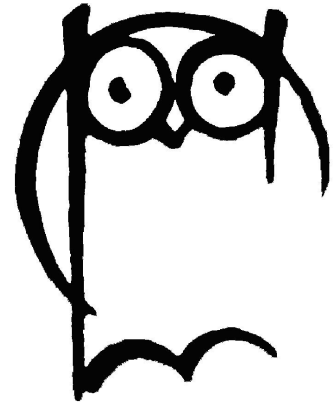


Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszék



Szigetelő lemez hővezetési tényezőjének változása nedvesség hatására

Készítette: **Varga Sándor** gépészmérnök hallgató

Belső konzulens: Dr. Lakatos Ákos

Külső konzulens: Kozma Barna

Tanszékvezető: Dr. Kalmár Ferenc

Debrecen

2012.

Tartalom

I. Bevezetés

Az épületek az ember menedékei a természet viszontagságai elől. A hőmérsékletkülönbségek által okozott nehézségeket valamilyen fűtési rendszerrel, vagy légkondicionáló berendezéssel biztosítja. Semmilyen rendszer nem elég hatékony a megfelelő hőszigetelés nélkül. Lényeges a falak külső hőszigetelése, ami annyit jelent, hogy valamilyen hőszigetelő anyaggal vonják be. A többrétegű szigetelés megvédi a ház belsejét a téli hidegtől és a nyári melegtől, tehát kisebb lesz a falakban a hő áramlása. A napjainkban húzódó energiaválság, az ezzel járó energiaár folyamatos növekedése, még fontosabbá teszi az épületek hőveszteségének minimalizálását.

Manapság a legelterjedtebb hőszigetelő anyagok a különféle expandált polisztirolok, hivatalos nevén az EPS. Ezek az anyagok telítetlen oldalláncú szénhidrogén (sztírol) polimerizációjával készítik: két vagy több sztírol kapcsolódik egymáshoz. Amennyiben ezt a folyamatot habosított állapotban hajtják végre, akkor expandált polisztirolt kapunk, ami nem más, mint a jól ismert fehér színű hungarocell. Az expandált polisztirol habok hővezetése négy részből tevődik össze: a cellák hővezetéséből, a pórusokban található anyag (legtöbbször levegő) hővezetéséből és annak konvekciójából, továbbá a pórusokbeli hőszugárzással. Ezt a hőszugárzást jelentős mértékben le lehet csökkenteni, ha a pórusok felületét valamilyen hőszugárzás elnyelő vagy visszaverő anyaggal látják el. Ilyen anyag például a grafit, ami hő tükröként veri vissza a sugárzást. Ezzel a módszerrel a polisztirol hővezetési ellenállása akár 20%-al is kedvezőbb lehet a fehér színű polisztirolhoz képest: kisebb lesz a hőveszteség. Ezeket a grafitral dúsított anyagokat nevezzük szürke polisztirolnak. Ezeket a hőszigetelő anyagokat általában az épületek külső felületére erősítik fel, ami ki van téve a természet viszontagságainak: nagy hőmérsékletkülönbségek, nap által kibocsátott sugarak, magas páratartalom. A dolgozatom témája: polisztirolok hogyan viselkednek magas páratartalmú környezetben, a hővezetési tényező változása szempontjából.

II. Elméleti összefoglalás

II.1. Hőáramlás alapjai

A tér, két különböző pontjának a hőmérséklete eltér egymástól, akkor a két pont között megindul a hőáramlás. A hőáramlás intenzitása függ a két pont közötti hőfokkülönbségtől és egy arányossági tényezőtől, ami arra az anyagra vonatkozik, amiben a hő áramlik. Ez a hővezetési tényező. Ezt az fejezi ki, hogy egységnyi idő alatt, egységnyi (áramlásra merőleges) felületen és egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására,

mekkora a hőáram intenzitása. Szokásos jele: λ , mértékegysége: $[\text{JsmK}; \text{WmK}]$. A jobb

szigetelő anyagok hővezetési tényezője $\lambda=0,035 [\text{WmK}]$, a jó hővezető anyagoké, mint

például a réz és általában a fémek: $\lambda_{\text{réz}}=399 [\text{WmK}]$ is lehet. Ez a tényező nem állandó

érték; függ a hőszigetelő anyag hőmérsékletétől, nedvességtartalmától, az őt körülvevő környezet páratartalmától. A II.2. fejezettől a II.6. fejezetig a [1] alapján lett kidolgozva.

II.2. Egydimenziós, stacioner hővezetés, hőforrásmentes síkfal esetén

Amennyiben a hőáramlás csak a síkfalra merőlegesen alakul ki, és ez időben állandósul (idő múlásával nem változik a hőáram), akkor beszélünk egydimenziós stacioner hővezetésről. Hőforrásmentes a hővezetés, ha a vizsgált térrészben nincs hőforrás. A hővezetés általános differenciál egyenlete az előbbieken vázolt esetre vonatkoztatva a következő:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

Kétszeri integrálás után:

$$t = C_1 x + C_2 \quad (2)$$

Mint látható ez a függvény nem más, mint az egyenes egyenlete, vagyis a hőmérséklet eloszlása a falszerkezetben lineáris. A C_1 állandó meghatározása: ha $x=0$, akkor $t=t_1$;

$$t_1 = C_2 \quad (3)$$

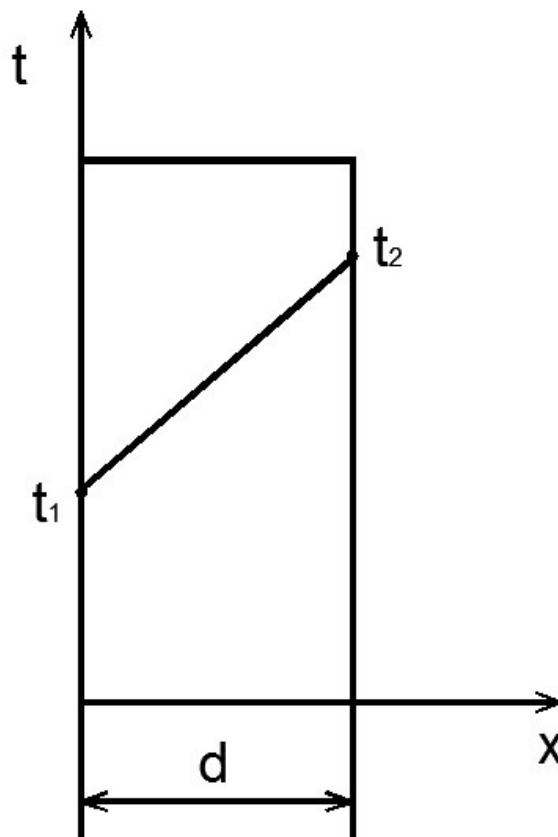
A C_2 állandó meghatározása: ha $x=d$ (a d a falszerkezet vastagságát jelenti), akkor $t=t_2$;

$$t_2 = C_1 d + t_1 \quad (4)$$

Ezzel a hőmérséklet eloszlás függvénye:

$$t = t_2 - t_1 \frac{x}{d} + t_1 \quad (5)$$

Megállapítható, hogy ez az összefüggés az egyenes egyenlete, amit azt jelent, hogy a szigetelő anyagban a hőmérséklet lineárisan csökken (1. ábra).



1. Ábra A szigetelő anyagban a hőmérséklet lineárisan csökken

II.3. A hőáramsűrűség

A hőáramsűrűség hőfok gradienssel kifejezve (egységnyi felületre vonatkoztatva):

$$q = -\lambda \text{ grad } t = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} = -\lambda \frac{t_2 - t_1}{d} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{d}, \quad (6)$$

ahol a d - a síkfal keresztmetszete, t_1 és t_2 a fal két oldalán állandósult hőmérséklet, λ - a fal hővezetési tényezője.

A $\frac{d}{\lambda}$ tört a fal hővezetési ellenállása, amit R -el jelölnek:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (7)$$

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R} \quad (8)$$

Amennyiben ismerjük az áramlásra merőleges felületet $[A]$:

$$Q = A \lambda \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (9)$$

II.4. Egydimenziós, stacioner hővezetés, többrétegű síkfal esetén

Többrétegű síkfal esetén a falszerkezet legalább kettő eltérő hővezetési tényezőjű anyag szorosan van egymáshoz szorítva, úgy hogy köztük minél kisebb legyen a távolság, ezzel a levegő is. Így hőátadással nem szükséges foglalkozni az egyes rétegek között.

A többrétegű síkfal esetén az egyes rétegek között a hőmérséklet megegyezik – háromrétegű szerkezetre felírva (2. ábra): (t_a - 1-es és 2-es fal közötti hőmérséklet, t_b -2-es és 3-as fal közötti hőmérséklet):

$$q_1 = \lambda_1 t_1 - t_a d_2 \quad (10)$$

$$q_2 = \lambda_2 t_a - t_b d_2 \quad (11)$$

$$q_3 = \lambda_3 t_b - t_2 d_3 \quad (12)$$

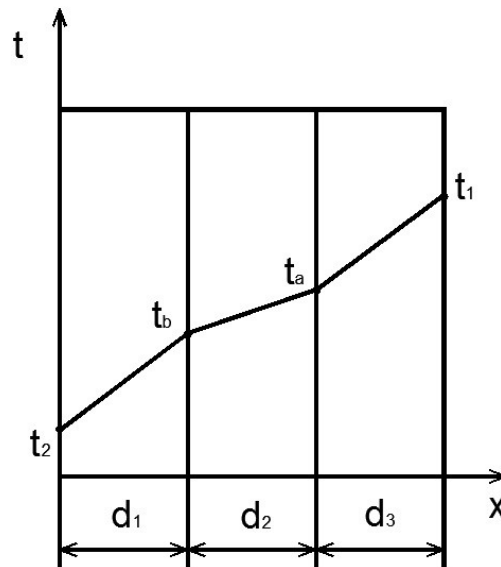
A falszerkezet egyik oldalán belepő, abban áramló és kilépő hőáram megegyezik egymással ezért:

$$q_1 = q_2 = q_3 \quad (13)$$

$$q = \lambda_1 t_1 - t_a d_2 = \lambda_2 t_a - t_b d_2 = \lambda_3 t_b - t_2 d_3 \quad (14)$$

A falszerkezet két oldalára felírt hőáram:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (15)$$



2. Ábra Hőmérséklet eloszlás többrétegű falszerkezetben

Az eredő hővezetési ellenállás a falszerkezetben, egyenlő az egyes rétegek hővezetési ellenállásának összegével:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \quad (16)$$

Ezzel a hőáram:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_e} \quad (17)$$

Amennyiben ismert a falszerkezet felülete [A]:

$$Q = A(t_1 - t_2)R_e \quad (18)$$

A képlet alapján a hőáram egyenesen arányosan függ a hőmérsékletkülönbségtől, és fordítottn arányosan a hővezetési ellenállással: azaz kisebb hővezetési tényezőjű anyagon keresztül nagyon hőfokkülönbség hatására indul meg ugyanakkora hőáram.

II.5. A hőátadás

Hőátadás folyamata valamilyen szilárd test és vele érintkező folyadék vagy gáz halmazállapotú anyag között jöhet létre. A hőátadás két részből tevődik össze, egyrészt a molekuláris szinten vezetéssel, másrészt a folyadék vagy gáz elmozdulásával a szilárd testhez képest. Számítása körülményes, a gyakorlatban a következő összefüggést alkalmazzák:

$$q = \alpha(t_k - t_f) \quad (19)$$

ahol az α – a hőátadási tényező, t_k – a közeg hőmérséklete, t_f – a szilárd test hőmérséklete.

Az α hőátadási tényező mértékegysége: [W/m²K], amely megmutatja, hogy mennyi

hőt ad át egységnyi idő, egységnyi hőmérsékletkülönbség és egységnyi felületen.

A hőátadási tényező függ a test mellett a közeg áramlási tulajdonságaitól.

Szabad áramlásról beszélünk, ha a közeg áramlását csak a hőfokkülönbség által okozott sűrűségkülönbségekből adódó elmozdulásról beszélünk. Kényszerített áramlás (pl.: fal mellett fújó szél) esetén a hőátadási tényező megnő.

A hőátadási tényező reciprokját hőátadási ellenállásnak nevezzük.

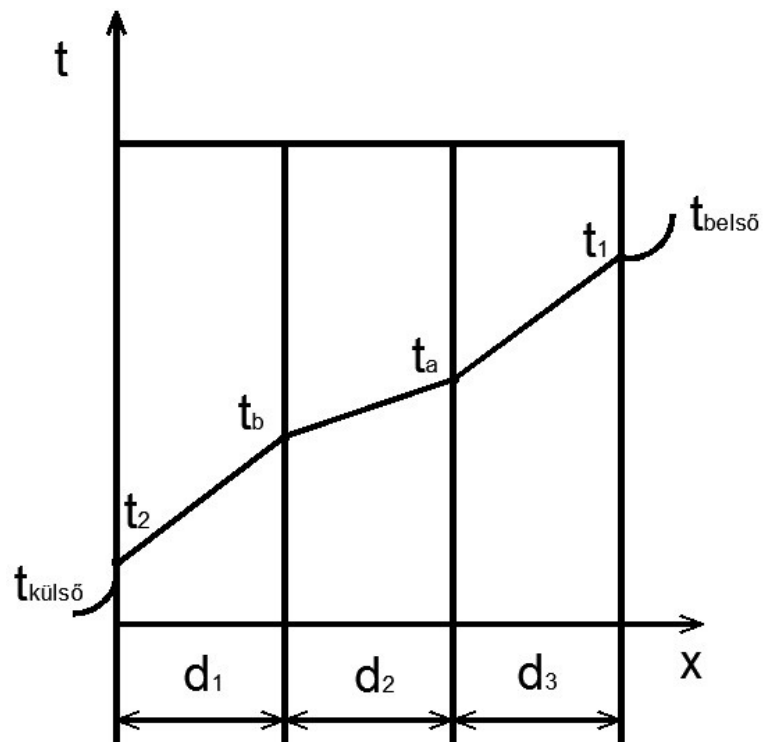
II.6. A hőátbocsátás

A gyakorlatban előforduló hőáramlások esetén a falszerkezet mindkét oldala valamilyen közeggel érintkezik és ezeknek a közegeknek a hőfokkülönbsége okozza a hőáram megindulását. Ezáltal a falszerkezeten keresztül átfolyó hő nemcsak a fal hővezetési tulajdonságaitól függ, hanem a fal és a két oldalán található közeg közötti hőátadásától is.

Stacioner és hőforrásmentes állapotban a fal egyik oldalán belépő és a másik oldalán kilépő hőáram ugyanakkora, és ez egyenlő a falszerkezet egyes rétegeiben átfolyó hőárammal (3. ábra).

$$q = \alpha_{\text{belső}}(t_{\text{belső}} - t_1) = t_1 - t_n \text{Re} = \alpha_{\text{külső}}(t_n - t_{\text{külső}}) \quad (20)$$

$$q = t_{\text{belső}} - t_{\text{külső}} \frac{1}{\alpha_{\text{belső}} + \text{Re} + \frac{1}{\alpha_{\text{külső}}}} \quad (21)$$



3. Ábra Hőmérséklet eloszlás a falszerkezetben t_b és t_a hőmérsékletű közegek esetén

A hőátbocsátást jellemző mennyiség a hőátbocsátási tényező, aminek a jele: k , amely megmutatja, hogy mennyi hőt ad át egységnyi felületen, egységnyi idő alatt, egységnyi

hőmérsékletkülönbség hatására. Mértékegysége: $[W/m^2K]$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{belső}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{külső}}} \quad (22)$$

II.7. Nedvesség hatása a szigetelőanyagokra

A minket körülvevő levegő mindig tartalmaz valamennyi vízgőzt. Minél melegebb a levegő, annál több vízgőzt képes magában tartani, de ez a mennyiség korlátolt: minden hőmérsékleten eléri a telített levegő állapotot. A telített levegő az a levegő, amely az adott hőmérsékleten már nem képest több vízpárát felvenni. Amennyiben egy telített levegő lehűl, ezáltal csökken a vízgőz megtartó képessége, a többletvízgőz kondenzálódik, víz, köd vagy fagyott állapotban: dér formájában kicsapódik. A hűlés folyamán azt a hőmérsékletet, amikor a levegő eléri a telítési nedvességtartalmat és megkezdődik a kondenzálódás, harmatponti hőmérsékletnek nevezzük. A II.7. fejezettől a II.12 fejezetig a [2] alapján készült.

A relatív nedvességtartalom a levegőben pillanatnyilag uralkodó vízgőz résznyomásának (p) és (az adott hőmérséklethez tartozó) telítési résznyomás (p_s) hányadosa.

$$\varphi = p/p_s \cdot 100\% \quad (23)$$

A nedvességtartalom telítési páratartalom esetén $\varphi=100\%$.

A páradiffúzió a hőáramláshoz hasonlóan kiegyenlítődési folyamat. Az eltérő hőmérsékletű, nedvességtartalmú és párányomású helyek között párányomás kiegyenlítődés folyamata játszódik le. A páradiffúzió tehát nem más, mint gőz halmazállapotú nedvesség kiegyenlítődése. Ez a folyamat a porózus építő- és szigetelőanyagokban okoz problémákat.

II.8. Páradiffúziós tényező

Tekintsünk egy különböző nedvességtartalmú levegőt, egy falszerkezettel egymástól elzárva, ebben az esetben a páradiffúziós tényező, azt fejezi ki, hogy mekkora az egységnyi vastagságú, egységnyi felületen és egységnyi idő alatt átdiffundáló páramennyiség, ha a külső és belső tér párányomás különbsége is egységnyi. Általában

a jele: δ , mértékegysége: [gmsMPa]. Tehát az átjutó nedvességtartalom egyenesen

arányos a falszerkezet felületével, a párányomás különbséggel és az idővel, fordítottan arányos a falszerkezet vastagságával. Ez a tényező nem állandó érték, függ az anyag pórustartalmától, a porozitás fajtájától (nyílt vagy zárt) és az anyag hőmérséklet és nedvességtartalmától. A páravezetési tényező számítása:

$$\delta = D \mu R T \quad (24)$$

ahol, a D – diffúziós együttható a levegőben, μ – ellenállás tényező, R – az univerzális gázállandó, T – az abszolút hőmérséklet.

A D – diffúziós együtthatót az alábbi képlettel adják meg:

$$D = 0,083 p_0 p T^{2731,81} \quad (25)$$

ahol, a p_0 – a barometrikus nyomás, p – a levegő össznyomása.

A μ – ellenállás tényező a következő módon számítható:

$$\mu = x x_0 A_0 A \quad (26)$$

ahol, a x_0 – vizsgált anyag vastagsága, x – a kapillárisok hossza, A_0 – a vizsgált anyag keresztmetszete, A – a diffúzióban részt vevő felület.

II.9. Egydimenziós, stacioner páradiffúzió, egyrétegű síkfal esetén

A pára-áramsűrűség egységnyi felületre vonatkoztatva, nyomás gradienssel kifejezve:

$$g = -\delta \cdot \text{grad } p = -\delta \frac{\partial p}{\partial x} = -\delta \frac{p_2 - p_1}{x_2 - x_1} = \delta \frac{p_1 - p_2}{d} \quad (27)$$

A δ törtet a fal páradiffúziós ellenállásának hívjuk, jele: R , mértékegysége:

$[\text{m}^2 \text{s} / \text{MPa}]$:

$$R = d / \delta \quad (28)$$

Így a pára-áramsűrűség:

$$g = \frac{p_1 - p_2}{R} \quad (29)$$

Amennyiben ismerjük az áramlásra merőleges felületet $[A]$:

$$G=A\delta p_1-p_2d \quad (30)$$

II.10. Egydimenziós, stacioner páradiffúzió, többretegű síkfal esetén

Többretegű síkfal esetén a falszerkezet legalább kettő eltérő páravezetési tényezőjű anyag, páradiffúzióját vizsgáljuk.

A többretegű síkfal esetén az egyes rétegek között a vízgőz résznyomása megegyezik – háromretegű szerkezetre felírva: (p_a - 1-es és 2-es fal közötti résznyomás, p_b -2-es és 3-as fal közötti résznyomás):

$$g_1=\delta_1p_1-p_a d_2 \quad (31)$$

$$g_2=\delta_2p_a-p_b d_2 \quad (32)$$

$$g_3=\delta_3p_b-p_2 d_3 \quad (33)$$

A falszerkezet egyik oldalán belepő, abban áramló és kilépő pára megegyezik egymással (amennyiben nem történik párakondenzálódás) ezért:

$$g_1 = g_2 = g_3 \quad (34)$$

$$g = \frac{\delta_1 p_1 - p_a}{\delta_2} = \frac{\delta_2 p_a - p_b}{\delta_3} = \frac{\delta_3 p_b - p_2}{\delta_4} \quad (35)$$

A falszerkezet két oldalára felírt páradiffúzió:

$$g = \frac{p_1 - p_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (36)$$

Az eredő páravezetési ellenállás a falszerkezetben, egyenlő az egyes rétegek páravezetési ellenállásának összegével:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \quad (37)$$

Ezzel a páradiffúzió:

$$g = \frac{p_1 - p_2}{R_e} \quad (38)$$

Amennyiben ismert a falszerkezet felülete [A]:

$$G = A p_1 - p_2 R_e$$

(39)

A képlet alapján a páradiffúzió egyenesen arányosan függ a vízgőz résznyomásának a különbségétől, és fordítottan arányosan a páravezetési ellenállással.

A páradiffúziós ellenállás a falszerkezet párazáró képességére utal, azaz a páradiffúzióval szembeni ellenállásra (ahogyan a hővezetési ellenállás a hőárammal szembeni ellenállásra).

II.11. A páraátadás

A páraátadási folyamat ugyanúgy lejátsszódik, mint a hőátadási folyamat, de a páraátadási ellenállás olyan kicsi, hogy ez elhanyagolható.

II.12. Páradiffúziós problémák

A páradiffúzió egyik problémája a penészedés. Ez abban az esetben következhet be, ha a fal egyik oldalán belépő páramennyiség nem egyenlő a másik oldalon kilépő páramennyiséggel. Ez akkor következhet be, ha a falszerkezeten belül meghatározott hőmérsékletértékekhez tartozó pára maximális parciális nyomása kisebb, mint az ott áramló pára résznyomása. Ebből következik, hogy a be- és kilépő páramennyiség különbsége a falszerkezeten belül nedvesség formájában visszamarad. A penészedés miatt a szigetelőanyagok nagymértékben sérülhetnek, rontva ezzel a hőszigetelést, nem beszélve az ember egészségére gyakorolt hatásáról és esztétikai problémáiról. E problémának lehetséges kiküszöbölési módjai: a hőszigetelő rétegrend módosítása, vagy megfelelő helyre beépített párafékező, vagy páraszellőző réteg.

A páradiffúzió másik problémája a levegő nedvességtartalmának, a porózus szigetelő anyagok pórusaiba történő diffundálása. Ez számottevő mértékben befolyásolja a hőszigetelő anyag hővezetési tényezőjét.

II.13. Szorpciós izoterma

A legtöbb hőszigetelő anyag porózus szerkezetű. A pórusokba diffundáló vízgőz megváltoztatja a szigetelő anyagok hővezetési tényezőjét. Ezt a nedvességfelvételt a szorpciós izoterma jellemzi. Ez a fejezet a [3][4] alapján készült.

A szorpciós izoterma görbéket úgy veszik fel, hogy a hőszigetelő próbatesteket általában 20°C-on, valamilyen relatív páratartalmú levegőben tárolják, megvárják míg az anyag tömege állandósul és ezután megméri a próbatest nedvességtartalmát. A nedvességtartalom kiszámítására szolgáló képlet:

$$\omega = m_{\text{nedves}} - m_{\text{száraz}} \cdot 100\% \quad (40)$$

Ezt a nedvességtartalmat, annak a levegő relatív páratartalmának függvényében egy görbével szemléltetik.

Ezeknek a görbéknek általában van egy inflexiós pontja, ahol a görbe meredeksége hirtelen megnő. Ehhez a nedvességtartalomhoz tartozó relatív páratartalom esetén kezdődik meg a kapilláris kondenzáció: ez azt jelenti, hogy a nedvesség már nemcsak a pórusok felületét borítja, hanem a pórusok belsejében is megjelenik a víz. Ez a jelenség

a szokványos építőanyagok esetén $\varphi=75\%$ relatív páratartalom esetén játszódik le.

Másik jelentős pontja a függvénynek a $\varphi=100\%$ -os relatív páratartalomhoz tartozó nedvességtartalom.

Amennyiben a szigetelőanyagaink érzékenyek a nedvességtartalomra a szorpciós izoterma görbékből megállapítható az annak a levegőnek a maximális páratartalma, ami fölött már károsodik az anyag.

A szorpciós izoterma diagramok létjogosultságát a kisméretű tömör téglá hővezetési tényezőjének megváltozása jól szemléltet. A 105 °C-on kiszáritott próbatest hővezetési

tényezője: $\lambda=0,4214$ [WmK], 5% nedvességtartalom mellett: $\lambda=0,5873$ [WmK],

20,32% nedvességtartalom mellett: $\lambda=1,1236$ [WmK]. Mint látható a nedvességtartalom

növekedésének hatására a hővezetési tényező jelentős mértékben megnő, nagymértékben rontva ezzel a hővezetési ellenállást. A példában említett adatokat a [5] alapján hivatkoztam.

Anyag	z
Tömör téglá	20
Üreges téglá	12.5
Beton, gázbeton, könnyűbeton	12
Gipszlapok	12.5
Farost, faforgács, lemez	1
Más szerves hőszigetelők	1
Parafa lemezek	1
Ásványgyapot hőszigetelő	2
Műanyag habok	2

1. Táblázat Anyagállandók

A szakirodalomban fellelhető egy összefüggés, ami megmutatja, hogyan változik a hővezetési tényező a mintadarab nedvességtartalmának függvényében [6].

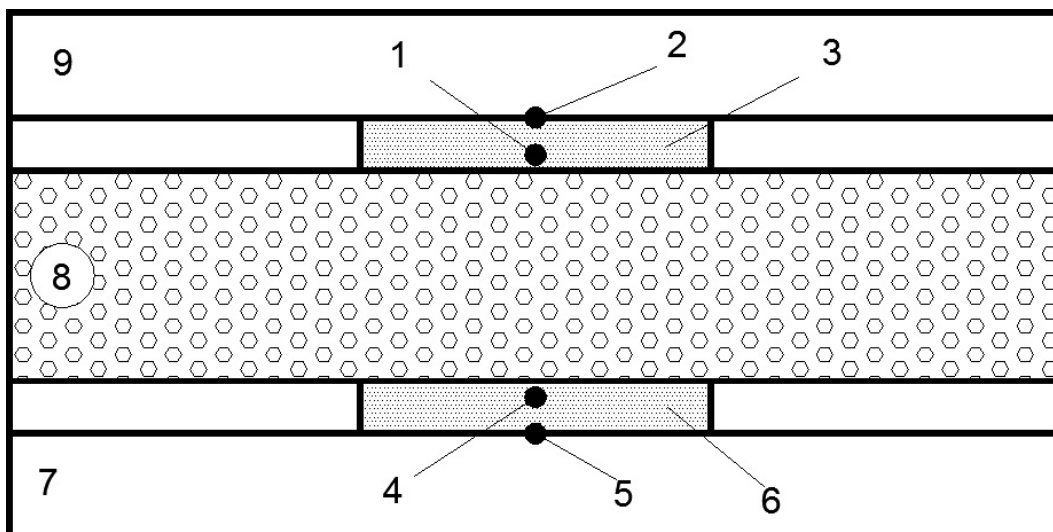
$$\lambda = \lambda_0(1 + \omega z 100), \quad (41)$$

ahol λ – a nedves anyag hővezetési tényezője, λ_0 – a száraz próbatest hővezetési tényezője, ω – nedvességtartalom és z – egy anyagi állandó, amit a következő táblázat ad meg:

III. A mérések bemutatása

III.1. A lambda mérő bemutatása

Különböző anyagok hővezetési tényezőjének összehasonlítása érdekében, szükség van egy megbízható szerkezetre, ami pontos eredményeket szolgáltat. Ilyen berendezés a HOLOMETRIX Lambda 2000. A szerkezet működési elve a következő: a készülék használata során a mintadarabot két lap közé kell helyezni (4. ábra). A mérés során a lapok állandó, de különböző hőfokot vesznek fel. A hőmérsékletkülönbségből adódóan a hőáram a próbatesten keresztül kényszerül áramolni. A III.1 és III.2 fejezet a [7] alapján készült.



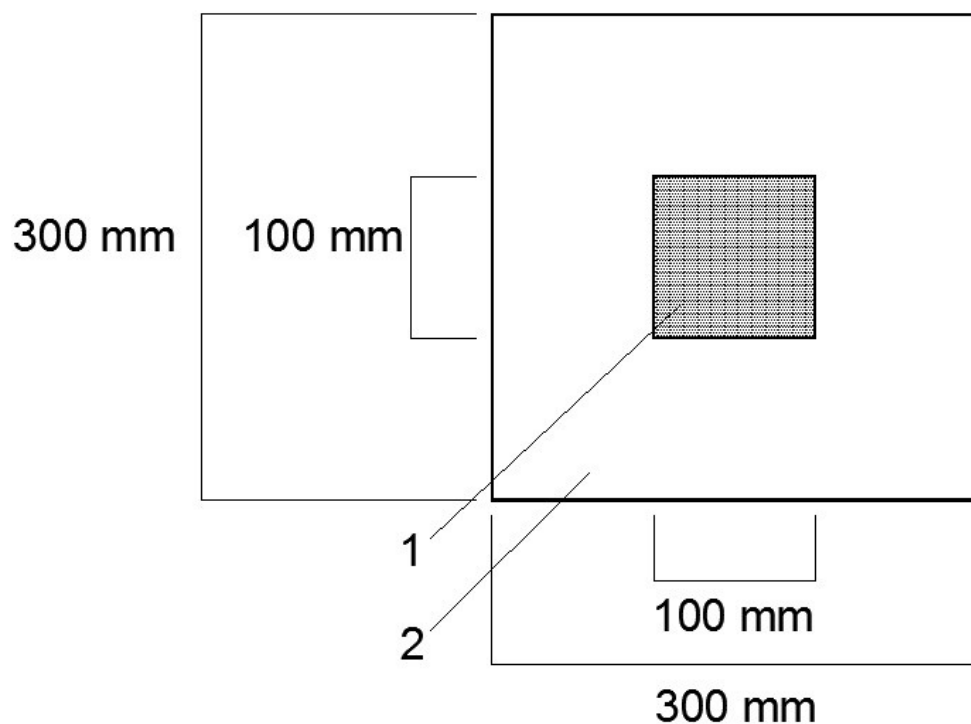
4. Ábra A lambda mérőegység vázlata

Jelmagyarázat:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1: Hőelem a T_h mérésére | 2: Vezérlő hőelem a meleg lapon |
| 3: Második hőáram átalakító | 4: Hőelem T_c mérésére |
| 5: Vezérlő hőelem a hideg lapon | 6: Hőáram átalakító |
| 7: Hideg lap | 8: Mintadarab |
| 9: Meleg lap | |

Ha készülék eléri egyensúlyi állapotát, akkor mindkét lap hőmérséklete -, a hőmérsékletkülönbség a mintadarabban -, és a hőáram a mintán keresztül állandósul. Ezekből az állandósult értékekből határozza meg a készülék a próbatest hővezetési ellenállását.

A készüléken belül maga a minta akadályozza meg az oldalirányba történő hőáramlását. Mivel a hőáram-átalakító alapterülete kisebb, mint a munkadarab keresztmetszete (5. ábra), ezért a mérőfelületet körülvevő próbatest felülete nyújt védelmet az oldalirányú hőáram ellen, így a hőáramlás egyirányúnak tekinthető.



5. Ábra Mérőegység elhelyezkedése a próbatesthez képest

Jelmagyarázat:

1: Mérőfelület

2: Mintadarab

A kép síkjára merőlegesen áramlik a hő a mérés során.

III.2. Adatelemzés folyamata

Mivel a hőáramlás egyirányúnak tekinthető, ezért a hőáramot a következő összefüggés szolgáltatja:

$$Q = A \lambda t_1 - t_2 d \quad (42)$$

ahol a Q a hőáram nagyságát, λ a próbatest hővezetési ellenállását, d a próbatest vastagságát, $t_1 - t_2$ a hőmérsékletkülönbséget a mintadarabban és A a hőáramlásra merőleges felületet jelenti.

A szerkezetben a mintadarabon keresztül áramló hőt egy vagy két hőáram-átalakító méri. A hőáram-átalakító által mért hőáram alapján arányosan egy feszültségjelet (jele: V) továbbít, így számítógéppel történő adatfeldolgozásra képes. Ezt az arányszámot nevezik kalibrációs tényezőnek, jele: N . Az egyenlet átírható a következő alakba:

$$\lambda d = N V \Delta T \quad (43)$$

A hőáram és a leadott feszültségjel között a kapcsolatot a következő összefüggés adja meg:

$$N V = Q A \quad (44)$$

ahol a QA tört az egységnyi felületre eső hőáramot jelenti.

A szerkezet kalibrációját (az N értékének pontos meghatározását) egy vagy több etalon felhasználásával határozzák meg. A választott kalibrációs és mérési módszer befolyásolja az eredmények pontosságát és a mérés sebességét.

A szerkezet kalibrációja során azt feltételezzük, hogy a hővezetési ellenállás (λd) és a hőfokkülönbség hatására létrejövő feszültség egyenesen arányosan változik, ez az arányszám az N.

$$NV\Delta T = \lambda d \quad (45)$$

Ezzel a módszerrel $\pm 5\%$ -os pontosságon belül tudjuk mérni a próbatest hővezetési tényezőjét.

Az N kalibrációs tényezőt egy ismert hővezetési ellenállású anyag V és dT értékeinek felhasználásával történik. A készülékhez egy 25 mm vastag üveggyapot etalon jár. Amennyiben a $\pm 5\%$ -os hibahatáron belül szeretnénk maradni, olyan etalon kell használnunk, amelynek a hővezetési ellenállása eleget tesz a következőknek: értéke kisebb, mint a próbatest hővezetési ellenállásának a kétszerese és értéke nagyobb, mint a próbatest hővezetési ellenállásának a felénél. Az etalon hővezetési ellenállásának növelésére lehetőség van több 25 mm-es üveggyapot egymásra rakásával.

Az N kalibrációs tényező értéke függ a hőmérséklettől, ezért a hőáram átalakító kalibrálását $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál kisebb tartományban kell végezni. Különböző hőmérsékleti

tartományokban a program lineáris interpolációval közelíti az N értékét és ezután a következő egyenlettel számolja ki a hővezetési ellenállást:

$$\lambda = dNV\Delta T \quad (46)$$

Növelhető a készülék pontossága, ha a kalibrálást több, különböző hővezetési ellenállású próbatesttel végezzük. Például először 1, majd 2, végül 3 réteg üveggyapot etalonnal kalibrálok, így különböző vastagságú anyagokhoz is pontosabb kalibrációs tényezőt kapok.

Különböző hőmérsékleteken elvégzett kalibrációs tényezők mérése alapján felvehető

egy: $\lambda dV\Delta T$ függvény. A különböző hőmérsékletű pontok egy egyenesre illeszkednek, melyek meredeksége megegyezik az N kalibrációs tényezővel:

$$N = d(\lambda d)V\Delta T \quad (47)$$

Amennyiben a kalibrációs hőmérsékletek közötti hőmérsékleten szeretnénk mérni, akkor a kalibrációs tényező értékét lineáris interpolációval határozhatjuk meg.

A gép számítógépes programja méri bevezetett feszültségértékeket, amit átszámol a kalibrációs tényező segítségével hővezetési tényezővé. A program úgy méri az egyensúly állapothoz tartozó hővezetési ellenállást, hogy valamilyen időtartamra mért átlagértékeknek egy bizonyos szám szerint ismétlődnie kell a mérés során. Ez az ismétlődések minimális számát mi határozhatjuk meg, ez teszi hosszúvá a hővezetési tényező mérésének folyamatát. A mérés során beállított ismétlődések száma 5 volt.



6. Ábra A Holometrix Lambda 2000 műszer

III.3. A Venticell 111 szárítógép

A Venticell 111 szárítógép hasznos űrtartalma 111 liter, amit gyorsan és pontosan képes akár 10 °C – 300 °C-ig homogén eloszlású levegőt biztosítani: szabályos spirális úton halad a munkatérben. A gép programozható: 6 felé funkcióval rendelkezik: beállítható a szárítási idő (késleltetéssel), szárítási hőfok, csatlakoztatható számítógéphez vagy nyomtatóhoz is. A szerkezetben található fűtőszálak által termelt hő egy ventilátor segítségével jut el a munkatérbe, az áramló levegő hőmérsékletét és mennyiségét is lehet szabályozni. Ez a fejezet a [8] alapján készült.



7. Ábra A Venticell 111 szárítószekrény

III.4. A Climacell 111 klímakamra

A Climacell 111 klímakamra egy olyan berendezés mellyel különböző hőmérsékletekhez, különböző páratartalmú levegőt képes biztosítani előre meghatározott időre. A gép által elérhető maximális relatív páratartalom 90%, ezt a beállítást használtuk a mérés során. A gép programozható: 6 felé funkcióval rendelkezik: beállítható a működési idő (késleltetéssel), működési hőfok, csatlakoztatható számítógéphez vagy nyomtatóhoz is. A gép számára biztosítani kell megfelelő mennyiségű vizet, amit elpárologtat a beállított páratartalom elérésének érdekében. Ez a fejezet a [9] alapján készült.



8. Ábra A Climacell 111 klímakamra

III.5. A vizsgált polisztirol habok

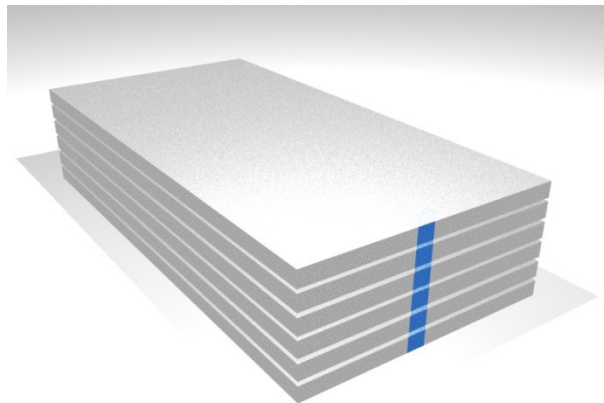
A mérés során alkalmazott hőszigetelő lemezeket a **Cellplast** Műanyagipari Kft. biztosította (zárójelben a megkülönböztető színük szerepel):

- THERMOCELL (EPS) 30 (kék)
- THERMOCELL (EPS) 100 (sárga)
- THERMOCELL (EPS) 200 (két festéksávós fekete)
- THERMOCELL (EPS) GREY

EZ A FEJEZET A [10] ALAPJÁN KÉSZÜLT.

THERMOCELL (EPS) 30

Olyan épületszerkezetekhez ajánlják, ahol nem lép fel mechanikai igénybevétel, például tetőterek szarufái közötti és alatti, kéthéjús hidegtetők, kétrétegű falszerkezetek, átszellőztetett homlokzatburkolatok, pince mennyezetének hőszigetelésére. Alkalmas hőhidak kiküszöbölésére, álmennyezeti betétként és dilatációk kialakítására is.



9. Ábra THERMOCELL (EPS) 30

Műszaki jellemzők:

- Hővezetési tényező: 0,045 W/mK
- Páradiffúziós tényező: 0,036-0,018 mg/(Pa×h×m)

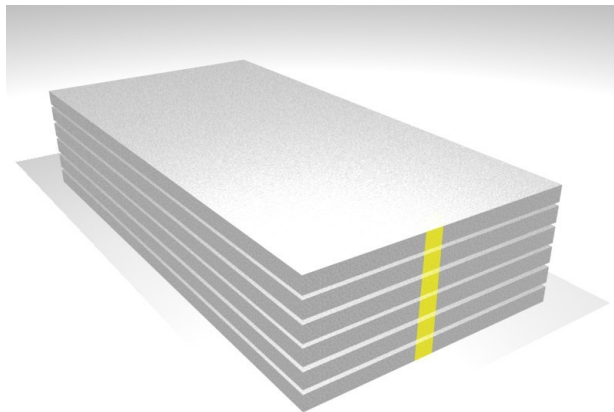
- Páradiffúziós ellenállás: 20-40
- Vízfelvétel 24 óra alatt: ≤ 3 térfogat

THERMOCELL (EPS) 100

A Cellplast Műanyagipari Kft. padlók, padlófűtések, födémek, egyenes rétegrendű lapostetők és mélyhűtő terek hőszigetelésére ajánlja. Ez a típus, már terhelhető (bizonyos mértékben).

Műszaki jellemzők:

- Hővezetési tényező: 0,039 W/mK
- Páradiffúziós tényező: 0,024-0,010mg/(Pa×h×m)
- Páradiffúziós ellenállás: 30-70
- Vízfelvétel 24 óra alatt: ≤ 2 térfogat



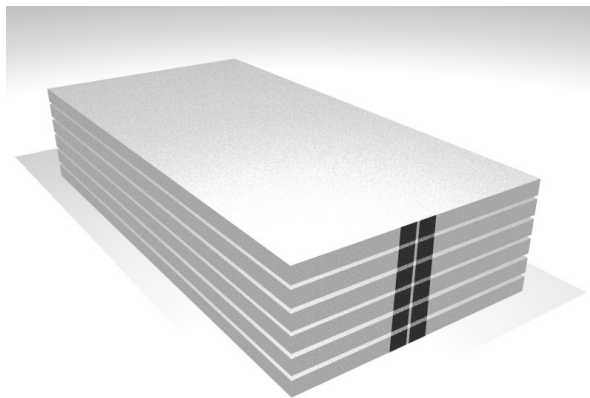
10. Ábra THERMOCELL (EPS) 100

THERMOCELL (EPS) 200

Olyan épületszerkezetekben javasolt, ahol különösen nagy mechanikai igénybevétel lép fel, például: járható lapostetők, terasztetők, tetőparkolók, zöldtetők, vagy éppen járműterhelésnek kitett padlók és hűtőterek hőszigetelésére.

Műszaki jellemzők:

- Hővezetési tényező: 0,035 W/mK
- Páradiffúziós tényező: 0,018-0,007 mg/(Pa×h×m)
- Páradiffúziós ellenállás: 40-100
- Vízfelvétel 24 óra alatt: ≤1,5 térfogat



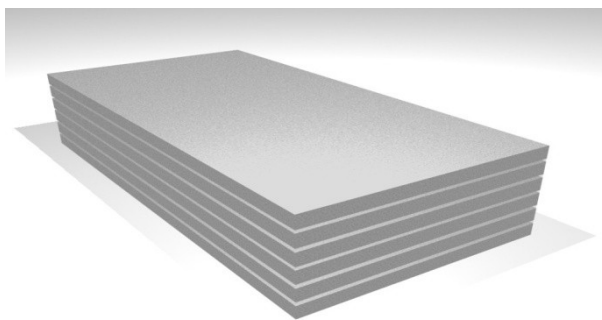
11. Ábra THERMOCELL (EPS) 200

THERMOCELL (EPS) GREY

Pihentetett, expandált polisztirol, mely mikroszkopikusan kicsi grafit lemezeket tartalmaz. Ezek visszaverik a hősugárzást: ez okozza az anyag ezüstszerű csillogását. A hősugárzás akadályozása tovább növeli a polisztirolhab hőátbocsátási ellenállását. E termékük rendelkezik a legkisebb hővezetési tényezővel. Homlokzati hőszigetelő rendszerekhez van kifejlesztve, mivel a gyártás utáni pihentetés következtében már nem zsugorodik.

Műszaki jellemzők:

- Hővezetési tényező: 0,031 W/mK
- Páradiffúziós tényező: 0,036-0,018 mg/(Pa×h×m)
- Páradiffúziós ellenállás: 20-40
- Vízfelvétel 24 óra alatt: ≤3 térfogat



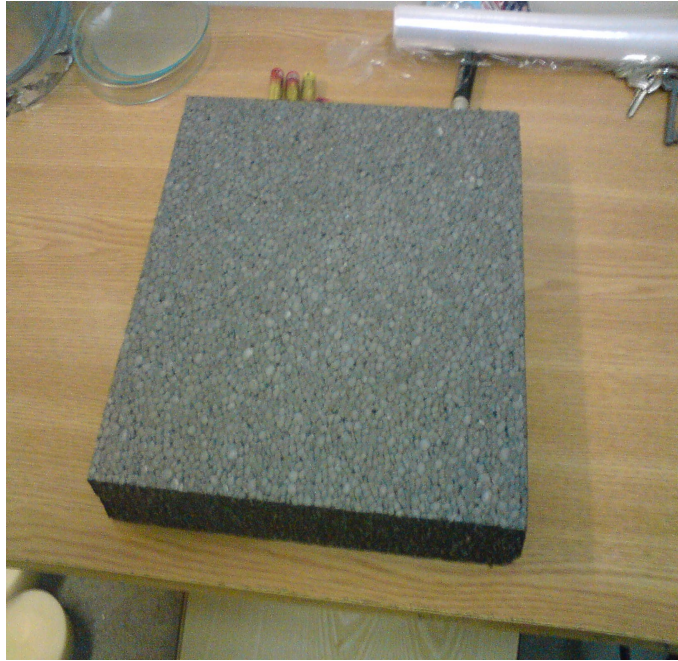
12. Ábra THERMOCELL (EPS) GREY

III.5. A mérés menete

A vizsgálatok a következő folyamat szerint zajlottak:

1. A próbatestet 70 °C-on 1 órán keresztül szárítottuk a Venticell 111 berendezéssel, az esetlegesen benne rejlő nedvesség eltávolítására (a tömegállandóság mindig beállt).
2. A szárítás után lemértük a tömegét, és a hosszmereteit, amely alapján a térfogatot, majd a sűrűséget számoltuk.
3. Behelyeztük a mintadarabot a klímakamrába, amely biztosítja a 90%-os páratartalmat 20 °C-on, és benne hagytuk az előre meghatározott időre (16, 20 és 24 óráig).
4. Miután kivettük a próbatestet, lemértük a nedves tömegét, amely alapján nedves sűrűséget és nedvességtartalmat számolhattunk, majd átlátszó fóliával vontuk be a darabot azért, hogy megakadályozzuk a már felvett nedvesség elpárolgását, amíg a lambda mérő meghatározta a hővezetési tényezőt.
5. A mintadarabot behelyeztük a lambda gépbe, amely az ismertetett módon megmérte a próbatest hővezetési tényezőjét.

A 13.-14. ábrák a mérés során készültek.



13. Ábra A kiszárított (szürke) mintadarab klímakamrába való behelyezés előtt



14. Ábra A fóliába csomagolt próbatest a lambda mérőműszerbe történő behelyezés előtt

IV. A mérési eredmények bemutatása

IV.1. THERMOCELL (EPS) 30 (kék)

A kék polisztirol mérése során kapott eredményeket a 2. Táblázat szemlélteti.

Idő [óra]	$\omega_{\text{mért}}$ [%]	$\lambda_{\text{mért}}$ [WmK]	$\lambda_{\text{számolt}}$ [WmK]	$z_{\text{számolt}}$	$\omega_{\text{számolt}}$ [%]
16	4,7188	0,0476	0,04596	2,8256	6,6667
20	6,2	0,0486	0,04721	2,4534 6	7,8571
24	10,6633	0,052	0,05096	2,2328	11,9048

2. Táblázat A kék EPS mérési eredményei

A mérések eredményei, különböző, a klímakamrában eltöltött időkhöz tartozó $\omega_{\text{mért}}$ – nedvességtartalom és a $\lambda_{\text{mért}}$ – hővezetési tényezők.

A $z_{\text{számolt}}$ értékei azok a mennyiségek, amennyinek kellene lennie z nagyságának, hogy az irodalmi képlet tökéletesen pontos legyen. A $z_{\text{számolt}}$ mennyiségeket szintén az előző képlet alapján határoztuk meg:

$$\lambda_{\text{mért}} = \lambda_0(1 + \omega * z_{\text{számolt}}100) \quad (48)$$

Ebből a $z_{\text{számolt}}$:

$$z_{\text{számolt}} = 100\omega(\lambda_{\text{mért}}\lambda_0 - 1) \quad (49)$$

A $Z_{\text{átlag}}$ értéke a $Z_{\text{számolt}}$ értékeinek számtani közepe: értéke $Z_{\text{átlag}} = 2,531$. Mint látható a számolt z anyagi állandó, e polisztirol esetén jelentős mértékben eltér a irodalomban meghatározott értéktől, az eltérés 26,55%-os.

A 15. ábrán a függvény a próbatest nedves tömegéből meghatározott nedvességtartalmakat (kék görbe) és a szakirodalomban található képlet alapján számolt értékeket (piros görbe) ábrázoljuk a klímakamrában eltöltött idő függvényében.

15. Ábra Nedvességtartalom a nedvesítési idő függvényében

Az $\omega_{\text{számolt}}$ értékek azok a mennyiségek, amennyi nedvességtartalom mellett pontosan teljesül a szakirodalomban fellelhető képlet.

$$\lambda_{\text{mért}} = \lambda_0(1 + \omega_{\text{számolt}} * z * 100) \quad (50)$$

Átrendezve:

$$\omega_{\text{számolt}} = 100z(\lambda_{\text{mért}}/\lambda_0 - 1) \quad (51)$$

Az ábrából látszik, hogy a két függvény nagyon hasonlít egymásra, a mért értékeket tartalmazó görbe ugyanolyan nagyságú értékkel van körülbelül lefelé tolódva. A klímakamrából kivett mintadarabok esetén megfigyelhető volt, hogy a mintadarab tömege folyamatosan csökkent (századgrammos nagyságrendben), ez okozhatta az eltéréseket nedvességtartalomban. Szintén e folyamat miatt volt szükség a próbatest vékony fóliába való csomagolására azért, mert a lambda gép a hővezetési tényezőt minimum 2-3 óra alatt volt képes meghatározni, és ez idő alatt, ha nem lett volna becsomagolva, jelentős mértékben veszített volna a nedvességtartalmából, ami

megbízhatatlan eredményre vezet. A változó nedvességtartalom-különbségek háttérében a mérési környezet változó relatív páratartalma állhat, ugyanis minél kisebb a környezet relatív páratartalma, annál nagyobb lesz a mintadarabból a környezet felé a páraáram.

A 16. ábrán a függvény a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők értékeit a klímakamrában eltöltött idő függvényében szemléltetik.

16. Ábra A hővezetési tényező a klímakamrában eltöltött idő függvényében

A lambda számolt értékeket a korábban ismertetett $\lambda_{\text{számolt}} = \lambda_0(1 + \omega_{\text{mért}} \cdot 100)$

egyenletből határoztuk meg.

E függvény esetében is az előző megfigyelésre lehet visszavezetni az eltérések okát.

Az utolsó, egyben a legszemléletesebb függvény (17. ábra) a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők függése a mért nedvességtartalom függvényében.

17. Ábra A hővezetési tényezők függése a nedvességtartalomtól

Az irodalmi képlet alapján egyértelmű, hogy ha a hővezetési tényezőt a nedvességtartalom függvényében ábrázolom, akkor a függvényünk egyenes lesz (piros görbe). A mérési eredmények alapján felvett függvény egy görbe, azonban ha erre a függvényre illesztünk egy egyenest (szaggatott egyenes), és ezt összevetjük a szakirodalomban megtalálható képlet alapján meghatározott függvénnyel (piros görbe) és az erre illeszkedő egyenessel (sárga egyenes), akkor látható, hogy a két egyenes csupán kismértékben tér el egymástól, azaz a mérési eredmények igazolják a szakirodalomban meghatározott képlet helyességét a kék poliszirolra.

IV.2. THERMOCELL (EPS) 100 (sárga)

A sárga polisztirol mérése során kapott eredményeket a következő táblázat szemlélteti:

Az értékek jelölése, és a számított értékek számítási menete megegyezik a kék polisztirolnál közöltekkel.

A $z_{\text{átlag}} = 2,8087$, ami az előző típushoz hasonlóan jelentősen eltér az irodalmi adattól, itt az eltérés 40,44%.

Idő [óra]	$\omega_{\text{mért}}$ [%]	$\lambda_{\text{mért}}$ [WmK]	$\lambda_{\text{számolt}}$ [WmK]	$z_{\text{számolt}}$	$\omega_{\text{számolt}}$ [%]
16	1,5446	0,04	0,03917	3,407 4	2,6316
20	2,4604	0,0416	0,0399	3,850 5	4,7368
24	11,94	0,0433	0,04707	1,168 1	6,9737

3. Táblázat A sárga polisztirol mérési eredményei

Az első függvény (18. ábra) (hasonlóan az előzőekhez) a próbatest nedves tömegéből meghatározott nedvességtartalmakat (kék görbe) és a szakirodalomban található képlet alapján kiszámolt értékeket (piros görbe) ábrázoljuk a klímakamrában eltöltött idő függvényében.

18. Ábra Nedvességtartalom a nedvesítési idő függvényében

Az ábra alapján a kék EPS-hez hasonlóan a mért értékek a 16 és 20 órás esetben kicsivel elmaradnak a számolt értékekhez képest, hasonlóan a kék mérési eredményeihez. Azonban a 24 órás esetben sokkal több nedvességet vett fel, mint a számolt érték. A mért értékek függvényére tekintve, a görbe exponenciális jellegűt mutat.

A következő függvény (19. ábra) a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők értékeit a klímakamrában eltöltött idő függvényében szemléltetik.

19. Ábra A hővezetési tényező a klímakamrában eltöltött idő függvényében

A mért adatok alapján a hővezetési tényező kismértékben nő a nedvesítési idő függvényében, de jól látszik a három mérési pont lineáris jellege. A számolt értékek görbéjén a 24 órás nedvesítési időhöz tartozó hővezetési tényezőnek jelentősen nagyobb értéket kellene fölvennie, mint amit a valóságban mértünk; ez az előző mérési időtartamokhoz képest jelentősen több nedvességfelvétel miatt történt.

A harmadik görbe (20. ábra) ugyanazt szemlélteti, mint az előző EPS esetén: a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők függése a mért nedvességtartalom függvényében.

20. Ábra A hővezetési tényezők függése a nedvességtartalomtól

Az kék polisztirolhoz hasonlóan itt is ugyanúgy vettük fel a közelítő lineáris görbéket. Látható, hogy a sárga EPS esetén a mért lineáris kezdőértéke, és meredeksége is eltér egymástól. Az első két mérési pont a számolt értékek görbéje fölött helyezkedik, azaz nagyobb mértékben változott meg a hővezetési tényező értéke, mint az irodalmi képletből meghatározott. A 24 órás mintadarab esetében, pedig a számolt hővezetési tényező nagyobb, mint a mért érték, mivel kevésbé nőtt meg a hővezetési tényező, mint az elvárható lett volna a felvett nedvességmennyiség alapján.

IV.3. THERMOCELL (EPS) 200

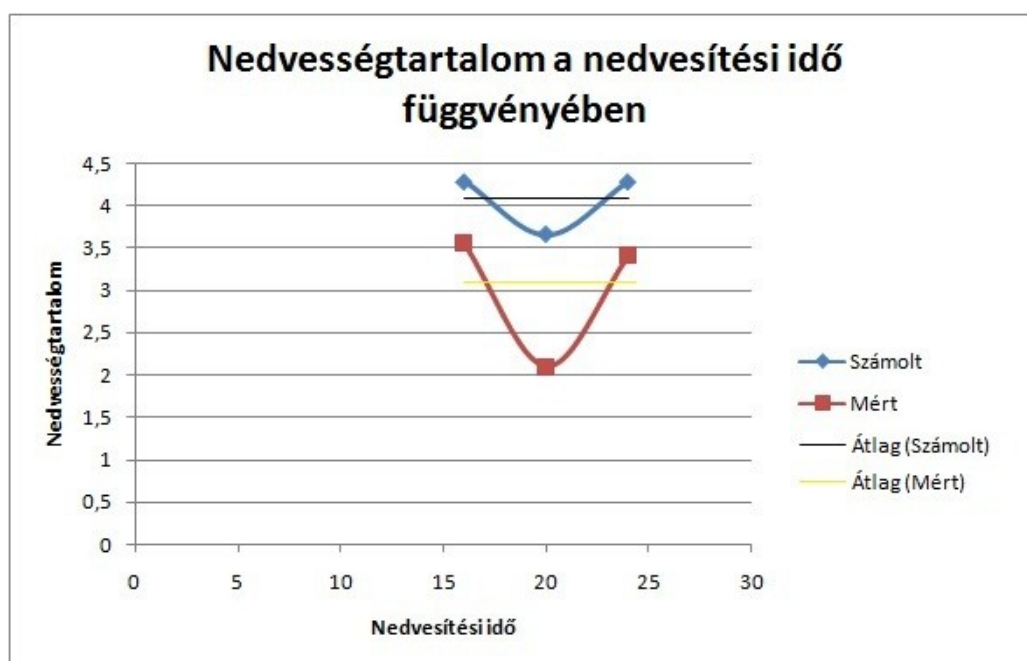
A mérési folyamat során kapott eredményeket a következő táblázat szemlélteti: Ezen polisztirol esetén azt a megfigyelést vettük észre, hogy ez a típus körülbelül 3% nedvességet tud felvenni maximálisan, hiába növeljük a klímakamrában eltöltött időt, a felvett nedvesség mennyisége nem változik. Ennek hátterében az állhat, hogy ezt a típust nagy mechanikai igénybevételekre tervezték, ezáltal nagy a sűrűsége, kicsik a pórusainak a térfogata, emiatt tudnak azok viszonylag hamar telítődni.

Idő [óra]	$\omega_{\text{mért}}$ [%]	$\lambda_{\text{mért}}$ [WmK]	$\lambda_{\text{számolt}}$ [WmK]	$Z_{\text{számolt}}$	$\omega_{\text{számolt}}$ [%]
16	3,5565	0,038	0,03749	2,41007 4	4,285714
20	2,0967	0,03756	0,036468	3,48847 5	3,657143
24	3,4188	0,038	0,037393	2,50714 5	4,285714

4. Táblázat A fekete EPS mérési eredményei

Az előzőekben a $Z_{\text{átlag}}$ értékével folytattuk az eredmények bemutatását, azonban a kicsi pórustérfogatok miatti telítődés miatt nincs értelme ezzel foglalkozni.

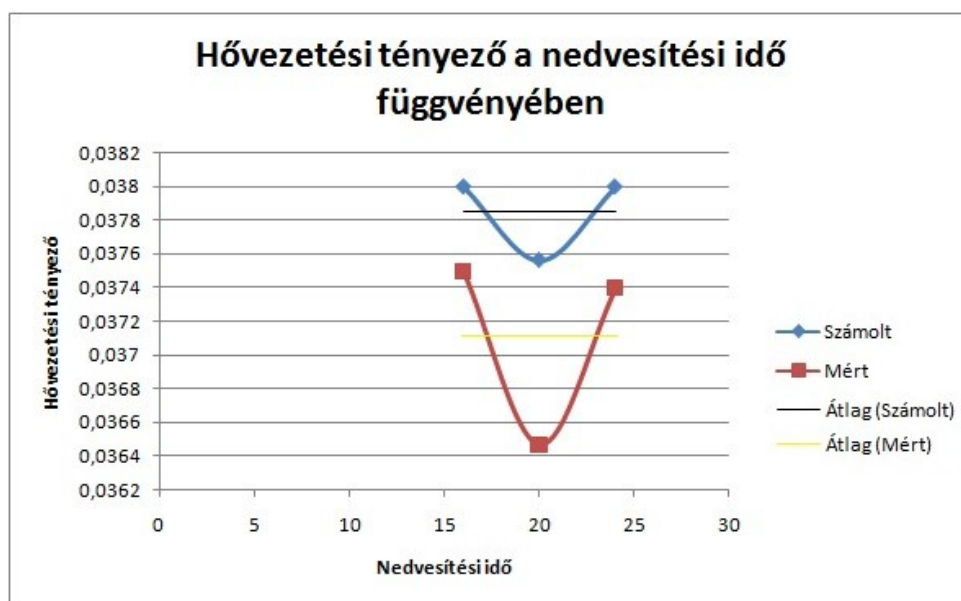
Az első függvény (21. ábra) a próbatest nedves tömegéből meghatározott nedvességtartalmakat (kék görbe) és a szakirodalomban található képlet alapján kiszámolt értékeket (piros görbe) ábrázoljuk a klímakamrában eltöltött idő függvényében.



21. Ábra Nedvességtartalom a nedvesítési idő függvényében

Mind a számolt, mind a mért görbék hasonlítanak egymásra, itt is az figyelhető meg, mint a sárga EPS esetén, a mért értékek minden nedvesítési időtartam esetén kisebb a felvett nedvességtartalom: feltehetően a nagyfokú párolgás miatt. Mindkét görbét egy olyan egyenessel közelítettük, ami párhuzamos a nedvesítési idő tengelyével: egy-egy átlag értéket vettünk fel. A számolt értékek átlaga: 4,0762, a mért értékek átlaga: 3,024.

A következő függvény (22. ábra) a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők értékeit a klímakamrában eltöltött idő függvényében szemléltetik.



22. Ábra A hővezetési tényező a klímakamrában eltöltött idő függvényében

Mint az ábrából látszik, az előző függvényhez hasonlóan a hővezetési tényező értéke is egy átlag érték körül mozog; mivel nem képes több nedvességet felvenni az EPS, ennek logikus következménye, hogy a hővezetési tényező is egy átlag érték körül fog ingadozni, mind a számolt, mind a mért függvények esetében. Az számolt értékek átlaga: 0,03712, a mért értékek átlaga: 0,03785.

IV.4. THERMOCELL (EPS) GREY

A mérési folyamat során kapott eredményeket 5. Táblázat szemlélteti.

Idő [óra]	$\omega_{\text{mért}}$ [%]	$\lambda_{\text{mért}}$	$\lambda_{\text{számolt}}$	$Z_{\text{számolt}}$	$\omega_{\text{számolt}}$ [%]
-----------	----------------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------	-------------------------------

		[WmK]	[WmK]		
16	3	0,0335	0,03392	1,562 5	3,1746
20	6,5	0,037	0,03616	2,403 8	8,7302
24	12	0,0395	0,03968	1,953 1	12,6984

5. Táblázat A szürke polisztirol mérési eredményei

A $Z_{\text{átlag}}$ értéke a szürke polisztirol esetén 1,9764 , ez a típus közelíti meg legjobban az irodalmi értéket: az eltérés mindössze 1.32%.

Folytatva az előző típusoknál használt sorrendiséget, az első függvény (23. ábra) a próbatest nedves tömegéből meghatározott nedvességtartalmakat (kék görbe) és a szakirodalomban található képlet alapján kiszámolt értékeket (piros görbe) ábrázoljuk a klímakamrában eltöltött idő függvényében.

23. Ábra Nedvességtartalom a nedvesítési idő függvényében

Az ábrából látszik, hogy a két függvény nagyon hasonlít egymásra, a 16 órás nedvesítési időnél az eltérés 0,1746% nedvességtartalom, a klímakamrában 20 órát töltött próbatest nedvességtartalom eltérése 2,2302%, ami a szürke EPS esetén jelentős eltérésnek tekinthető, azonban a 24 órás nedvesítési idő esetén az eltérés már csak 0,6984%. A nagyobb eltérést a már többször említett intenzív párolgási folyamat következménye.

A következő függvény (24. ábra) a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők értékeit a klímakamrában eltöltött idő függvényében szemléltetik.

24. Ábra A hővezetési tényező a klímakamrában eltöltött idő függvényében

E függvény esetében is az előző megfigyelésre lehet visszavezetni a nagyobb eltérések okát.

Az utolsó függvény (25. ábra), hasonlóan az eddigiekhez, a mért (kék görbe) és a számolt (piros görbe) hővezetési tényezők függése a mért nedvességtartalom függvényében.

25. Ábra A hővezetési tényezők függése a nedvességtartalomtól

Látható, hogy a két illeszkedő lineáris egyenes tökéletesen illeszkedik egymásra, azaz a mérési eredmények igazolják a szakirodalomban meghatározott képlet helyességét. Erre a polisztirol típusra alkalmazható a legpontosabban a Dr. Fekete Iván könyvében közölt összefüggés.

V. Összefoglalás

A mérés során láthattuk, hogy a páradús környezetbe helyezett polisztirol hővezetési tényezője jelentős mértékben megnő, ami nagymértékben ronthatja az épület hőszigetelését, nagyobb hőveszteséget okozva ezzel.

A vizsgálatok során igazolódtak: a hőáramlás törvényszerűségei, a hővezetési ellenállás és tényező jelenléte, a szigetelő anyagokban megjelenő nedvesség és annak hatása a hővezetési tényezőre, ezzel a hővezetési ellenállásra.

Dr. Fekete Iván Épületfizika kézikönyvében ismertetett képlet helyességét bizonyítottuk, némi módosítással a λ értékekre vonatkozóan. A mérési eredmények alapján a $\lambda_{\text{átlag}}$ értéke a kék EPS-re vonatkozóan: 2,531, a sárga EPS esetén: 2,8087, míg a szürke EPS esetén a $\lambda_{\text{átlag}}$ értéke közel megegyezik az irodalomban közölttel: 1,9764. Azonban a fekete EPS, nagy sűrűsége, ezáltal kicsi pórusai miatt nem képes egy bizonyos mértéknél több nedvességet felvenni, azaz a hővezetési tényező értéke is maximalizálódik.

Köszönetnyilvánítás

Meg szeretném köszönni témavezetőmnek Dr. Lakatos Ákos Adjunktusnak a munkám során nyújtott segítségét, továbbá az Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszéknek és vezetőjének, Dr. Kalmár Ferenc Főiskolai Tanárnak, hogy biztosította nekem a mérések tárgyi feltételeit, a szárítógépet, a klímakamrát, a lambda mérőegységet és a mérés helyszínét: a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületfizikai laboratóriumát.

Köszönettel tartozom a **Cellplast** Műanyagipari Kft.-nek, amiért biztosította számomra a mérés során használt magas minőségű termékeket.

Felhasznált Irodalom

- [1.] KALMÁR Ferenc: Hő- és áramlástan I jegyzet
- [2.] OSZTROLUCZKY Miklós: Hőszigetelés, Cser Könyvkiadó és Ker. Kft, Budapest (2008) ISBN: 9789632780368
- [3.] BORZÁSI Attila, BOSZNAY Ákos: Szorpciós izoterma laboratóriumi mérési módszerének kidolgozása, TDK Dolgozat
- [4.] LAKATOS Ákos: Sorption isotherm measurements carried out on soil samples. 17th „Building Services, Mechanical and Building Industry days”. Urban Energy Conference, 13-14 October 2011, Debrecen, Hungary conference proceedings pp 119-124. ISBN 978-963-313-039-1
- [5.] OSVÁTH Imre: Kisméretű tömör téglák hővezetési tényezőjének meghatározása, Vizsgálati jegyzőkönyv, Pécs (2008)
- [6.] FEKETE Iván: Épületfizika kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1985, ISBN:963 10 6428 X
- [7.] HOLOMETRIX Lambda 2000 sorozat használati útmutató
- [8.] Venticell szárítószekrények termékismertető
- [9.] Climacell klímasekrény termékismertető
- [10.] <http://www.cellplast.hu/>