Az 5 cm magas hőszigetelő táblát hozzáragasztottuk a 20 cm magas táblához, majd a nagyobbik henger belefaragtuk, és ezután beleragasztottuk. A henger belsejét kibéleltük üveggyapottal, és ebbe beleraktuk a kisebbik hengert. A két henger között lévő méretkülönbségnek és a közöttük elhelyezett üveggyapotnak, illetve a benne lévő levegőnek köszönhetően csökkentettük a henger hőveszteségét. Ezután a két henger tetejét egy postai ragasztószalaggal összeragasztottuk ezzel, elkerülve annak a lehetőséget, hogy víz kerüljön a két fal közé, ugyanis ez rontaná a kaloriméter hőkapacitását. Ezt követően a nagyobbik henger tetejét beleváltuk és bele is ragasztottuk, egy ugyancsak 5 cm magas polisztirolba. Ezután a fedő tetején egy lyukat vágunk a parafa dugónak, amelyre azért volt szükség, hogy a mérendő anyagot könnyen beletehessük. Így nem kellett szétszedni a dobozt, amikor beletettük a mérendő anyagot és a dugónak köszönhetően elkerültük a minél nagyobb hő veszteséget

annak során, amíg a hengerben lévő víz a környezettel érintkezik. Ezután a fedőbe újabb két lyukat fúrtunk a hőmérőnek illetve a keverőnek.



15. ábra: Kaloriméter külső Hungarocell falazata (Forrás: saját készítés)



16. ábra: Kaloriméter belső hengerei közetgyapotot szigeteléssel ellátva (Forrás: saját készítés)



17. ábra: Kész kaloriméter, hőmérővel (parafadugó nélkül) (Forrás: saját készítés)

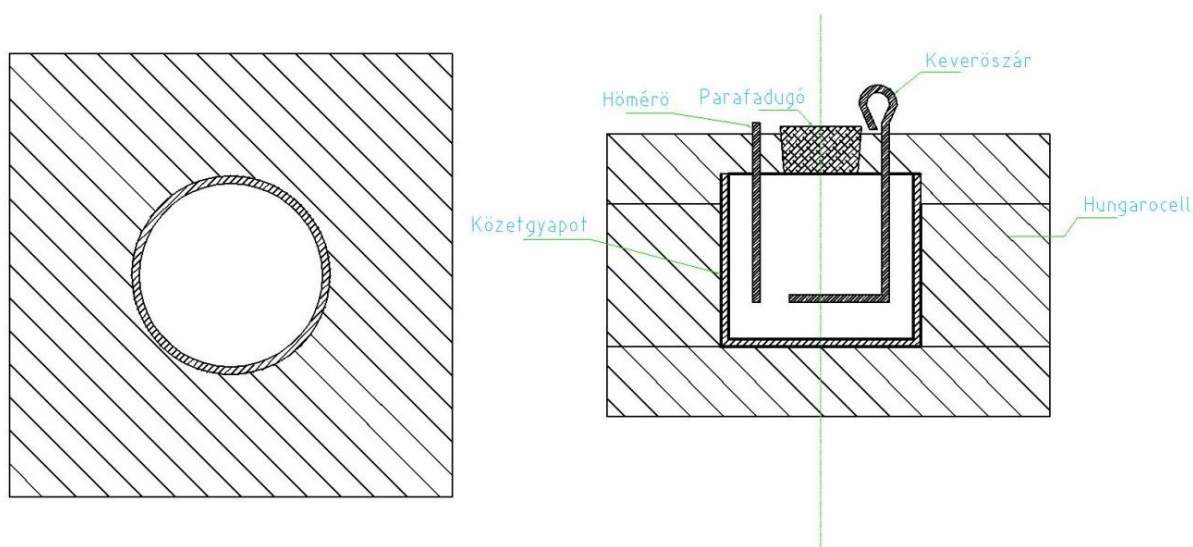
Miért is jobb a mi házi készítésű kaloriméterünk a boltban kaphatóaktól?

A boltban kapható kaloriméterek két egymásba helyezett alumínium hengerből állnak, amelyek között csak levegő van. Ezeknek a kalorimétereknek az a legnagyobb hibája, hogy az alumínium nagyon gyorsan átmelegszik, és majd ezt a hőt nagyon könnyen és gyorsan le tudja adni a környezetének, tehát óriási a hővesztésük. A mi általunk készített kaloriméter azért jobb, mint a boltban kapható, mert a hengerek között nem csak levegő, hanem hőszigetelő is található, tehát már a nagyobbik hengernek sem adja át olyan könnyen a hőt. Sőt a külső hengerünk körül lévő hungarocellnek köszönhetően nem tudja egyből a henger a környezetnek leadni a hőt. Így ennek következtében, a mi kaloriméterünknek sokkal kisebb a hővesztése, és a 0,5 körüli hőkapacitásának köszönhetően, joggal mondható adiabatikusnak.



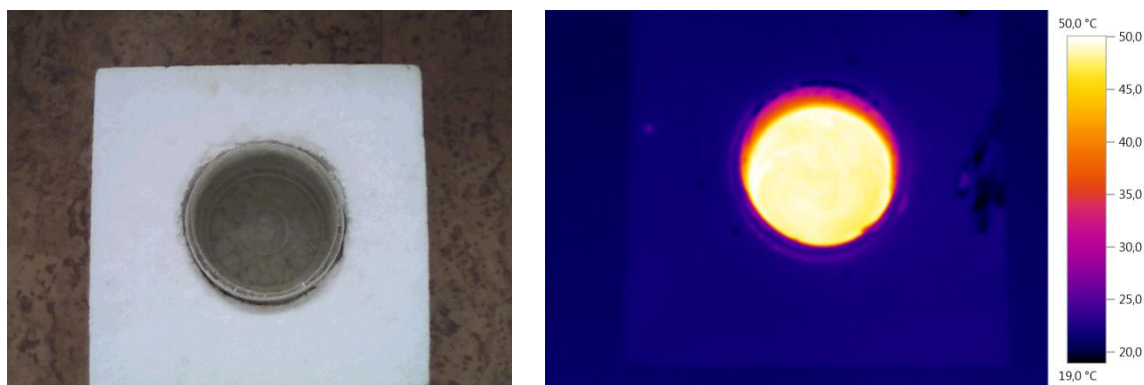
18. ábra: Hagyományos kaloriméter (Forrás: <http://vcsaba93.uw.hu>)

A kaloriméter metszete:

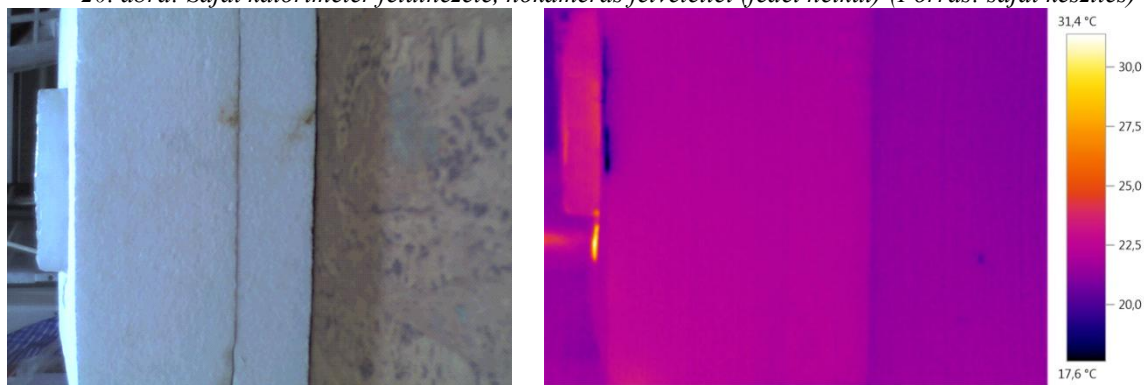


19. ábra: Saját kaloriméter metszete (Forrás: saját készítés)

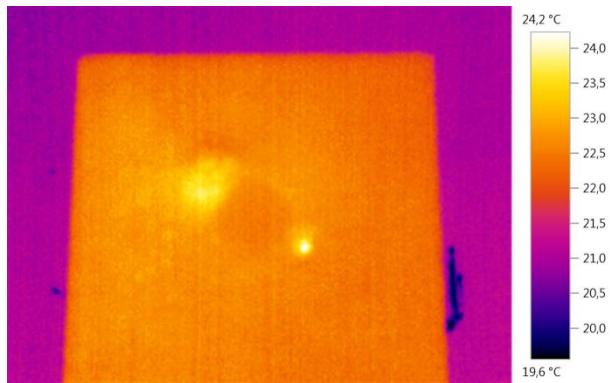
A kaloriméter hőkamerás felvétele (50C°-os vízzel):



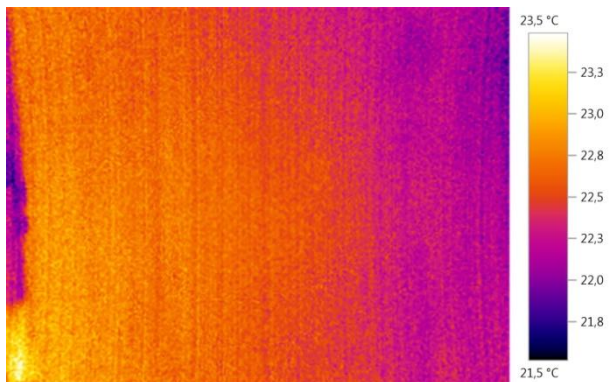
20. ábra: Saját kaloriméter felülnézete, hőkamerás felvétellel (fedél nélkül) (Forrás: saját készítés)



21. ábra: Saját kaloriméter oldalnézete, hőkamerás felvétellel (fedél nélkül) (Forrás: saját készítés)



22. ábra: Saját kaloriméter felülnézete, hőkamerás felvétellel (fedéllel) (Forrás: saját készítés)



23. ábra: Saját kaloriméter oldalnézete, hőkamerás felvétellel (fedéllel) (Forrás: saját készítés)

Megjegyzés: A hőkamerás felvétel is jól igazolja a kaloriméter jó hőkapacitását, és a képeken is látható, hogy a kaloriméter teljes joggal mondható adiabatikusnak!

III.4. A mérés menete

A kaloriméter vízértékének meghatározása

A kaloriméter vízértéke (m_v) alatt értjük azon vízmennyiség m_v tömegét, amelynek $c_v m_v$ hőkapacitása megegyezik a kaloriméter hőkapacitásával, vagyis azt a vízmennyiséget, amellyel a kaloriméter hőfelvétel szempontjából helyettesíthető.

A vízérték meghatározása céljából a kaloriméterbe először m_1 tömegű vizet öntünk és megvárjuk, hogy beálljon a termodinamikai egyensúly. Az alkalmas időpillanatban leolvassuk az egyensúlyi állapotnak megfelelő hőmérsékletet (t_1).

Ezután a kaloriméterbe m_2 tömegű, t_2 hőfokú ($t_2 < t_1$) vizet öntünk. A kétféle hőmérsékletű folyadék keverése által elérjük, hogy azok közös hőmérsékletet vegyenek fel. Ez úgy történik, hogy a melegebb víztömeg és a kaloriméter hőt ad le, amelyet a hidegebb víz vesz fel.

Legyen a keveredés utáni közös hőmérséklet értéke t . Nyilvánvaló, hogy az m_1 tömegű melegebb víz és a kaloriméter által leadott hőmennyiség.

$$Q_1 = c_v(m_1 + m_v)(t_1 - t), \quad (24)$$

ahol c_v a víz fajhője (4180 [kJ/kg]).

Az m_2 tömegű hidegebb víz által felvett hőmennyiséget a víz fajhője segítségével számíthatjuk ki úgy, hogy a víz tömege mellett figyelembe vesszük a kaloriméter m_v vízértékét is.

Ezek szerint a felvett hőmennyiség:

$$Q_2 = c_v m_2 (t - t_2), \quad (25)$$

$$\text{Mivel } Q_1 = Q_2, \text{ ezért: } c_v(m_1 + m_v)(t_1 - t) = c_v m_2 (t - t_2) \quad (26)$$

ahonnan

$$m_v = m_2 \frac{t - t_2}{t_1 - t} - m_1 \quad [8] \quad (27)$$

A szilárd test fajhőjének meghatározása

A szilárd test fajhőjének meghatározása céljából öntsünk a kaloriméterbe m_3 tömegű, t_3 hőmérsékletű vizet. Ezután helyezzünk a vízbe m_{sz} tömegű, t_{sz} hőmérsékletű ($t_{sz} > t_3$) szilárd testet.

A melegebb szilárd test által leadott hőmennyiséget a víz és a kaloriméter felveszi, míg el nem érnek egy közös t_k hőmérsékletet. A szilárd test által leadott hőmennyiség nyilvánvalóan

$$Q_{lead} = c m_{sz}(t_{sz} - t_k) \quad (28)$$

ahol c a szilárd test fajhője. A víz és a kaloriméter által felvett hőmennyiség értéke:

$$Q_{felv} = c_v(m_3 + m_v)(t_k - t_3) \quad (29)$$

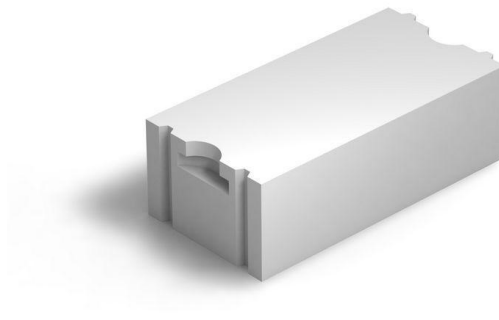
ahol c_v a víz fajhője, m_v pedig a kaloriméter vízértéke. Végül a két hőmennyiség egyenlőségéből kiszámítható a keresett fajhő:

$$c = c_v \frac{(m_3 + m_v)(t_k - t_3)}{m_{sz}(t_{sz} - t_k)} \quad [8] \quad (30)$$

IV. Anyagok bemutatása

IV.1. Ytong

Az Ytong jó hőszigetelő tulajdonsága biztosítja, hogy a belőle épült fal kiegészítő szigetelés nélkül is teljesíti a szigorú hőtechnikai követelményeket. A hőszigetelés az egyik legfontosabb szempont az építkezéseknél, és az Ytong ebben jól teljesít. A belőle épült épületek jellemzője, hogy a lakótér komfortérzetét növeli klímazabályozó képessége, és értékes az a zajvédelem is, amit nyújt. Nemcsak az elkészült épületeknek vannak kedvező tulajdonságai, hanem már az építkezés során is könnyű vele dolgozni. Az Ytong téglát méretpontossága, jó beépíthetősége, és könnyű megmunkálhatósága teszi praktikus építőanyaggá. További előnye még, hogy nem csupán egyszerű falazó anyag, hanem egy kiváló minőségű és komplett építési rendszer, amely az összes elemet tartalmazza, ami az építkezéshez szükséges. [9]



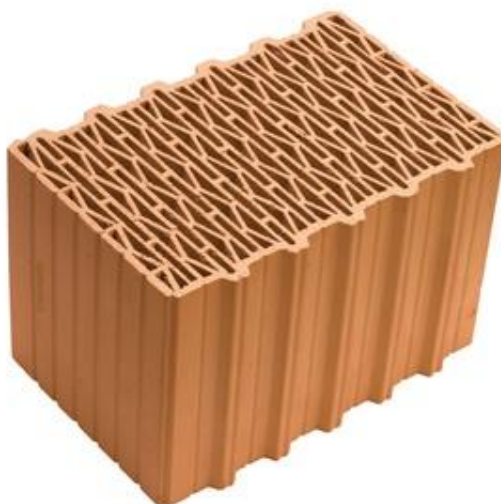
24. ábra: Ytong téglá (Forrás: <http://tuzep.hofstadter.hu/>)

Testsűrűség	1800 kg/m ³
Nyomószilárdság	20 N/mm ²
Hővezetési tényező	0,114 W/mK
Fajhő	1000 J/kgK
Ár	Drága

2. táblázat: Ytong jellemző adatai [13]

IV.2. Porotherm tégl

Az előállítása a régen bevált agyagból készül, kemencével való kiégetéssel. A Porotherm abban különbözik a jól bevált hagyományos tégláktól, hogy az előállítása a modern technológiákkal folyik, kiváló alapanyagokból. Legfőbb előnye hogy rácsos szerkezete van, amelynek köszönhetően kiváló a hőtartó illetve a hővezetési tényezője. Az újabb típusoknál ezt az üreges szerkezetet kitöltik különféle gyapotokkal, hőszigetelőkkel töltik ki.



25. ábra: Porotherm tégl (Forrás: <http://www.trunktuzep.hu/>)

Testsűrűség	600-800 kg/m ³
Nyomószilárdság	23,5 N/mm ²
Hővezetési tényező	0,116-0,174 W/mK
Fajhő	880 J/kgK
Ár	Közepes

3. táblázat: Porotherm jellemző adatai [14]

IV.3. Vörös tégl

Az égetett kerámia falazóanyagok története már bizonyított az időállóság területén is a római kortól kezdve. Nem véletlen, hogy az ebből épült házak jobban tartják értéküket, sőt a könnyűszerkezetes házakkal össze-hasonlítva: azonos építési költség esetén a hagyományos falazattal épült házak piaci értéke jóval magasabb! Fontos jó tulajdonság a jó hőszigetelő képesség mellett, a (tömegfüggő) kitűnő hőtároló képesség, melynek eredményeképp: télen a meleget lassan adja vissza a beltérnek, mint egy cserépkályha, nyáron pedig nehezen engedi be a meleget. Minden főfalanyag legalább 4 órás tűzvédelmet garantál. A legösibb építőanyag természetes anyagból.

Jellemző még a nagy teherbírás, a kedvező védelem pl. időjárási behatások ellen (vihar, stb.), a biztonság érzése. [10]



26. ábra: Vörös tégl (Forrás: <http://www.tuzeptelepek.hu/>)

Testsűrűség	1600-1800 kg/m ³
Nyomószilárdság	21,9 N/mm ²
Hővezetési tényező	0,78 W/mK
Fajhő	880 J/kgK
Ár	Olcsó

4. táblázat: Vörös tégl jellemző adatai [15]

IV.4. Keramzit falazóanyag (Liapor)

A falazóanyag előállítása úgy történik, hogy a Júra földtörténeti korban, kb. 180 millió évvel ezelőtt kialakult üledékes, szerves anyag tartalmú agyagot kibányásszák, majd homogenizálják, és apró darabokban a forgó klinker kemencében 1200 °C hőmérsékleten kiégetik. [11] A Liapor (duzzasztott agyagkavics) legnagyobb előnye hogy igen könnyű anyag, és nagyon jó a hőszigetelése is. Ezen felül a keramzit falazóelem nagyon jól állja a vizet (nem veszi fel), ezen felül fagyálló, továbbá az égetésből következően jó a tűzállósága is (1200 °C). Környezetvédelmi szempontból, jó hangszigetelő, illetve a környezetre nem ártalmas építőanyag (környezetbarát). Az egyetlen hátrány, hogy egy falazóblokk Liaporból kb. 20-80 %-al drágább, mint a hasonló nagyságú égetett kerámia termék.



27. ábra: Keramzit falazóanyag (Liapor) (Forrás: <http://srv10345.vps.upc.biz/>)

Testsűrűség	300-800 kg/m ³
Nyomószilárdság	2-8 N/mm ²
Hővezetési tényező	0,12-0,14 W/mK
Fajhő	- (nem ismert)
Ár	Drága

5. táblázat: Keramzit (Liapor) jellemző adatai [15]

IV.5. Kőzetgyapot

Alapanyagát és felépítését tekintve ásványi eredetű, szálás szerkezetű, majdnem mindig műgyantakötésű szigetelőanyag. Táblásított formában kerül forgalomba, jelenleg a hazai piacon nincs tekercses kiszerelésű kőzetgyapot termék, erre vásárláskor érdemes figyelni!

Széleskörű felhasználhatósága elsősorban a természetes alapanyagának köszönhető. A kőzetgyapot az egyik legkeményebb vulkanikus kőzet, a bazaltkő feldolgozásával, majd műgyantás táblásítással készített, üveges szerkezetű, szervetlen szilikátszálak anyaga. A gyártástechnológiáról röviden és sorrendben: olvasztják a kőzetet, majd szálásítják, végül pedig préseléssel, hőkezeléssel, műgyanta kötőanyag különböző mértékű adagolásával kapják meg a végeredményt. [12]



28. ábra: Kőzetgyapot (Forrás <http://magyarfestek.hu/>)

Testsűrűség	150 kg/m ³
Tűzállóság	>1000 C°
Hővezetési tényező	0,039 W/mK
Fajhő	840 J/kgK
Ár	Közepes

6. táblázat: Kőzetgyapot jellemző adatai [15]

V. Mérési adatok bemutatása

V.1. Ytong

Mérés dátuma: 2013.08.28.

Kaloriméter vízerértékének meghatározása

m₁ (víz)	[kg]	0,204
t₁	[C]	48,7
m₂ (víz)	[kg]	0,198
t₂	[C]	13,4
t	[C]	33,3
v		0,051857143

7. táblázat: Ytong fajhőmérése előtt meghatározott vízerértéke a kaloriméternek

$$v = m_2 \frac{t-t_2}{t_1-t} - m_1 \quad (31)$$

Mérendő anyag fajhőjének meghatározása

	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés
t₃ [C°]	18,9	15,25	13,9	9,5	11,6
m₃ [kg]	0,214	0,232	0,2	0,21	0,2
t_{sz} [C°]	79,4	83,5	74,1	91,6	84,4
m_{sz} [kg]	0,01	0,014	0,012	0,016	0,012
t_k [C]	20,3	17,05	15,8	12,55	13,85
C [kJ/kgK]	2632,4805	2295,7552	2859,133	2639,4819	2797,9169

8. táblázat: Ytong fajhőmérési adatai

$$c = c_v \frac{(m_3+v)(t_k-t_3)}{m_{sz}(t_{sz}-t_k)} \quad (32)$$

Átlag : 2644,9535 [J/kgK]

C_(Ytong) : 2644,9535 ± 73,4286 [J/kgK]

V.2. Porotherm

Mérés dátuma: 2013.08.15.

Kaloriméter vízerértékének meghatározása

m₁ (víz)	[kg]	0,194
t₁	[C]	36,7
m₂ (víz)	[kg]	0,23
t₂	[C]	17,5
t	[C]	27,3
v		0,045787234

9. táblázat: Porotherm fajhőmérése előtt meghatározott vízerértéke a kaloriméternek

$$v = m_2 \frac{t-t_2}{t_1-t_2} - m_1 \quad (33)$$

Mérendő anyag fajhőjének meghatározása

	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés
t₃ [C°]	16,3	15,5	15,2	14,8	15,5
m₃ [kg]	0,182	0,194	0,2	0,198	0,2
t_{sz} [C°]	96,4	113,4	112,6	89,3	91,3
m_{sz} [kg]	0,026	0,028	0,036	0,024	0,01
t_k [C]	19,35	18,6	18,85	17,1	16,55
C [kJ/kgK]	1449,6378	1170,5707	1111,104	1352,5915	1443,1574

10. táblázat: Porotherm fajhőmérési adatai

$$c = c_v \frac{(m_3+v)(t_k-t_3)}{m_{sz}(t_{sz}-t_k)} \quad (34)$$

Átlag : 1305,4123 [J/kgK]

C_(Porotherm) : 1305,4123 ± 65,83 [J/kgK]

V.3. Vörös téglá

Mérés dátuma: 2013.08.29.

Kaloriméter vízerértékének meghatározása

m₁ (víz)	[kg]	0,194
t₁	[C]	44,5
m₂ (víz)	[kg]	0,218
t₂	[C]	19,1
t	[C]	32,4
v		0,045619835

11. táblázat: Vörös téglá fajhőmérése előtt meghatározott vízerértéke a kaloriméternek

$$v = m_2 \frac{t-t_2}{t_1-t} - m_1 \quad (35)$$

Mérendő anyag fajhőjének meghatározása

	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés
t₃ [C°]	18,7	16,15	14,4	11,8	14,8
m₃ [kg]	0,232	0,208	0,192	0,19	0,2
t_{sz} [C°]	117,3	105,1	118,3	114,1	116,2
m_{sz} [kg]	0,028	0,08	0,062	0,106	0,052
t_k [C]	21,55	23,6	21,35	22,8	20,4
C [kJ/kgK]	1233,6013	1211,3459	1148,4293	1119,4486	1154,141

12. táblázat: Vörös téglá fajhőmérési adatai

$$c = c_v \frac{(m_3+v)(t_k-t_3)}{m_{sz}(t_{sz}-t_k)} \quad (36)$$

Átlag : 1173,3932 [J/kgK]

C_(Vörös téglá) : 1173,3932 ± 19,6325 [J/kgK]

V.4. Keramzit falazóanyag (Liapor)

Mérés dátuma: 2014.02.20.

Kaloriméter vízerétkének meghatározása

m₁ (víz)	[kg]	0,14
t₁	[C]	45,4
m₂ (víz)	[kg]	0,13
t₂	[C]	22
t	[C]	35,8
v		0,046875

13. táblázat: Keramzit (Liapor) fajhőmérése előtt meghatározott vízértéke a kaloriméternek

$$v = m_2 \frac{t - t_2}{t_1 - t} - m_1 \quad (37)$$

Mérendő anyag fajhőjének meghatározása

	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés
t₃ [C°]	18,65	17	17,15	17,5	17,45
m₃ [kg]	0,141	0,114	0,103	0,099	0,108
t_{sz} [C°]	48,4	57,5	67,3	54,3	58
m_{sz} [kg]	0,003944	0,0026489	0,003938	0,002656	0,003934
t_k [C]	19,1	17,6	17,65	18	18,05
C [kJ/kgK]	3058,1111	3817,4876	1602,0664	3162,2228	2471,4835

14. táblázat: Keramzit (Liapor) fajhőmérési adatai

$$c = c_v \frac{(m_3 + v)(t_k - t_3)}{m_{sz}(t_{sz} - t_k)} \quad (38)$$

Átlag : 2822,274 [J/kgK]

C_(Keramzit) : 2822,274 ± 314,2 [J/kgK]

V.5. Kőzetgyapot

Mérés dátuma: 2013.08.29.

Kaloriméter vízerértékének meghatározása

m₁ (víz)	[kg]	0,145
t₁	[C]	32
m₂ (víz)	[kg]	0,135
t₂	[C]	22,8
t	[C]	28,15
v		0,042597403

15. táblázat: Kőzetgyapot fajhőmérése előtt meghatározott vízerértéke a kaloriméternek

$$v = m_2 \frac{t - t_2}{t_1 - t} - m_1 \quad (39)$$

Mérendő anyag fajhőjének meghatározása

	1. mérés	2. mérés	3. mérés
t₃ [C°]	28,15	24,05	23,4
m₃ [kg]	0,28	0,124	0,124
t_{sz} [C°]	37	42,6	42
m_{sz} [kg]	0,005917	0,006177	0,006189
t_k [C]	28,25	24,45	23,85
C [kJ/kgK]	2604,519	2484,5645	2789,7155

16. táblázat: Kőzetgyapot fajhőmérési adatai

$$c = c_v \frac{(m_3 + v)(t_k - t_3)}{m_{sz}(t_{sz} - t_k)} \quad (40)$$

Átlag : 2626,2663 [J/kgK]

C_(Kőzetgyapot) : 2626,2663 ± 54,4831 [J/kgK]

V.6. Mért adatok összehasonlítása

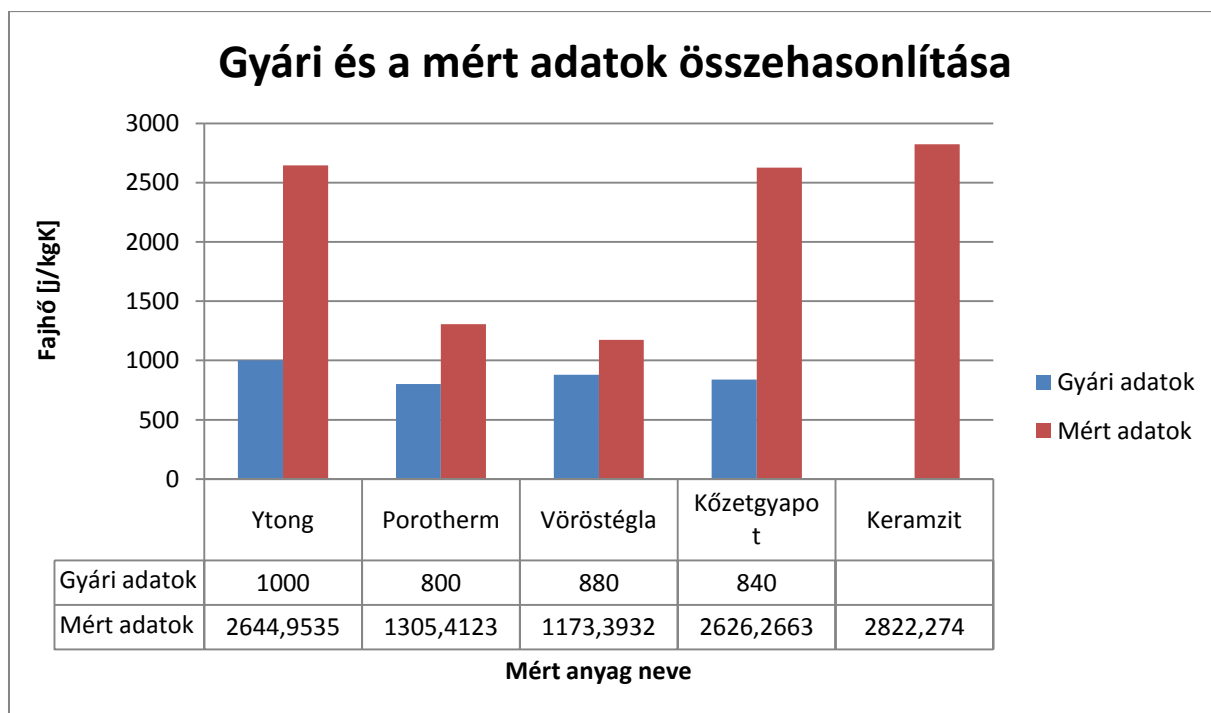
Anyag jele	Gyári érték [J/kgK]	Mért érték [J/kgK]
<u>C</u> (Ytong)	1000	2644,9535 ± 73,4286
<u>C</u> (Porotherm)	880	1305,4123 ± 65,83
<u>C</u> (Vörös téglá)	880	1173,3932 ± 19,6325
<u>C</u> (Keramzit)	-	2822,274 ± 314,2
<u>C</u> (Kőzetgyapot)	840	2626,2663 ± 54,4831

17. táblázat: Egyes anyagok gyári[13] és mért fajhői

Összegzés

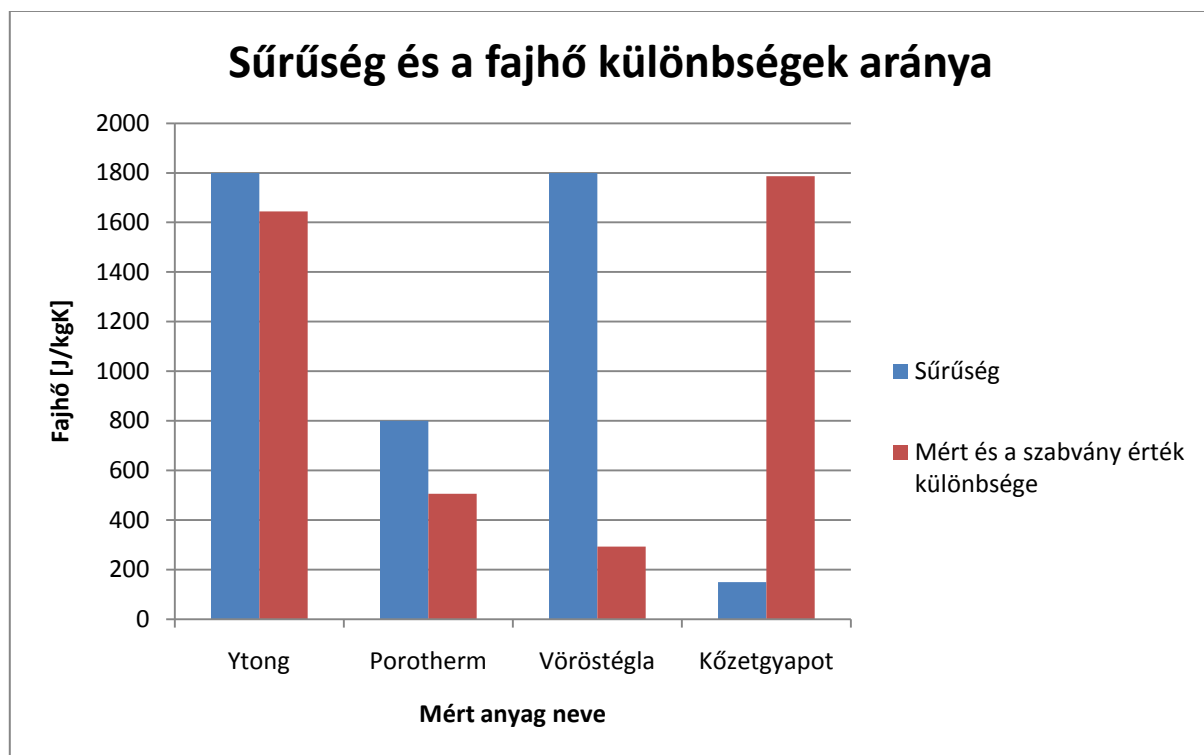
A mérések előtt, tartottunk egy 0. mérést, amellyel hitelesítettük a kaloriméterünk pontosságát. Ezt úgy tettük, hogy megmértük a réz fajhőjét, amely ismert volt számunkra. A réz tökéletes anyag a kaloriméter hitelesítésére, mivel ez fém és, nem vesz fel az anyaga vizet. Ebből a mérésből bizonyítottunk látjuk, hogy a kaloriméter pontos!

Az értékek jól bemutatják, hogy a modern építőanyagoknak sokkal jobb a fajhője, mint a hagyományos vörös égetett téglának. A Porotherm téglá fajhője csak névadónak mondható, hiszen ennek a téglának inkább a légkamrás kialakítása tartalmazza a jó hőtartó képességet, itt pedig a konkrétan az anyagát mértük be. Továbbá az is látszik, hogy a kőzetgyapot attól még, hogy inkább hőszigetelő anyagként terjedt el, mégis nagyon kiemelkedő a fajhője is.



29. ábra: Gyári [13] és mért fajhők összehasonlítása

Továbbá meg kell jegyeznünk, hogy a mérések nem teljesen egyeznek a gyártók által megadott paraméterekkel. Ez pedig azzal magyarázható, hogy mi az építőanyagoknak a nedves fajhőjét mértük, míg a szabvány értékek pedig a száraz fajhőt adják meg. A méréseink alapján jól látszik, hogy a nedves illetve a száraz fajhő nem egyezik meg. Míg az Ytong és a kőzetgyapot értékei teljesen eltérnek, addig a kisméretű vöröstégla illetve a Porotherm téglák értékei nagyjából megegyeznek. Ez abból is következhet, hogy a Porotherm illetve a vörös téglák sűrűsége, igen nagy, alig tudják felvenni a nedvességet, míg a kőzetgyapot sűrűsége és az Ytong habos kialakítása miatt könnyen felveszi a vizet. A mérésekből így az is megállapítható, hogy az anyagok nedves fajhője mennyivel különbözik a száraz fajhőjüktől.



30. ábra: A mért és a szabvány fajhők különbsége, összehasonlítva a sűrűséggel

Összegezve, ha az építkezésnél szem előtt tartjuk az építőanyag kiválasztásnál a hőkapacitást, akkor legjobb döntés az Ytong választása.

VI. Összefoglalás

A mai tudatos világban fő szerepe van a környezetvédelemnek. Ezt bizonyítja, hogy egyre több helyen jelennek meg megújuló energiaforrások, illetve a jelenlegi rendszerek költséghatékonysága is fontos. Ezt legjobban bizonyítják a panelprogramok, illetve a pályázati lehetőségek is. Egyre több helyen látják el a házakat hőszigeteléssel, aminek nagy haszna, hogy télen bent tartja a meleget illetve nyáron a hideget. A pályamunkámból is látszik, hogy nem csak egy ház hőszigetelő tényezőjére kell odafigyelni, hanem a hőtárolására is, mivel nem mindegy, hogy a kültéri levegő gyors hőmérsékletváltozására, a benti levegő például a téli esti órákban, hogyan reagálnak. Tehát a hőtárolásnak is fontos szerepe van a mai tudatos, költséghatékony és környezetbarát gondolkodásban. A pályamunkámban rávilágítottam az épületek falszerkezetének, hőtárolásának fontosságára, a hőszigetelés mellett, illetve összehasonlítottam az egyes építőanyagok tulajdonságát.

Köszönettel tartozom Dr. Lakatos Ákos főiskolai docensnek a méréseim elvégzésében nyújtott segítségével, Dr. Kalmár Ferenc Tanszékvezető főiskolai tanárnak, hogy lehetőséget biztosított az Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszék épületfizika laboratórium berendezéseinek a használatára.

VII. Irodalomjegyzék

- [1] HEGEDŰS A.: Milyen falat válasszunk? In: HOLNAPHÁZ {online}
http://holnaphaz.blog.hu/2012/03/21/milyen_falat_valasszunk (Letöltés időpontja: 2013.09.15. 10 óra 39 perc)
- [2] HEGEDŰS A.: Hogyan működik a hőtárolás? In: HOLNAPHÁZ {online}
<http://holnaphaz.blog.hu/2013/05/22/hotarolas> (Letöltés időpontja: 2013.09.15. 11 óra 2 perc)
- [3] <http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91szigetel%C3%A9s> (Letöltés dátuma: 2013.09.15. 8 óra 55 perc)
- [4] KALMÁR F.: Épületfizika ; [közread.a] Debreceni Egyetem Műszaki Főiskolai Kar, Nyíregyháza : Studium, 2003. p. 62-64.
- [5] HEGEDŰS A.: Homlokzati falak hőtárolása In: HOLNAPHÁZ {online}
http://holnaphaz.blog.hu/2013/05/16/homlokzati_fal_hotarolasa (Letöltés dátuma: 2013.09.15. 11:56 perc)
- [6] http://www.glink.hu/?subpage=kezikonyv&kezikonyv=hotani_anyagtablazatok&table=glink_table_egyes_szilard_anyagok_c_fajhoje (Letöltés dátuma: 2013.09.15. 15:29 perc)
- [7] http://fizipedia.phy.bme.hu/index.php/Fajh%C5%91_m%C3%A9r%C3%A9s (Letöltés dátuma: 2013.09.15. 9 óra 21 perc)
- [8] http://fft.szie.hu/fizika/fizika1/2013-14/levelezo/meres2_kalorimetria.pdf (Letöltés dátuma: 2013.09.15. 15 óra 55 perc)
- [9] <http://infodir.info/link/ytong-elonyok-roviden> (Letöltés dátuma: 2013.09.21. 9 óra 25 perc)
- [10] http://pellekft.hu/viewpage.php?page_id=6 (Letöltés dátuma: 2013.09.21. 9 óra 42 perc)
- [11] <http://www.liapor.hu/?s=a1ab1bs10s> (Letöltés dátuma: 2014.02.21. 18 óra 29 perc)
- [12] <http://www.xn--kzetgyapot-z4b.hu/> (Letöltés dátuma: 2013.09.21. 10 óra 18 perc)
- [13] Ytong Műszaki adatkatalógus (Letöltés dátuma: 2013.09.21. 9 óra 10 perc)
http://www.ytong.hu/hu/docs/Muszaki_Adatkatalogus_V12_2012-10-29.pdf
- [14] Wienerberger alkalmazási és tervezési útmutató (2013.02.01/13. kiadás)
- [15] DEDE K.: Kiselemes falazatok; YBL Miklós Műszaki Főiskola Épületszerveztan Tanszéke. Budapest 1998.

VIII. Ábrajegyzék

1. ábra: Hőszigeteléssel védett vályogfalú épület nyári belső hőmérséklet-ingadozása [2]	5
2. ábra: Különböző falszerkezetek hőmérséklet-eloszlási vonalai[4]	8
3. ábra: Porothem, illetve Ytong hőmérséklet-változási vonalai, szigeteléssel ellátva [5].....	8
4. ábra: A falból távozó hő a külső hőmérsékletváltozás hatására [4]	9
5. ábra: Keverési és elektromos kaloriméter felépítése [7]	17
6. ábra: Kaloriméter hőmérsékletének változása [7]	18
7. ábra: testo 905 tapintó-beszűrő hőmérő (Forrás: http://www.trutechtools.com)	21
8. ábra: Kimo hőmérséklet mérő és regiszter (Forrás: http://www.kimocanada.com).....	21
9. ábra: Kern EW laboratóriumi mérleg (Forrás: http://www.sysmatec.ch)	21
10. ábra: Kaloriméter külseje (Forrás: saját készítés)	22
11. ábra: Kaloriméter belseje (Forrás: saját készítés).....	22
12. ábra: Kaloriméter fedele (Forrás: saját készítés).....	22
13. ábra: Kaloriméter hengerei egymásba illesztve (Forrás: saját készítés).....	23
14. ábra: Kaloriméter hengerei (Forrás: saját készítés).....	23
15. ábra: Kaloriméter külső Hungarocell falazata (Forrás: saját készítés).....	24
16. ábra: Kaloriméter belső hengerei közetgyapot szigeteléssel ellátva (Forrás: s. k.).....	24
17. ábra: Kész kaloriméter, hőmérővel (parafadugó nélkül) (Forrás: s. k.)	24
18. ábra: Hagyományos kaloriméter (Forrás: http://vcsaba93.uw.hu)	25
19. ábra: Saját kaloriméter metszete (Forrás: saját készítés).....	26
20. ábra: Saját kaloriméter felülnézete, hőkamerás felvétellel (fedél nélkül) (Forrás: s. k.) ...	26
21. ábra: Saját kaloriméter oldalnézete, hőkamerás felvétellel (fedél nélkül) (Forrás: s. k.).....	26
22. ábra: Saját kaloriméter felülnézete, hőkamerás felvétellel (fedéllel) (Forrás: s. k.)	27
23. ábra: Saját kaloriméter oldalnézete, hőkamerás felvétellel (fedéllel) (Forrás: s. k.).....	27
24. ábra: Ytong téglá (Forrás: http://tuzep.hofstadter.hu/)	30
25. ábra: Porothem téglá (Forrás: http://www.trunktuzep.hu/)	31
26. ábra: Vörös téglá (Forrás: http://www.tuzeptelepek.hu/)	32
27. ábra: Keramzit falazóanyag (Liapor) (Forrás: http://srv10345.vps.upc.biz/).....	33
28. ábra: Közetgyapot (Forrás http://magyarfestek.hu/)	34
29. ábra: Gyári [13] és mért fajhők összehasonlítása	40
30. ábra: A mért és a szabvány fajhők különbsége, összehasonlítva a sűrűséggel	41

IX. Táblázatjegyzék

1. táblázat: Egyes anyagok adott hőmérsékleten mért fajhője [6].....	14
2. táblázat: Ytong jellemző adatai [13]	30
3. táblázat: Porotherm jellemző adatai [13]	31
4. táblázat: Vörös téglá jellemző adatai [13].....	32
5. táblázat: Keramzit (Liapor) jellemző adatai [13]	33
6. táblázat: Kőzetgyapot jellemző adatai [13]	34
7. táblázat: Ytong fajhőmérése előtt meghatározott vízértéke a kaloriméternek	35
8. táblázat: Ytong fajhőmérési adatai	35
9. táblázat: Porotherm fajhőmérése előtt meghatározott vízértéke a kaloriméternek	36
10. táblázat: Porotherm fajhőmérési adatai	36
11. táblázat: Vörös téglá fajhőmérése előtt meghatározott vízértéke a kaloriméternek.....	37
12. táblázat: Vörös téglá fajhőmérési adatai	37
13. táblázat: Keramzit (Liapor) fajhőmérése előtt meghatározott vízértéke a kaloriméternek	38
14. táblázat: Keramzit (Liapor) fajhőmérési adatai.....	38
15. táblázat: Kőzetgyapot fajhőmérése előtt meghatározott vízértéke a kaloriméternek.....	39
16. táblázat: Kőzetgyapot fajhőmérési adatai	39
17. táblázat: Egyes anyagok gyári[13] és mért fajhői	40