

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki
Tanszék



PIR hab vizsgálata, illetve alkalmazása építési hőszigetelő anyagként

Szerző: **Csontos Máté IV. éves épületgépészmérnöki BSc
szakos hallgató**

Témavezető, illetve tanszékvezető: **Dr. habil Lakatos Ákos**

Debrecen
2022.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	
1. A hőtechnika alapfogalma	
1.1 Hő, hőmérséklet	
1.2 Hőterjedés.....	
1.3 Hővezetés	
2. Hőterjedési folyamatok az épületszerkezetekben	
2.1 Hőátadás	
2.2 Hővezetés, hővezetési tényező.....	
3. Hőszigetelő anyagok.....	
3.1 Hőszigetelő anyag fogalma	
3.2 Hőszigetelő anyagok jellemzői, tulajdonságai.....	
3.3 Hőszigetelő anyagok csoportosítása	
3.4 Ásványgyapotok.....	
3.5 Polisztirolok	
4. Poliuretánhab	
4.1 Bemutatása	
4.2 Tulajdonságai	
4.3 Alkalmazása	
5. Poliuretán hőszigetelés vizsgálata.....	
5.1 Mérési folyamat	
5.2 Felhasznált berendezések bemutatása.....	
5.3 Hővezetési tényező mérése	
5.4 Fajhő mérése	
5.5 Infravörös abszorpció vizsgálat.....	
5.6 Mikroszkópos mérés	

Bevezetés

Manapság, ha felújítani szeretnénk, vagy építkezünk a hőszigetelés kérdése elengedhetetlen kivitelezési folyamat. Egy épület hőtechnikai korszerűsítése során, a hőszigetelés elvégezhető a talajra fektetett padlón, a padláson, a külső falak mentén, illetve a nyílászárókon is. Ezekhez számos hőszigetelő anyag áll rendelkezésre ugyanis az egyre növekvő környezettudatosság jelentősen hozzájárult a szakág fejlődéséhez.

Az idő múlásával egyre jobban szigorodnak az energetikai követelmények, ugyanis mindenkinek érdeke a fűtési energiaigény minimalizálása, ezzel csökkentve a globális felmelegedés folyamatát meggyorsító szén-dioxid kibocsátást. A hőszigetelés terén egyre jobban arra törekszünk, hogy ugyanazt a hőszigetelési hatást minél kevesebb anyagból, minél gazdaságosabban megvalósíthassuk, ezért a hőszigetelés egy folyamatosan fejlődő ágazat. A kezdeti természetes hőszigetelő anyagokat fokozatosan felváltották a szálas hőszigetelő anyagok, illetve műanyaghabok.

A poliuretán a műanyaghabok közé tartozó hőszigetelő anyag. Alkalmazása történhet szórtan, illetve táblás hőszigetelő anyagként. Hőszigetelő tulajdonsága kiválóbb a szintén műanyaghabok közé tartozó polisztirollal szemben.

Ebben a dolgozatban a poliuretánt, illetve a vele kapcsolatos mérést szeretném bemutatni, amelyeket a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék épületfizika laboratóriumában végeztem, azért, hogy megmutassam az előnyeit a terméktársaival szemben.

1. A hőtechnika alapfogalmai

1.1 Hő, hőmérséklet

A szilárd anyagok közös tulajdonsága, hogy részecskékből (atomokból, illetve molekulákból) épülnek fel, ezek a rendezetlen mozgását nevezzük hőnek. A hőmérséklet számszerű érték, amely megmutatja az anyag éppen milyen hőállapotban van. Az anyag hőmérséklete és a benne lévő részecskék rendezetlen mozgása egyenes arányosságban áll egymással. [2] [3]

1.2 Hőterjedés

Amennyiben két közeg hőállapota eltér egymástól, akkor az egyik közegből hő fog átadódni a másik közegnek, általában a melegebből a hidegebbe, és ezáltal hőmérsékletük kiegyenlítődik. A hőterjedés tehát a testek hőmérsékletkülönbségéből következik. Három formáját különböztetjük meg: [2] [3] [4]

- Hősugárzás
- Hővezetés
- Hőátadás (konvekció)

1.3 Hővezetés

Eme hővándorlási jelenség leginkább a szilárd testekben jellemző. A test részecskéi nem mozdulnak el érdemben, hanem parányi mozgást végeznek, és ennek hatásaként egymással kölcsönhatásba kerülnek a hő pedig átadódik egyik részecskéről a másikra. Ez a folyamat végtelen a részecskék között. A kölcsönhatás annál intenzívebb, minél nagyobb a részecskék hőmérséklet. [2] [3] [4] [5]

2. Hőterjedési folyamatok az épületszerkezetekben

2.1 Hőátadás

A hőátadás két féle módon megy végbe, hőáramlás, illetve hősugárzás útján. Hőáramláskor a hőenergia a levegő és a vele érintkező falszerkezet között adódik át, melyhez a légmozgás, azaz a szélhatás nagymértékben hozzájárul. Az átadott hőmennyiség és a szélhatás egyenesen arányos egymással, ugyanakkor függ az áramlási iránytól. Hősugárzás esetén pedig addig lesz átadott hőmennyiség ameddig a hőmérséklet-különbség nem lesz egyenlő. A hőátadási tényező tehát a sugárzásból, illetve hőáramlásból származó hőátadási tényezők összegével egyenlő. Megkülönböztetünk külső, valamint belső hőátadási tényezőt, mivel ezek az egymással kapcsolatban lévő közegek hőmérsékletviszonyainak a függvényében alakulnak. A hőátadási ellenállás a hőátadási tényező reciprok értéke. [2] [3] [4]

2.2 Hővezetés, hővezetési tényező

Az épületszerkezetet alkotó építőanyagokban a hőterjedés minden formája megfigyelhető, ezeket együttesen a hővezetési tényezővel írhatjuk le számszerűen. A hővezetési tényező megmutatja, hogy egységnyi felületű és vastagságú anyagon mekkora hőmennyiség áramlik egységnyi idő alatt, az anyag két határoló oldalán mért hőmérséklet függvényében. [2] [3] [4] [5]

Jele: λ

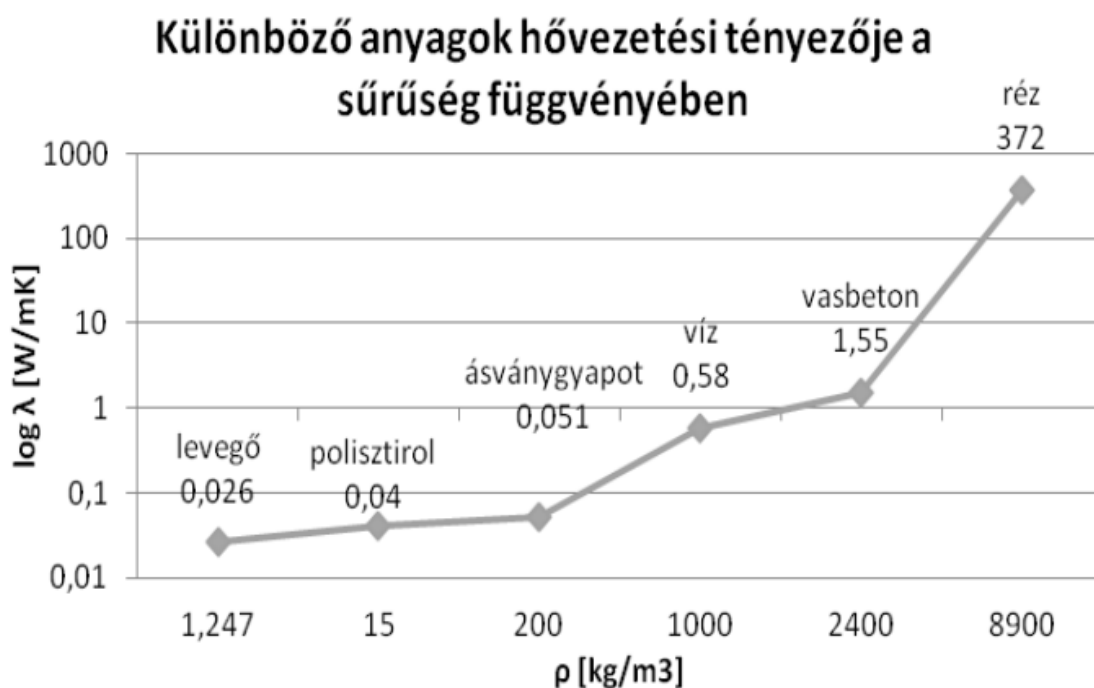
$$\text{Mértékegysége: } \lambda = \left[\frac{J \cdot m}{s \cdot K \cdot m^2} \right] = \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

Ez az érték egy származtatott elméleti érték, azonban a beépítés során különböző befolyásoló tényezők miatt változhat, ezért egy κ korrekciós tényezőt szoktunk alkalmazni. A λ tehát nem állandó érték, függ a környezeti hatásoktól. Ha a polisztirolt nemesvakolattal borítjuk, akkor a külső réteg átnedvesedik, ezáltal romlik a hővezetési tényező értéke. Az új hővezetési tényező a következőképpen számolható, a κ korrekciós tényezőhöz hozzáadunk egyet, és az összeget megszorozzuk az eredeti hővezetési tényező értékkel. [2] [3] [4]

Az anyag hővezetési tényezőjének nagysága az alábbiaktól függ:

- sűrűség
- hőmérséklet
- nedvességtartalom
- nyomás
- pórusok mérete és elrendezése
- szálelrendezés
- levegőtartalom

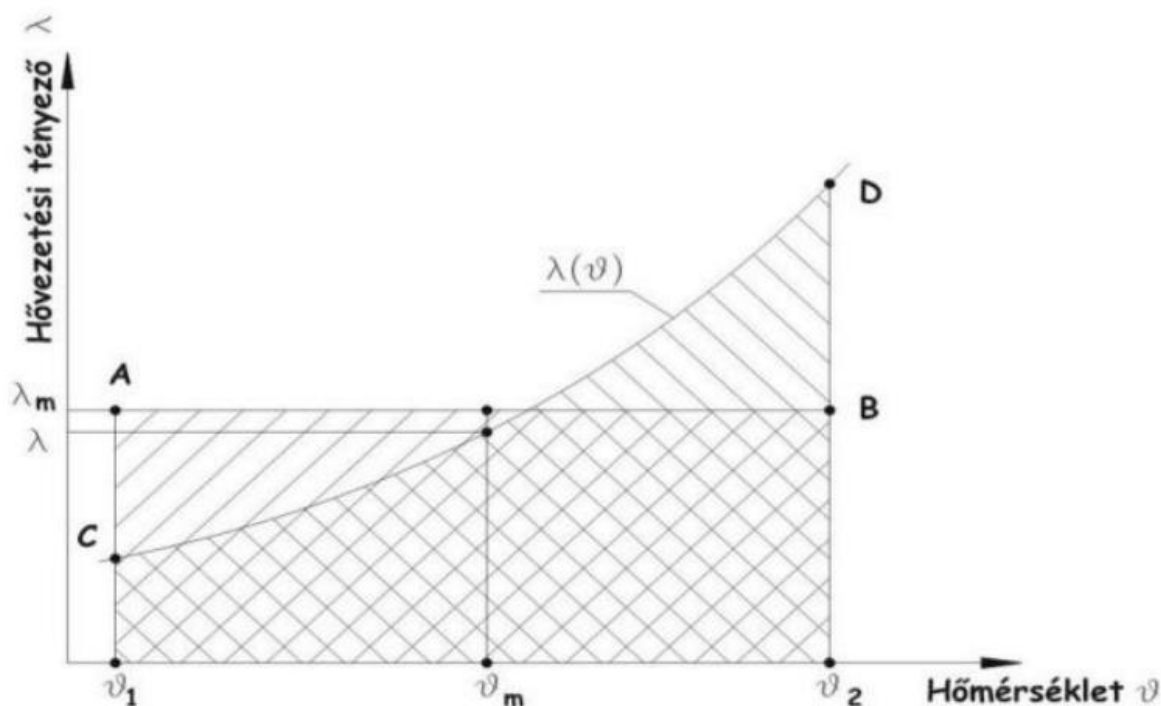
A hővezetési tényező és az anyagsűrűség függése:



1.ábra: Különböző anyagok hővezetési tényezője a sűrűség függvényében [1]

Az ábrán jól látható, hogy az építőanyagok hővezetési tényezője általában egyenesen arányos a sűrűségükkel, minél nagyobb az adott anyag sűrűsége, annál magasabb a hővezetési tényezője, megfigyelhető, hogy minél kisebb az anyag sűrűsége, annál jobb a hővezetési tényezője, ez a levegőrészecskék anyagban lévő jelenlétével magyarázható. [1]

A hővezetési tényező és az anyaghőmérséklet függése:



2.ábra: Különböző anyagok hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [1]

Az építőanyagok hővezetési tényezője a hőmérséklet növekedésével lineárisan növekszik, ha pedig csökken a hőmérséklet akkor a hővezetési tényező értéke is csökken, ez azzal magyarázható, hogy az anyagban lévő levegő részecskéinek a mozgása, a hidegebb környezet miatt lelassul, így csökken az anyag hővezetési képessége. Emiatt minden építőipari anyag hővezetési tényezőjét egy adott hőmérsékleten (+10°C) értéknél adják meg.

A hővezetési tényező ismeretében számítható ki a hővezetési ellenállás, amely szerkezeti rétegenként számítandó, értéke egyenlő az adott szerkezeti anyag vastagságának és hővezetési tényezőjének a hányadosával. Ha egy szerkezet több rétegből áll, akkor sorosan összeadandók az egyes anyagok hővezetési ellenállásai. Az erdő ellenállás a szerkezet ellenállása, valamint a külső és belső hőátadási ellenállások összege lesz. [1]

Jele: R

Mértékegysége: $R = \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

3. Hőszigetelő anyagok

3.1 Hőszigetelő anyag fogalma

Tulajdonképpen bármilyen anyag lehetne hőszigetelő anyag, hiszen minden anyagnak van hővezetési képessége, viszont az építőiparban használatos építőanyagok között csak azokat az anyagokat tekintjük hőszigetelő anyagoknak, amelyek 10 °C középhőmérsékleten mért hővezetési tényező értéke nem haladja meg a $0,15 \frac{W}{m \cdot K}$ értéket. Szerkezetüket tekintve lehetnek szálas, porózus, illetve üreges anyagok, amelyek vázát levegővel vagy akár gázokkal telt kapillárisok és pórusok alkotják. Ezen anyagok viszonylag kis testsűrűségűek, hőszigetelési képességüket a bennük lévő levegő, illetve gáz biztosítja. Ezek az anyagok a természetben is előfordulnak, de előállításuk mesterségesen is történhet. [2] [3]

3.2 Hőszigetelő anyagok jellemzői, tulajdonságai

A hőszigetelő anyagoknak, mint minden más építési anyagnak, adott szabványoknak, illetve követelményeknek kell megfelelniük, kiválasztásuknál több szempont is szerepet játszik az anyag tulajdonságait tekintve. [2] [3]

A legfontosabb tulajdonságok a következők:

- hővezetési tényező érték 10 °C középhőmérsékleten mérve
- szilárdságtani viselkedések (nyomó, húzó, hajlító, nyíró feszültségek mértéke)
- testsűrűség köbméterre vetítve
- térfogat- és méretállandóság
- nedvességfelvételi, illetve páraáteresztő képesség
- tűz-, hő- és fagyállóság
- mechanikai hatásokkal, valamint kártevőkkel szembeni ellenállás
- fizikai, kémiai stabilitás

3.3 Hőszigetelő anyagok csoportosítása

A hőszigetelő anyagokat csoportosíthatjuk felhasználási helyük-, előállításuk- és kémiaiösszetételük szerint. [2]

Előállításuk szerint lehetnek:

- Természetben megtalálható hőszigetelő anyagok:
 - parafa
 - expandált fagyapot
 - cellulózszigetelés
 - nádlemez
 - pamut, gyapjú
- Mesterségesen előállított hőszigetelő anyagok:
 - ásványgyapotok (kőzetgyapot, üveggyapot)
 - extrudált polisztirolhab (EPS)
 - expandált polisztirolhab (XPS)
 - poliuretánhab (PUR)

Kémiai összetételük szerint lehetnek:

- Szerves
- Szervetlen

Felhasználási helyük szerint lehetnek:

- Homlokzati hőszigetelések
- Lábazati hőszigetelések
- Talajon fekvő padló hőszigetelések
- Lapos- és magastető hőszigetelések
- Padlásfödém hőszigetelések
- Hőhidak, szerkezetek hőszigetelései

3.4 Ásványgyapotok

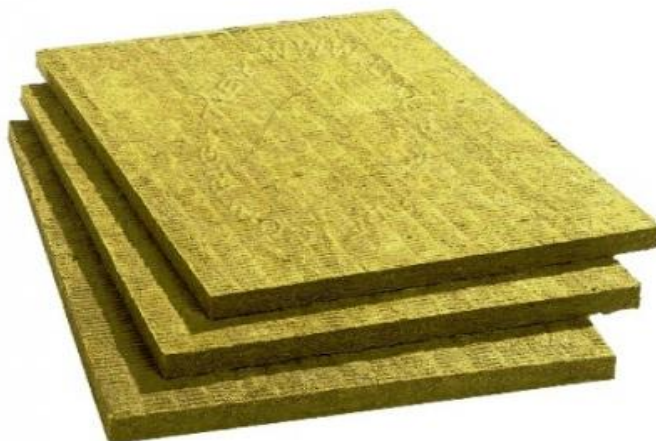
Az ásványgyapottermékek a mesterségesen előállított, azon belül pedig a szervesetlen hőszigetelő anyagok közé tartozó szálas anyagok. A kőzetgyapot és az üveggyapot egyaránt ásványi alapanyagokból készülnek, a szálásítás függvényében változó sűrűségű termékek. Úgynevezett szilikátolvadékokból előállított szálas anyagok, amelyeket hőhatással, vagy kötőgyanta segítségével állítanak elő táblás, valamint göngyöleges formában. Éghetetlen termékek, csak magas hőmérséklet hatására károsodnak, laza szerkezetüknek köszönhetően alacsony a páradiffúziós ellenállásuk. [1] [2]



3. ábra: Ásványgyapot termék [6]

Kőzetgyapotok:

A kőzetgyapotok a természetben megtalálható vulkanikus, illetve üledékes kőzetek (bazalt, diabáz, mészkő) összekeverésével, majd megolvasztásával és szálazásával, vagy kötőgyanta adagolásával előállított üveges szerkezetű hőszigetelő anyagok. Tulajdonságait tekintve nem csupán jó hőszigetelő, hanem kiváló hangszigetelő anyag is. Gyakorlatilag éghetetlen, gyulladási hőmérséklete kötőanyag nélkül 600-750 °C körül mozog. Testsűrűsége $20-200 \frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig $0,035-0,045 \frac{W}{m \cdot K}$ között van. [1] [2]



4. ábra: Rockwool kőzetgyapot termék [7]

Üveggyapotok:

Az üveggyapotok finomra aprított üveg nyersanyagok, mint például a homok, földpát, szóda, illetve bórtartalmú ásványok összekeverésével, majd megolvasztásával és szálazásával, előállított üveges szerkezetű hőszigetelő anyagok. Nevéből adódóan vékony üvegszálakból áll, gyapjúhoz hasonló tapintású. Tulajdonságait tekintve nem csupán kiváló hőszigetelő, hanem jó páraáteresztő anyag is, amelyet a benne lévő levegő mennyisége határoz meg. Gyakorlatilag éghetetlen, gyulladási hőmérséklete kötőanyag nélkül 500 °C körül mozog. Testsűrűsége $10-150 \frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig $0,035-0,045 \frac{W}{m \cdot K}$ között van. [1] [2]



5. ábra: Üveggyapot termék [8]

3.5 Polisztirolhabok

A polisztirolhabok a műanyaghabok közé tartoznak. A műanyaghabokat szerves molekulákból állítják elő pórusképző gázokkal vagy gőzökkel. Az eljárás többféle lehet, többek között polimerizáció, polikondenzáció vagy poliaddíció. Ezekkel az eljárásokkal előállított műanyaghabok hőszigetelő képességét a beléjük zárt gáz vagy levegő adja. A polisztirolhabok, hőre lágyuló műanyaghabok, amelyeket sztirolból, tömpolimerizációs eljárással állítanak elő. Gyártástechnológiai eljárás szerint a polisztirolhabokat két nagyobb csoportra oszthatjuk, az egyik extrudálással a másik pedig expandálással készülő polisztirol. [1] [2]

Extrudált polisztirol:

Az extrudált polisztirol, közismertebb nevén XPS speciális granulátumokból készül, amely széles résű extruderben halad keresztül, hozzá pedig habosító, valamint égéskésleltető adalékokat adagolnak, az extruderből kilépve pedig a kívánt méretnek megfelelően habosodik. [1] [2]

Tulajdonságait tekintve a többi hőszigetelő anyaggal szemben viszonylag kisebb a testsűrűsége, viszont erős mechanikai tulajdonságai vannak. Vízfelvételük elenyésző, szinte el is hanyagolható, ezáltal hőszigetelő képességéből nem veszít tartós nedvességterhelés mellett sem, ami zárt cellás anyagszerkezetének köszönhető. Gyakorlatilag éghetetlen, viszont kis hőmérsékleten meggyullad, gyulladási hőmérséklete 75-80 °C körül mozog, kis testsűrűségéből kifolyólag azonban a tűz hamar kialszik. Testsűrűsége 25-45 $\frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig 0,027-0,038 $\frac{W}{m \cdot K}$ között van. [1] [2]

Alkalmazási területük igen széleskörű, a leggyakrabban használt XPS termékeket fordított rétegrendű lapostetők, zöldtetők, közepesen nagy terhelésnek kitett padlószervezetek, pincefalak esetében egyaránt alkalmazzák. Az érdesített felületű XPS termékeket a homlokzati hőszigetelésben a lábazati hőszigetelés kialakítására használják, ebből kifolyólag érdesítik a felületét, hogy könnyebben tapadjon rá a ragasztóanyag, emellett még koszorúk és pillérek hőszigetelésére is alkalmas. A kisebb nyomószilárdságú XPS termékek pedig kettős szigetelésre, valamint normál terhelésnek kitett padlószervezetek és lapostetők hőszigetelésére alkalmazhatóak. [1] [2]



6. ábra: Austrotherm XPS hőszigetelő lemez [9]

Expandált polisztirol:

Az expandált polisztirol, közismertebb nevén EPS alapanyaga sztirolgyöngy, amely hajtógázt és speciális adalékokat tartalmaz. A sztirolgyöngyöket fokozatosan szakaszolva gőzölik, amitől megduzzadnak és pihentetésre kerülnek. A pihentetés után méretre vághatóak lesznek, amelyet izzószálas vágóval végeznek, amely során az anyag tulajdonképpen elpárolog. [1] [2]

Különös tulajdonságuk, hogy a gyártástól számítva még kb. 90 napig zsugorodhatnak. Kiváló hőszigetelési képességét a benne zárt cellákban nyugvó levegőnek köszönheti, ami nem tud eltávozni ezekből a zárt cellákból, ezáltal időállóan megtartva a hőszigetelési tulajdonságát. Az úgynevezett kemény héjú gömböcskéket 98%-ban tölti ki a levegő. Tűzállósági szempontból a nehezen éghető kategóriába tartoznak, ha tűzterhelésnek tesszük ki, elkezd égni, azonban az égéshő elvétele után önkioltóan viselkedik. Gyulladás hőmérséklete 85-90 °C körül mozog, testsűrűsége viszonylag kicsi $15-30 \frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig $0,032-0,040 \frac{W}{m \cdot K}$ között van. Az EPS termékek hővezetési tényező értékét lerontja, hogy 2...4 térfogat-százaléknyi vizet magukba szívhatnak, emiatt védenünk kell a páralecsapódástól és nedvességterheléstől. A hővezetési tényező értékére ezekben az esetekben korrekciós tényező értéket veszünk fel.

Az EPS hőszigetelési termékeket nyomószilárdsági kategóriákba soroljuk, amely a megnevezésében is feltűnik, alkalmazhatjuk födémek, belső falak, lapostető, talajra fektetett padlók, külső falak, homlokzatok hőszigeteléseként, valamint különböző díszítő elemek, illetve álmennyezeti burkolatok is készíthetők belőle. [1] [2]



7. ábra: Austrotherm EPS termék [10]

4. Poliuretánhab

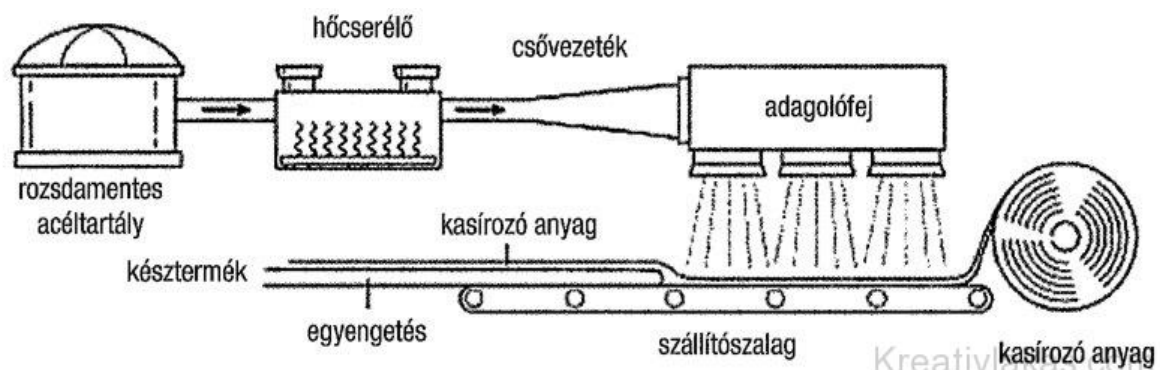
4.1 Bemutatása

A poliuretánhabok (PUR vagy PIR) a műanyaghabok közé tartozó hőszigetelő anyagok, amelyek poliaddíciós eljárással készülnek. Kiszерelését tekintve táblás, illetve szórt formában is alkalmazhatóak, a táblás kiszерelés cellaszerkezete zárt, míg a szórt kiszерelés cellaszerkezete lehet zárt és nyitott is egyaránt. [1] [2]

A poliuretán egy poliaddíciós műanyag. Előállításához di- és poliizocianátokat valamint di- és polioloikat használnak fel, amelyek egymással reakcióba lépnek, és hosszú polimerláncok, poliuretánok keletkeznek, amennyiben a reakció vizet és/vagy karbonsavat is tartalmaz.

A gyártási folyamat a tárolással kezdődik, a folyékony anyagokat egy rozsdamentes tartályban tárolják, ahol folyamatosan keverik lapátok segítségével, ezzel megőrizve az anyagok folyékony állapotát. Az alapanyagot a szükséges arányok függvényében csővezetékek segítségével a hőcserélőbe adagolják, ahol végbemegy a polimerizációs folyamat. A hőcserélőből a folyékony anyag az adagolófejekbe kerül. Mivel az anyag folyékony, ezáltal amíg meg nem szilárdul, erősen ragad, így a két oldalára kasírozást kap, ami lehet fólia, vagy üvegfátyol. A kasírozó anyagok az adagolófejek alatt lévő szállítószalagon futnak amire, ráfűjják a poliuretánt, ami a levegő szén-dioxid tartalmától megduzzad, és habosodni kezd. A termékre ráterítik a felső kasírozó réteget is, ezután pedig egy egyengetőbe kerül, ahol beállítják a végleges vastagságát. A következőkben a termék eléri végleges alakját, szilárdságát. A legutolsó művelet a kívánt méretre vágás, majd egységcsomagolás. [1] [2]

A folyamat a következő ábrán látható:



8.ábra: A poliuretán-gyártás folyamata [2] [11]

A PUR és PIR közötti különbség:

Valójában a PUR és PIR is ugyanazzal az eljárás segítségével készül, a különbség közöttük csupán az izocianát mennyiségétől függ. A PUR hab éghető, nagy füstterheléssel jár az égése, valamint az égés befelé irányul a belső részek felé. A PIR hab felületén égéskor egy oxidációs grafit réteg képződik, amely eloltás után nem ég tovább, csupán elszenesedik, továbbá ezáltal az égés tovább terjedését is meggátolja a belső rész felé, tulajdonképpen elalszik az égés. Tehát a PIR a benne lévő izocianát arány megváltozásának köszönhetően tűzálló szemben a PURRAL. [2]

4.2 Tulajdonságai

A táblás, illetve szórt poliuretán hőszigetelések tulajdonságai különböznek.

A táblás poliuretán hőszigetelések jó hővezetési tényezőjüket, jó hőszigetelési képességüket a szerkezetüket felépítő zárt cellákba zárt pentángáznak köszönhetik, mivel a pentángáz majdnem kétszer jobb hőszigetelő képességű, mint a levegő. A zárt cellás szerkezet további prioritása, hogy nedvességterhelés ellenére is elenyésző a vízfelvétele. További előnyei, az alaktartás, időállóság, ellenállóképesség a gombákkal és penészekkel szemben. Alakját évtizedekig megtartja, mechanikai szilárdsága magas. Fontos tulajdonsága, hogy sem a bolygóra nincs ózonkárosító hatással, sem pedig az emberi szervezetre sincs semmilyen élettan befolyással. Gyulladás hőmérséklete 120 °C körül mozog, testsűrűsége 30-100 $\frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig társaival szemben kimagaslóan jobb, körülbelül 0,022-0,030 $\frac{W}{m \cdot K}$ között van. [2]

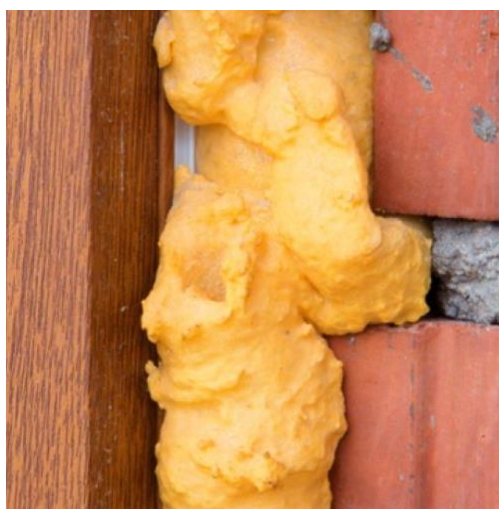


8. ábra: BACHL PIR MV SF hőszigetelő lemez [12]

A szórt poliuretán hőszigetelések között megkülönböztetünk zárt cellás, illetve nyitott cellás poliuretánt. A zárt cellás poliuretánhab merevebb és sűrűbb, szemben vele a nyitott pedig kisebb sűrűségű, ezzel arányosan a nyomószilárdsága is kisebb, tehát nem annyira terhelhető. Összeségében előnyös tulajdonságai egyformák a táblás hőszigetelésekkel, előnyére válik mégis, hogy levegő hatására elkezd habosodni, majd ezáltal tágulni. A felvitelt vagy kifújást követően a szigetelőanyag 1:100 arányban tágul. Gyorsan és egyszerűen lehet vele dolgozni, kapható kisebb flakonokban, melyből kifújhatóak. Kifújva eléggé ragad, szinte minden felülethez jól tapad, mivel tágul, réskitöltő tulajdonsága kiváló, ezért lehetővé teszi a szigetelést a nyílászáró tokok és a falszerkezet között. Gyulladás hőmérséklete 120 °C körül mozog, testsűrűsége 35-65 $\frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke 0,030 $\frac{W}{m \cdot K}$ körül van. [2]



9.ábra: szórt PUR szigetelés [13]



10.ábra: szórt PUR szigetelés [14]

4.3 Alkalmazásai

A poliuretán habot használhatjuk hőszigetelő lemezként, valamint szórt hab formájában is. Az építőiparban szórt formában hőszigetelő anyagként (pl. ablakkeret-tömítés) formájában találkozhatunk vele, valamint alkalmas még (pl. csővezeték, vezeték áttörések közötti rések kitöltésére is, továbbá a hűtőgépek gyártásakor is elengedhetetlen hőszigetelő anyag. Hőszigetelő táblaként főleg magastetők szigeteléseként találkozhatunk vele a szarufák felett, vagy között, de alkalmas még a lapostetők, födémek, padlók vagy homlokzatok hőszigetelésre is.

5. Poliuretán hőszigetelés vizsgálata

A vizsgálatot az előzőekben bemutatott poliuretán alapú hőszigetelő anyagokra végeztem el, azon belül is a poliuretán táblás hőszigetelések közül a PIR típusra. A méréseket a Debreceni Egyetem Épületfizikai Laboratóriumában végeztem. A vizsgálat során a célom az volt, hogy ismertessem ezt az anyagok, illetve mérésekkel igazolva vizsgáljam a hővezetési képességét, valamint bizonyítsam prioritását társaival szemben.

A PIR a poli-iso-cianurát, zártcellás kemény műanyaghab, kémiai rokon a poliuretán (PUR) műanyaggal. Alkalmazása megegyezik a poliuretánnal, de főként szigetelő hablemezként használják, viszont létezik szórt formában is, ami a légüregek hőszigetelőként való kitöltésére szolgál. Ez a szigetelőanyag alkalmas olyan belső falakba, ahol elektromos vezetékek futnak, mivel jó hő-és égésgátló tulajdonságokkal rendelkezik, olvadáspontja több mint 200 °C. Hablemezei apró zárt cellákból állnak, amelyekben (HCFC) klórozott-fluorozott-szénhidrogén gáz van. Kiváló tűzgátló tulajdonsága van. Hasonlóan a PUR-hoz metilén-difenil-diizocianát (MDI) poliolvegyületekkel való reagáltatásával állítják elő. A poliizocianurát MDI-koncentrációja azonban magasabb a végtermékben, mint a poliuretán. Tárolásuknál figyelni kell arra, hogy ne érje nedvesség a táblákat, mivel nedvesség hatására a fedőréteg elválhat, és az így kialakuló feszültség miatt az anyag eldeformálódhat. [15] [16]

5.1 Mérési folyamat

A mérési folyamat során a hőszigetelő anyagokat első lépésben egy szárítókamrába helyeztem. Miután a kamra kiszárította az összes vizsgálni kívánt mintát, lemértem a szélességüket, hosszukat és a súlyukat is. Ezen adatok birtokában a Netzsch Lambda HFM 446 mérőműszer segítségével meghatároztam az anyagok hővezetési tényező értékét különböző hőmérsékleteken.

5.2 Felhasznált berendezések bemutatása

Venticell 111 szárítókamra:

A Venticell 111 berendezés egy precíz és gyors laboratóriumi szárítóberendezés. A kamra hőmérsékleti tartománya elérheti a 250/300 °C-os hőmérséklet értéket is. A kamrában kényszerített levegőkeringtető rendszer garantálja az anyagok szárításához, melegítéséhez, sterilizálásához szükséges homogén hőmérséklet eloszlást. Gazdaságos működésű, mivel az összes temperálási eljárás sebessége nagy, különösen alkalmas magas páratartalmú anyagoknál is. További jellemzője a magas működési komfort és precíz hőmérséklet-szabályozás. [17]



11.ábra: Venticell 111 szárítóberendezés [17]

Netzsch Lambda HFM 446:

A Netzsch Lambda HFM 446 kimondottan a hőszigetelő anyagok vizsgálatára kifejlesztett mérőműszer, ASTM C518, ISO 8301, JIS A1412, DIN EN 12664 és a DIN EN 12667 szabványok alapján. A műszer beállításához ismernünk kell az adott anyag megadott hővezetési tényező értékét. A mérni kívánt anyagot első lépésként igyekeztem 20 cm *20 cm terület nagyságú részekre vágni, majd ezután a mérőműszer két lapja közé helyeztem be. A lapokban található két nagy pontosságú hőáramlás-érzékelő segítségével méri a műszer az anyagba, illetve az anyagból kiáramló hőáramlást. Amennyiben a rendszer egyensúlyi állapotát elérjük és a hőáram állandó, akkor a hővezetési tényező a Fourier-egyenlet segítségével számítható, mivel a minta mérési területe és vastagsága ismert. [18]



12. ábra: Netzsch Lambda HFM 446 [18]

5.3 Hővezetési tényező mérése

A méréseket kétfajta PIR anyagra készítettem el. Az elsőt a továbbiakban PIR 1 néven, a másikat pedig PIR 2 néven jelölöm. A kétféle PIR anyagból egyenként 4-4 mintadarabot vizsgáltam. A mérési folyamatban a következő szabványokat használtam: [19] [20] [21]

1.táblázat: Kiindulási értékek a PIR 1 esetében

Megnevezés:	Hossz: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]
PIR 1.1	19,5	19,8	77,2	3,9960
PIR 1.2	20	19,7	78,6	3,9914
PIR 1.3	20	19,7	60,8	4,9814
PIR 1.4	20	19,5	60,6	4,9815

A hővezetési tényező mérési folyamata:

A mérési folyamat során a mérőműszer 5 különböző hőfoklépcsőnél, állandó $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ΔT érték során vizsgálta meg a hővezetési tényező értékét. Mivel ismert a hőmérséklet és a hővezetési tényező ezáltal a továbbiakban ábrázolni fogom a hővezetési tényező értékét a hőmérséklet függvényében, a mérések végén pedig az első és második PIR mintadarabok hővezetési tényezőinek átlagát fogom venni a hőmérséklet függvényében, valamint a hozzá tartozó hibaszázalék függvényében az átlag hibát is feltüntettem.

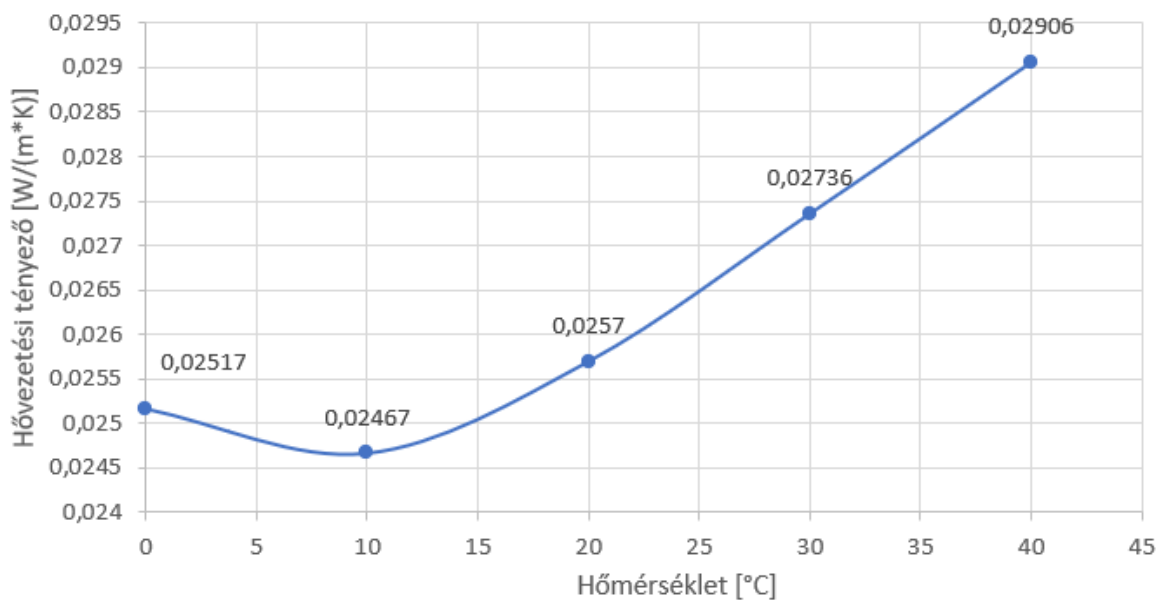
Mérési eredmények:

2. táblázat: Mért adatok a PIR 1.1 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]	[W/(m*K)]	[%]
1	0,0	20,0	0,02517	1,1
2	10,0	20,0	0,02467	1,1
3	20,0	20,0	0,02570	1,1
4	30,0	20,0	0,02736	1,1
5	40,0	20,0	0,02906	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 1.1 jelű mintaanyag a mérés során 0,025 W/(m*K) produkálta átlagosan 0 °C és 10 °C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a 0,030 W/(m*K) értéket. A hiba százalék értéke 1,1% azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.

PIR 1.1



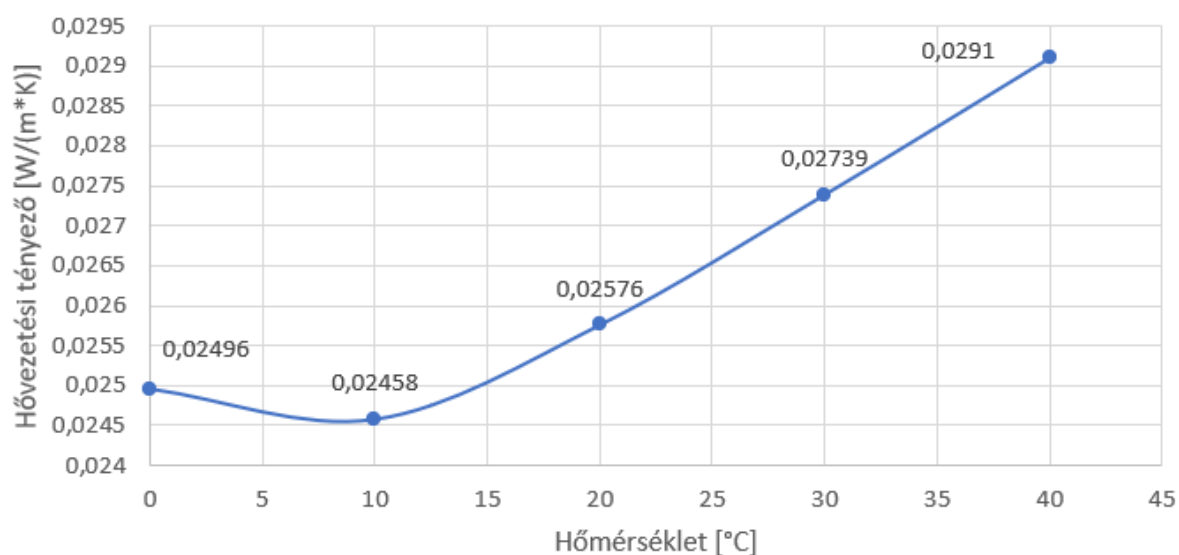
13.ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

3. táblázat: Mért adatok a PIR 1.2 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]	[W/(m*K)]	[%]
1	0,0	20,0	0,02496	1,1
2	10,0	20,0	0,02458	1,1
3	20,0	20,0	0,02576	1,1
4	30,0	20,0	0,02739	1,1
5	40,0	20,0	0,02910	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 1.2 jelű mintaanyag a mérés során 0,025 W/(m*K) produkálta átlagosan 0 °C és 10 °C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a 0,030 W/(m*K) értéket. A hiba százalék értéke 1,1% azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.

PIR 1.2

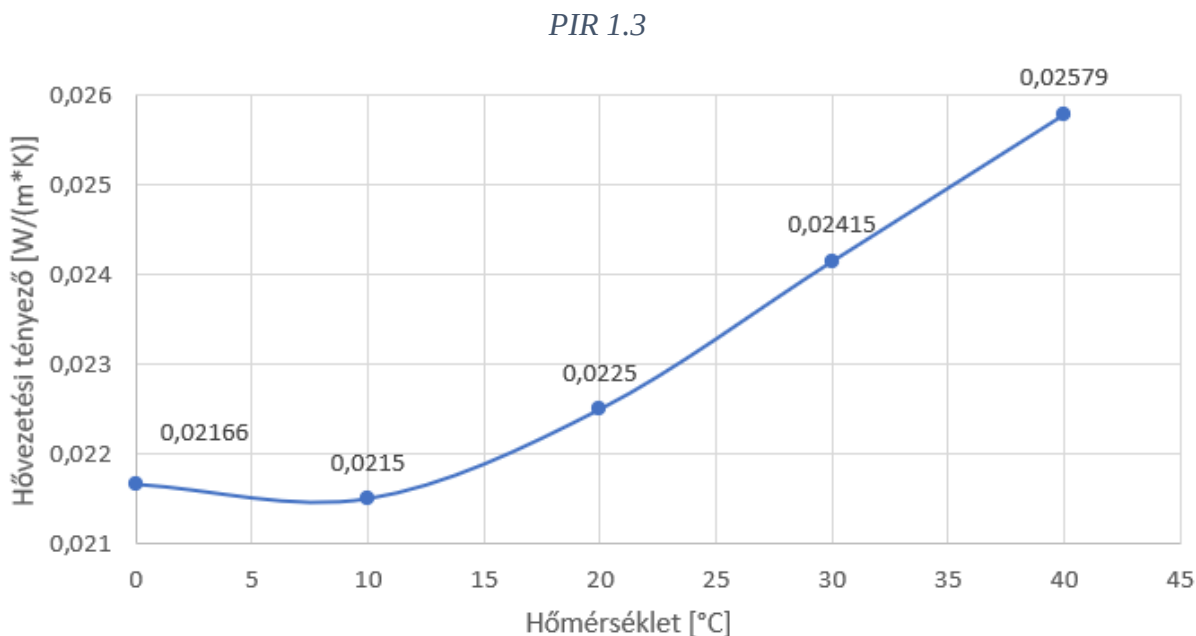


14. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

4. táblázat: Mért adatok a PIR 1.3 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]	[W/(m*K)]	[%]
1	0,0	20,0	0,02166	1,1
2	10,0	20,0	0,02150	1,1
3	20,0	20,0	0,02250	1,1
4	30,0	20,0	0,02415	1,1
5	40,0	20,0	0,02579	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 1.3 jelű mintaanyag a mérés során 0,0215 W/(m*K) produkálta átlagosan 0 °C és 10 °C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a 0,025 W/(m*K) értéket. A hiba százalék értéke 1,1% azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.



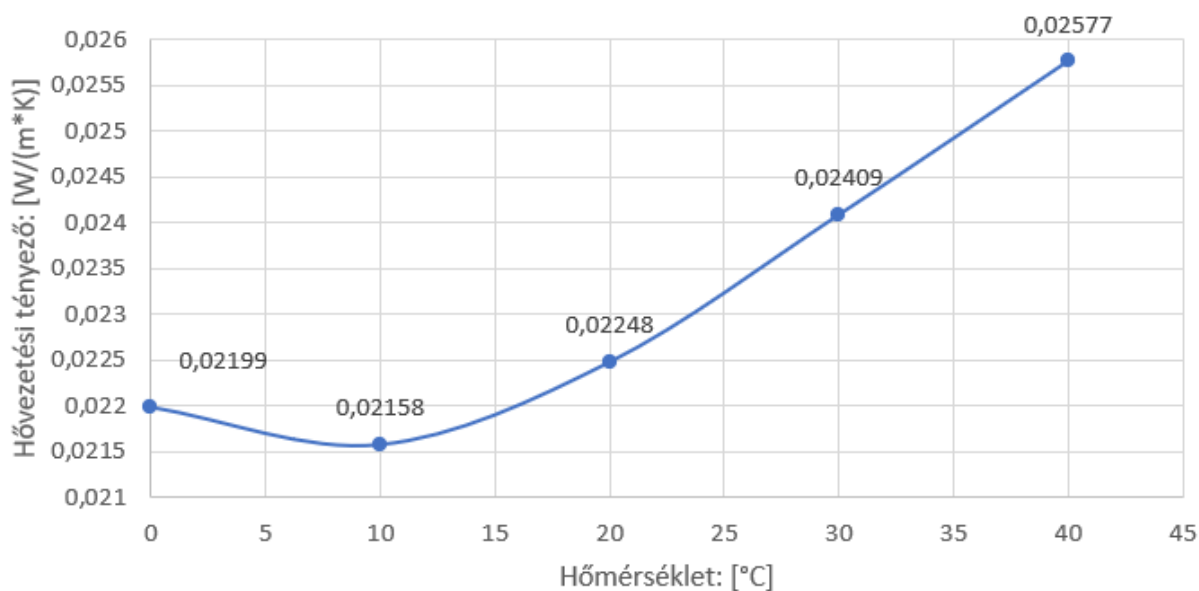
15. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

5. táblázat: Mért adatok a PIR 1.4 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]	[W/(m*K)]	[%]
1	0,0	20,0	0,02199	1,1
2	10,0	20,0	0,02158	1,1
3	20,0	20,0	0,02248	1,1
4	30,0	20,0	0,02409	1,1
5	40,0	20,0	0,02577	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 1.4 jelű mintaanyag a mérés során 0,022 W/(m*K) produkálta átlagosan 0 °C és 10 °C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a 0,025 W/(m*K) értéket. A hiba százalék értéke 1,1% azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.

PIR 1.4



16. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

6.táblázat: Kiindulási értékek a PIR 2 esetében

Megnevezés:	Hossz: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]
PIR 2.1	20	20	66,2	5,0257
PIR 2.2	20	20	65	5,0996
PIR 2.3	20	20	67,1	5,0316
PIR 2.4	20	20	64,6	5,0931

A hővezetési tényező mérési folyamata:

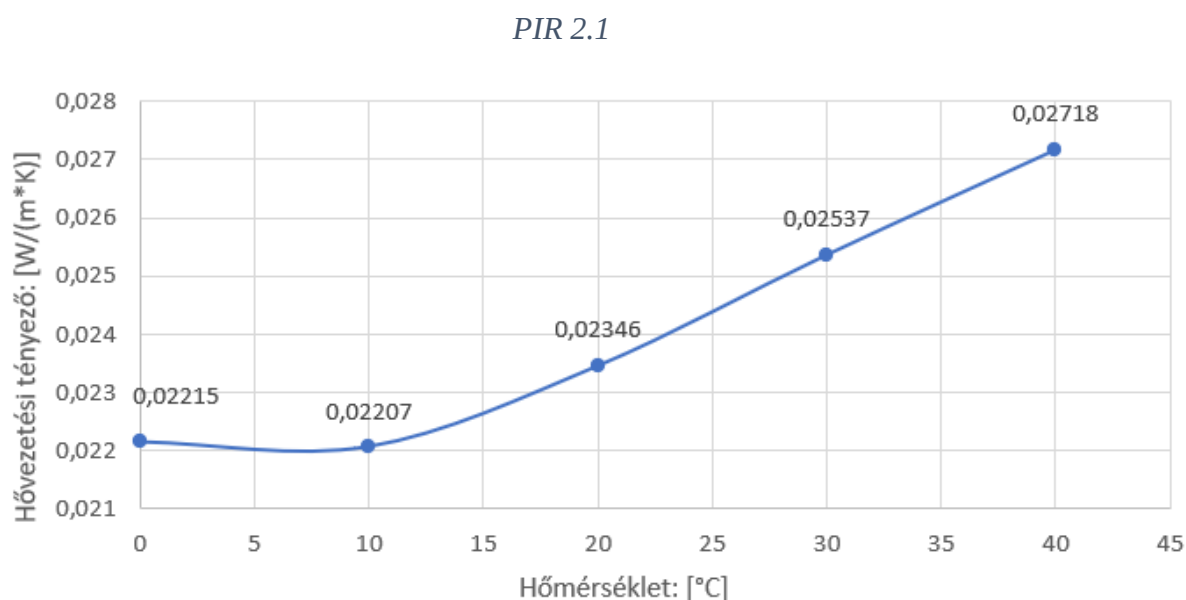
A mérési folyamat megegyezik az előző PIR 1 anyag esetében végzett mérési folyamattal.

Mérési eredmények:

7. táblázat: Mért adatok a PIR 2.1 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0,0	20,0	0,02215	1,1
2	10,0	20,0	0,02207	1,1
3	20,0	20,0	0,02346	1,1
4	30,0	20,0	0,02537	1,1
5	40,0	20,0	0,02718	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 2.1 jelű mintaanyag a mérés során 0,022 W/(m*K) produkálta átlagosan 0 °C és 10 °C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a 0,027 W/(m*K) értéket. A hiba százalék értéke 1,1% azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.

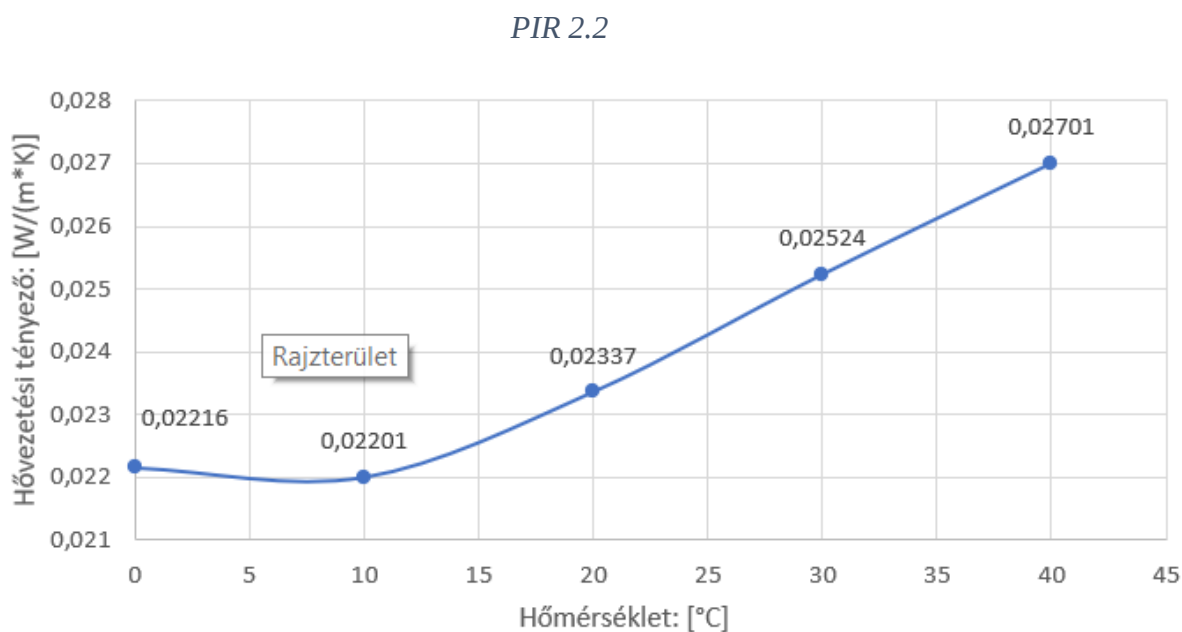


17. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

8. táblázat: Mért adatok a PIR 2.2 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0,0	20,0	0,02216	1,1
2	10,0	20,0	0,02201	1,1
3	20,0	20,0	0,02337	1,1
4	30,0	20,0	0,02524	1,1
5	40,0	20,0	0,02701	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 2.2 jelű mintaanyag a mérés során 0,022 W/(m*K) produkálta átlagosan 0 °C és 10 °C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a 0,027 W/(m*K) értéket. A hiba százalék értéke 1,1% azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.

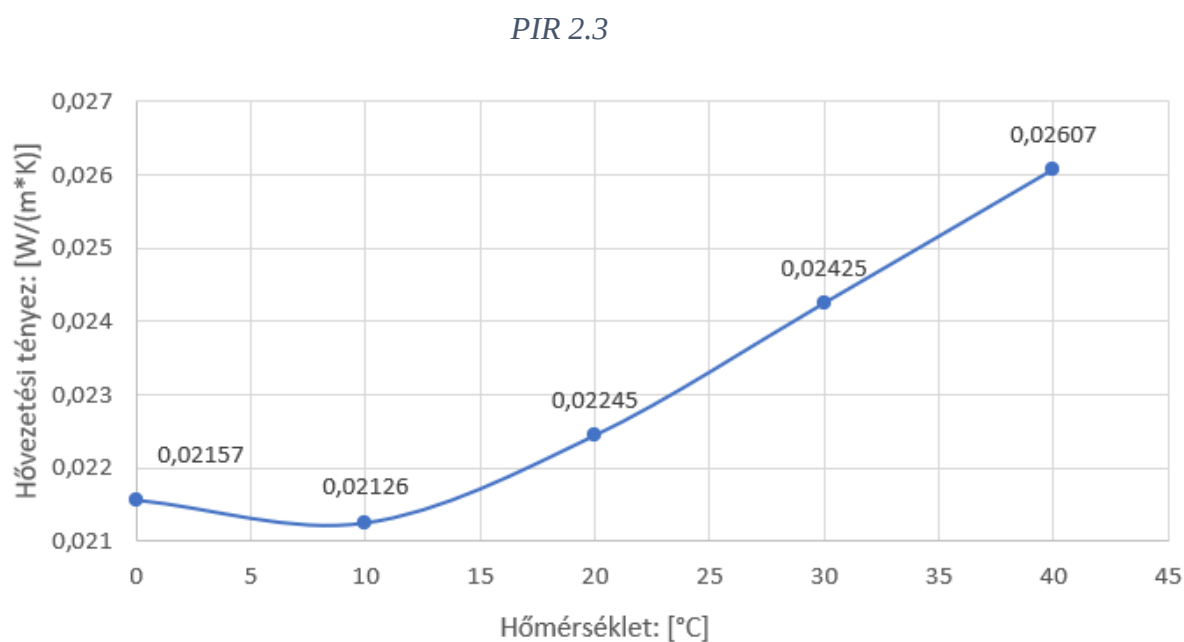


18. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

9. táblázat: Mért adatok a PIR 2.3 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0,0	20,0	0,02157	1,1
2	10,0	20,0	0,02126	1,1
3	20,0	20,0	0,02245	1,1
4	30,0	20,0	0,02425	1,1
5	40,0	20,0	0,02607	1,1

A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 2.3 jelű mintaanyag a mérés során $0,021 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ produkálta átlagosan 0°C és 10°C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a $0,026 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ értéket. A hiba százalék értéke $1,1\%$ azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.

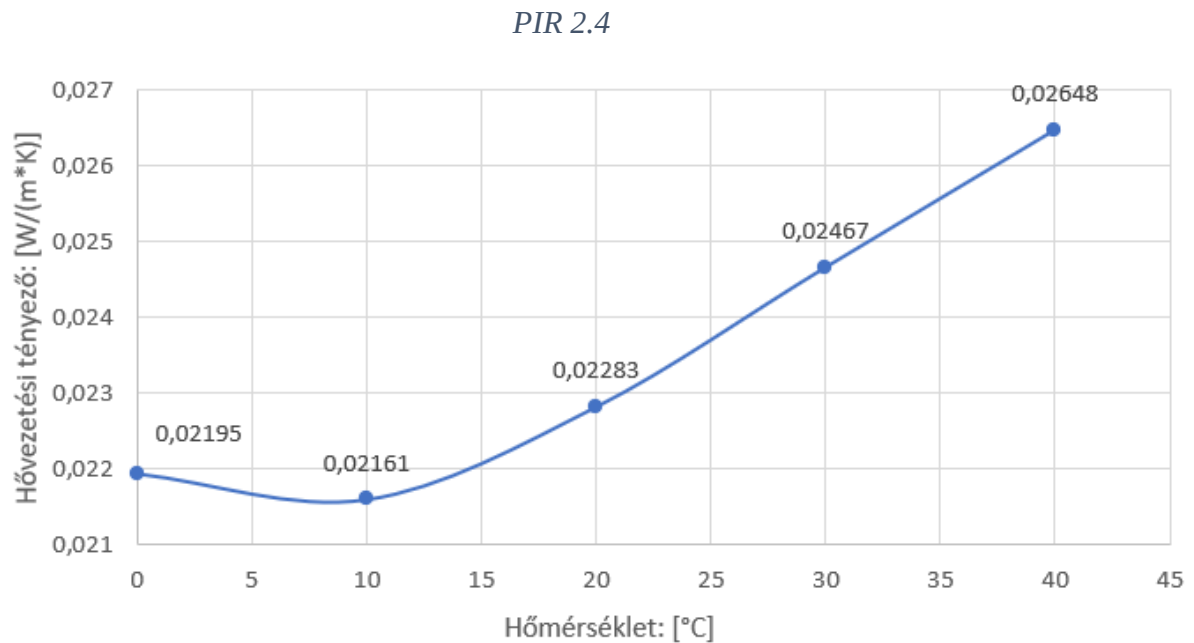


19.ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

10. táblázat: Mért adatok a PIR 2.4 esetén

	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[$^\circ \text{C}$]	[K]	[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	[%]
1	0,0	20,0	0,02195	1,1
2	10,0	20,0	0,02161	1,1
3	20,0	20,0	0,02283	1,1
4	30,0	20,0	0,02467	1,1
5	40,0	20,0	0,02648	1,1

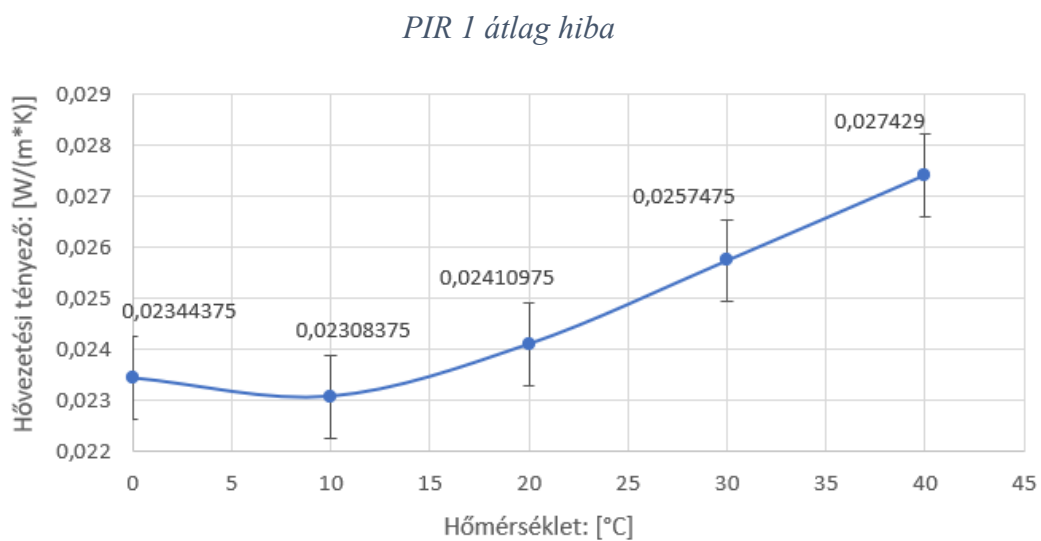
A mérési eredményekből látható, hogy a PIR 2.4 jelű mintaanyag a mérés során $0,021 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ produkálta átlagosan 0° és 10°C között, viszont a hőmérséklet növekedésével elérte a $0,026 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ értéket. A hiba százalék értéke $1,1\%$ azaz a kapott érték a hővezetési tényezője ennyiben térhet ki a kapott értéktől.



20. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

Hővezetési tényező eredmények átlagolása és kiértékelése:

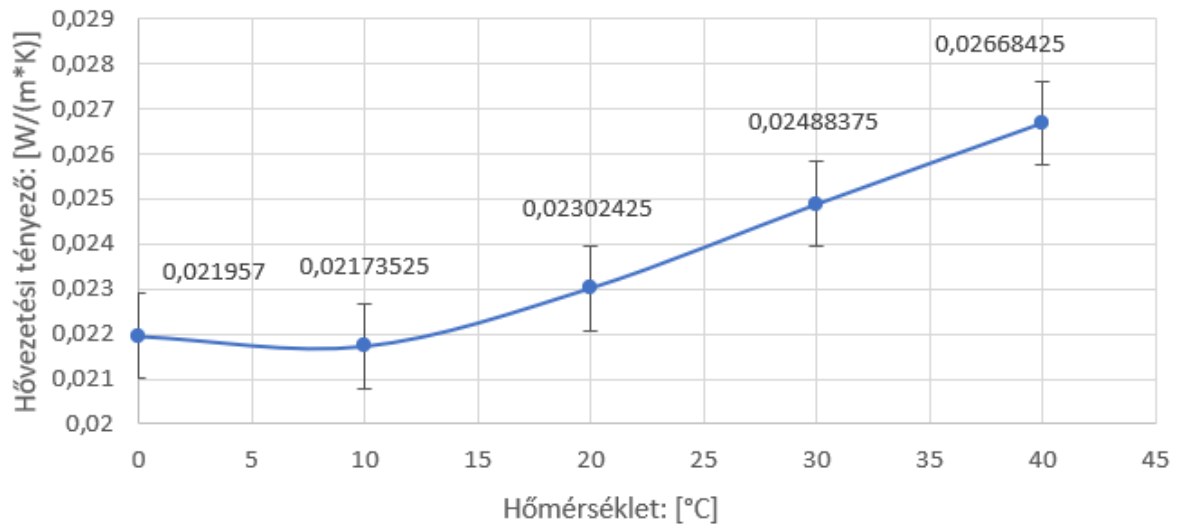
PIR 1 átlag hiba:



21. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

PIR 2 átlag hiba:

PIR 2 átlag hiba



22. ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

A mérési eredményekből megállapítható, hogy a PIR 2 hőszigetelés hővezetési tényező értéke kisebb.

A következő táblázat néhány építési hőszigetelő anyag hővezetési tényezőjét mutatja, a táblázatból jól látszik, hogy az összes itt felsorolt anyagnak magasabb a hővezetési tényező értéke, a PIR anyaggal szemben.

11. táblázat: Építési hőszigetelő anyagok hővezetési tényezői [2]

Építési hőszigetelő anyag:	Hővezetési tényező érték: [W/m*K]
Kőzetgyapot	0,035
Üveggyapot	0,035
Extrudált polisztirollhab (XPS)	0,027
Expandált polisztirollhab (EPS)	0,032
Grafitos (EPS)	0,031

5.4 Fajhő mérése

A Netzsch HFM 446 Lambda mérőműszer, a mintadarab felmelegítésével méri meg a fajlagos hőkapacitást, a fajhőt. A mérés közben a két lemezt pontosan ugyanazon a hőmérsékleten tartja lépésről lépésre, minden lépésnél a mintadarabba belépő vagy onnan kilépő teljes hőmennyiség lesz a hőáram-érzékelő jelének integrálja, ezeket kiértékelve adja meg nekünk a különböző fajhő értékeket. [18] A mérési folyamatban a következő szabványokat használtam: [19] [20] [21]

A továbbiakban a mintadarabok fajhőjét fogom mérni 3 mérési pontban, majd a különböző pontokhoz kapott fajhő értékeket átlagolni fogom, amiből ki fogom számolni a hiba értékét, és ezt a 3 hőmérsékleti mérési pont függvényében diagrammban fogom ábrázolni.

A PIR anyagból ugyanúgy 4 mintát vizsgáltam meg, mint a hővezetési tényező érték mérésénél. Az eredményeket a következő táblázat foglalja össze, amit az utolsó oszlopban átlagoltam.

12. táblázat: Fajhő értékek a PIR 1 esetén

Lépcsők	Beállított hőmérsékletek		Pont	Fajhő érték PIR 1.1	Fajhő érték PIR 1.2	Fajhő érték PIR 1.3	Fajhő érték PIR 1.4	Fajhő érték ÁTLAG
	Kezdeti	Vég						
	[°C]	[°C]						
1	17,5	22,5	20,0	1,030	1,119	1,178	1,461	1,197
2	22,5	27,5	25,0	1,075	1,077	1,208	1,310	1,168
3	27,5	32,5	30,0	1,175	1,160	1,385	1,348	1,267

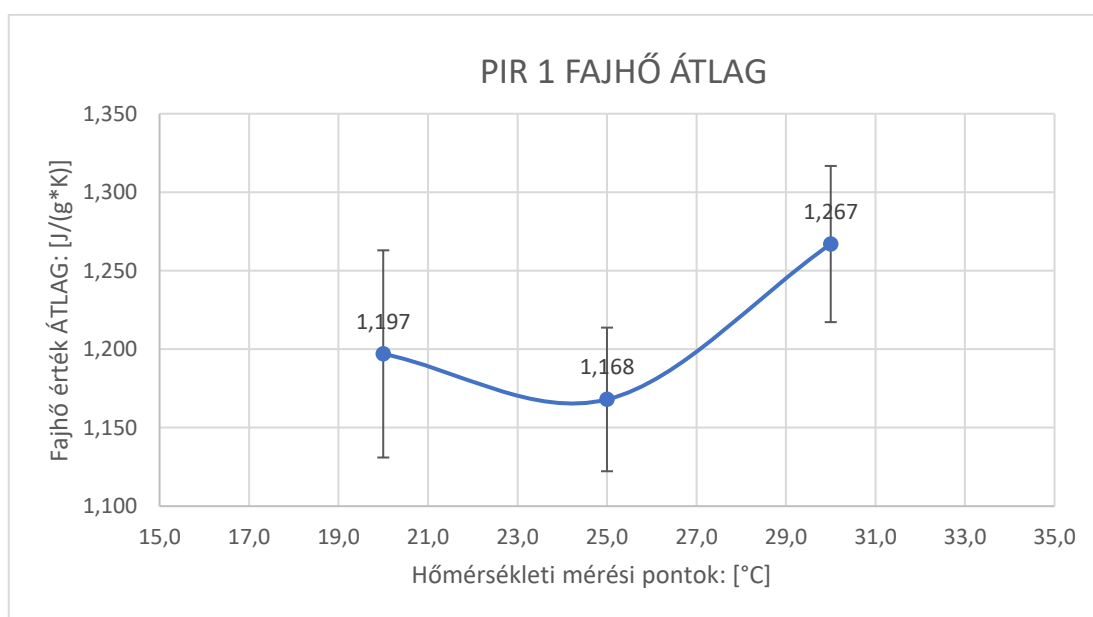
Ezt követően az átlag fajhő értékekből egyesével kivontam az egyesével mért fajhő értékeket, amelyeknek az abszolútértékét vettem, ezzel pedig kaptam egy „A”, „B”, „C”, és „D”, hibát az egyes mintáknál. Ezeket újra átlagoltam, és ezenfelül elosztottam kettővel, mivel az átlag hiba is pozitív és negatív is lesz.

13. táblázat: HIBA értékek a PIR 1 esetén

Lépcsők	Pont	"A" HIBA PIR 1.1	"B" HIBA PIR 1.2	"C" HIBA PIR 1.3	"D" HIBA PIR 1.4	HIBA ÁTLAG +/- számítva
	[°C]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]
1	20,0	0,167	0,078	0,019	0,264	0,066
2	25,0	0,093	0,091	0,041	0,143	0,046
3	30,0	0,092	0,107	0,118	0,081	0,050

Az átlag fajhő értékeket a három mérési pont függvényében ábrázoltam, az egyes hibásáv értékeket pedig beállítottam a pontokhoz tartozó átlag hiba értékek függvényében.

Az eredmény a következő diagramban látható:



23. ábra: Átlag fajhő érték a hőmérsékleti mérési pontok függvényében

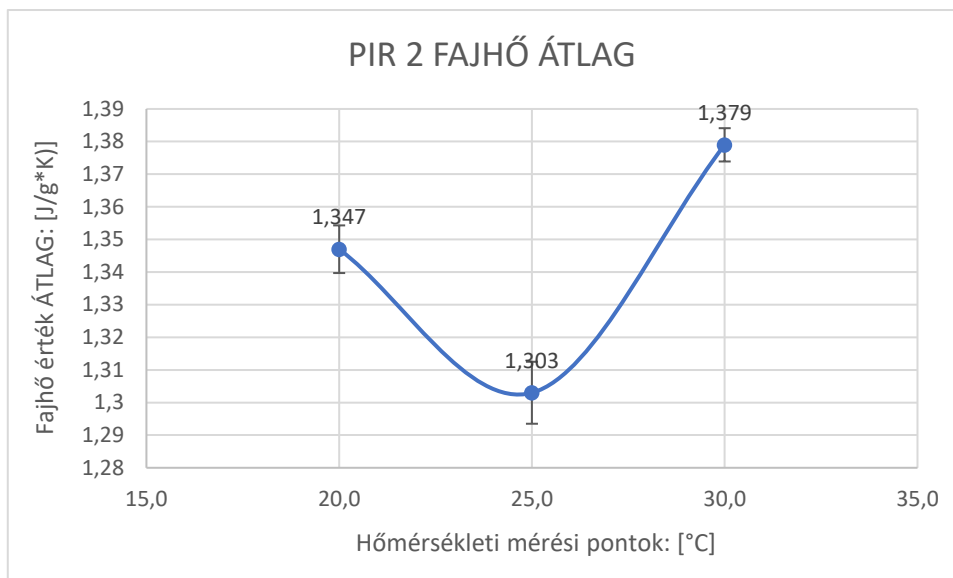
A PIR 2 minták esetében ugyanezzel a módszerrel jártam el, itt is szintén 4 mintát vizsgáltam. Az eredmények a következők lettek:

14. táblázat: Fajhő értékek a PIR 2 esetén

Lépcsők	Beállított hőmérsékletek		Pont	Fajhő érték PIR 2.1	Fajhő érték PIR 2.2	Fajhő érték PIR 2.3	Fajhő érték PIR 2.4	Fajhő érték ÁTLAG
	Kezdeti	Vég						
	[°C]	[°C]						
1	17,5	22,5	20,0	1,332	1,350	1,373	1,333	1,347
2	22,5	27,5	25,0	1,298	1,285	1,341	1,288	1,303
3	27,5	32,5	30,0	1,384	1,359	1,388	1,386	1,379

15. táblázat: HIBA értékek a PIR 2 esetén

Lépcsők	Pont	"A" HIBA PIR 2.1	"B" HIBA PIR 2.2	"C" HIBA PIR 2.3	"D" HIBA PIR 2.4	HIBA ÁTLAG +/- számítva
	[°C]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]	[J/(g*K)]
1	20,0	0,015	0,003	0,026	0,014	0,0073
2	25,0	0,005	0,018	0,038	0,015	0,0095
3	30,0	0,00475	0,020	0,00875	0,00675	0,0051

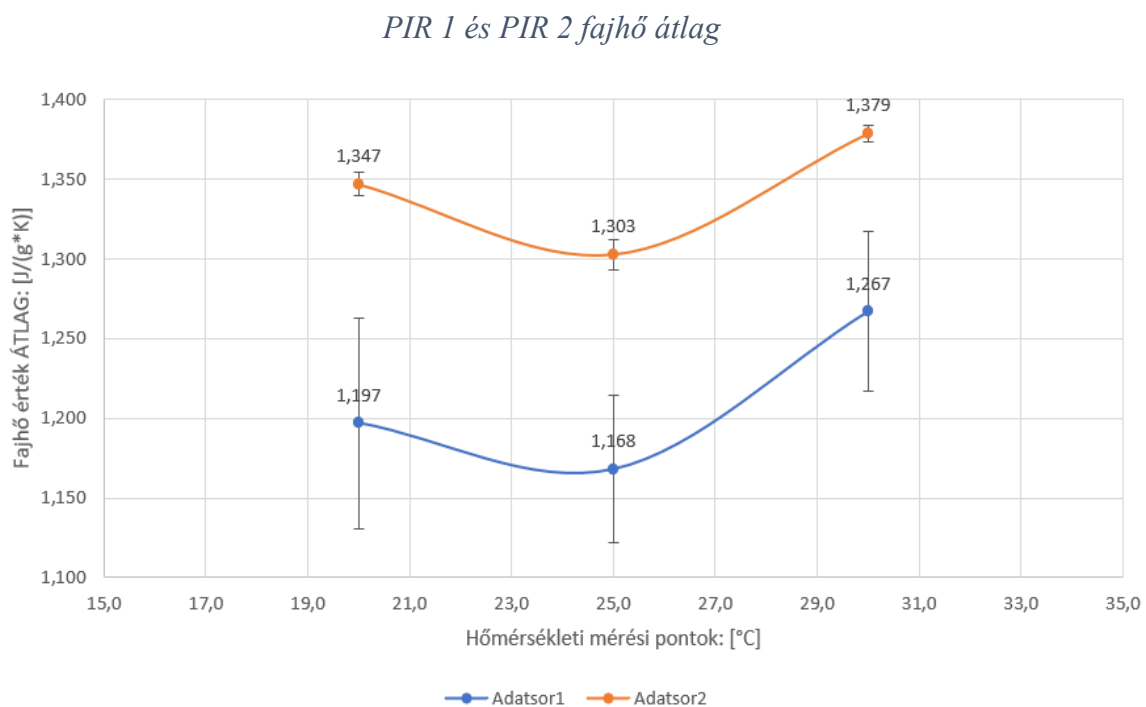


24. ábra: Átlag fajhő érték a hőmérsékleti mérési pontok függvényében

Közös diagrammban való ábrázolás:

PIR 1: *kék adatsor1*

PIR 2: *narancssárga adatsor2*



25. ábra: Átlag fajhő érték a hőmérsékleti mérési pontok függvényében

A PIR hőszigetelő anyaggal kapcsolatos mérésekhez további irodalmak, szabványok is a rendelkezésemre álltak. [22] [23] [24] [25] [26]

5.5 Infravörös abszorpciós vizsgálat

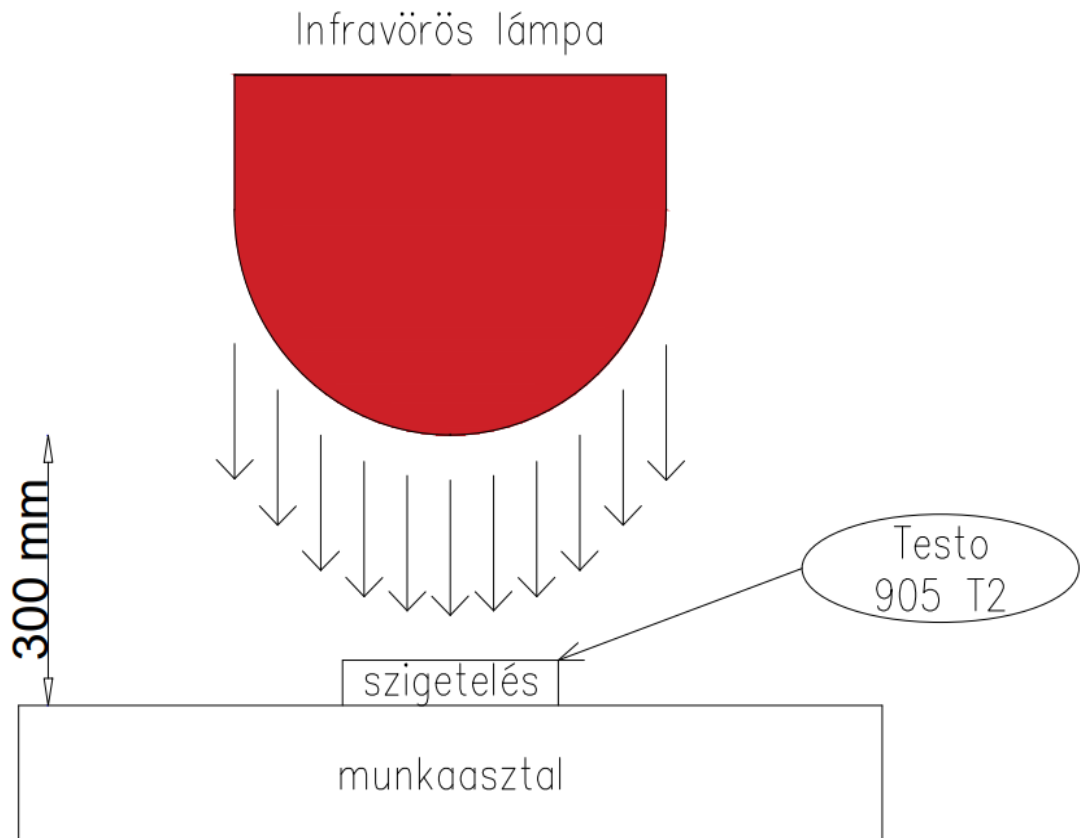
Az infravörös abszorpciós vizsgálat során összesen 4 hőszigetelő anyagot vizsgáltam, kétféle PIR-t, fehér EPS-t, valamint grafitos EPS-t. Ezeket a mintákat 10 cm * 10 cm méretben egymás mellé egy asztalra helyeztem, majd fentről, 30 cm magasságból infravörös lámpával világítottam meg. A megvilágítás során a hő az infravörös lámpából elektromágneses hullámok formájában terjed az alatta lévő mintadarabokra, és mikor eléri a szilárd felületet akkor annak az energiának egy részét a mintadarabok abszorpció révén felveszik, a többit visszaverik vagy átengedik. Az abszorpció felületi jelenség, ezáltal megnő a testek felületi hőmérséklete is. A vizsgálat során a következő forrásokat használtam: [22] [23]

A kiindulási állapot a következő volt:



26. ábra: Vizsgált hőszigetelő anyagok kiindulási, elrendezési helyzete

Az infravörös abszorpciós vizsgálat szimulációs ábrája:



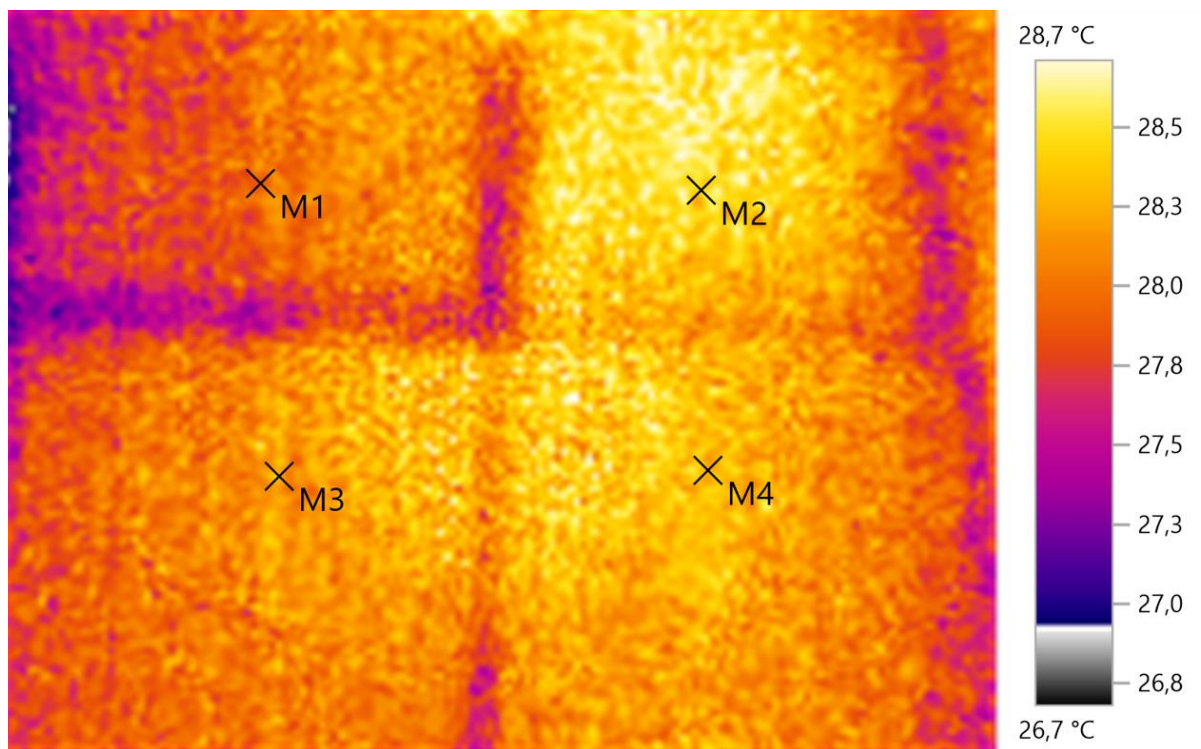
27. ábra: Infravörös abszorpciós vizsgálat

A felületi hőmérsékleteket a Testo 905 T2 típusú felületi hőmérővel mértem meg, illetve Testo hőkamerával fényképeket készítettem 30 másodpercenként a vizsgálat alatt, pontosan a 0 s, 30 s, 60 s, 90 s időintervallumokban.

A hőkamerával készített fényképek eredményei:

16. táblázat: Kiindulási helyzet: 0 [s] időpillanatban

Idő [s]	Anyag:	Jelölés:	Hőmérséklet: [°C]
0	PIR 2	M1	27,9
0	PIR 1	M2	28,5
0	FEHÉR EPS	M3	28,3
0	GRAFITOS EPS	M4	28,3

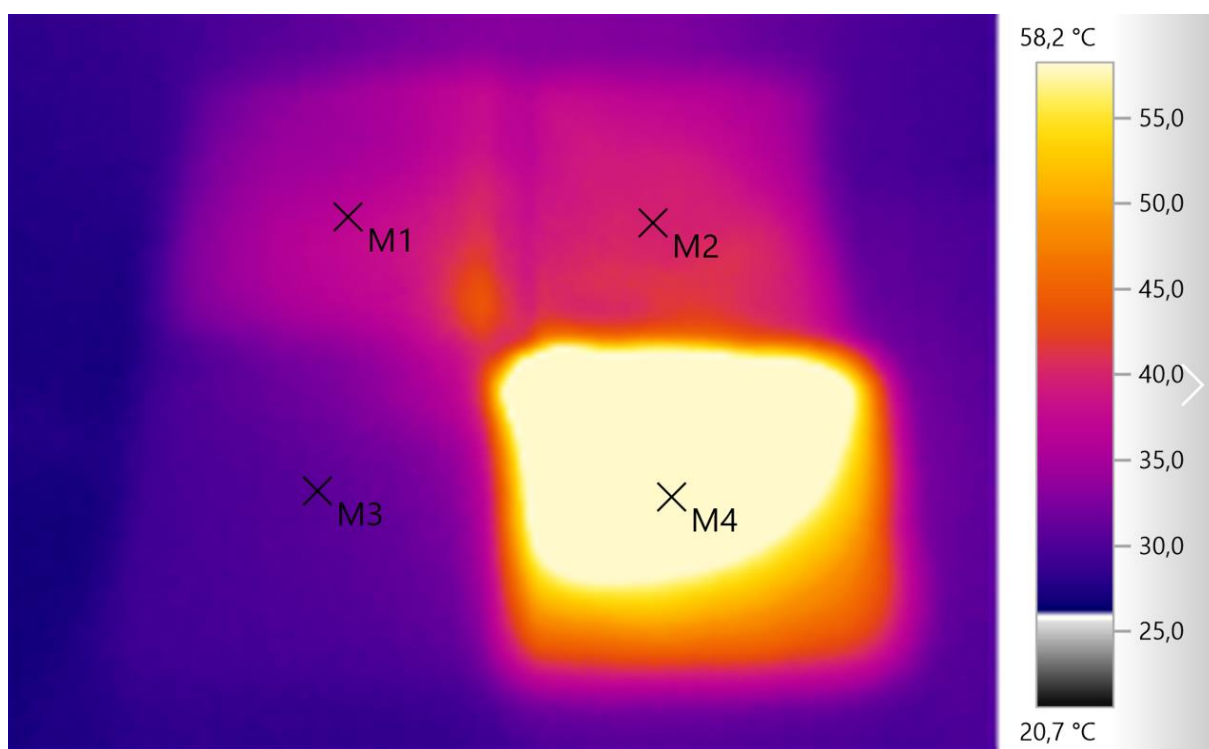


28. ábra: Infravörös abszorpció vizsgálat kiindulási helyzetben

A méréseket egy sötét kamrában végeztem el, a kezdeti felületi hőfok kb. 28 °C volt.

17. táblázat: Kiindulási helyzet: 30 [s] időpillanatban

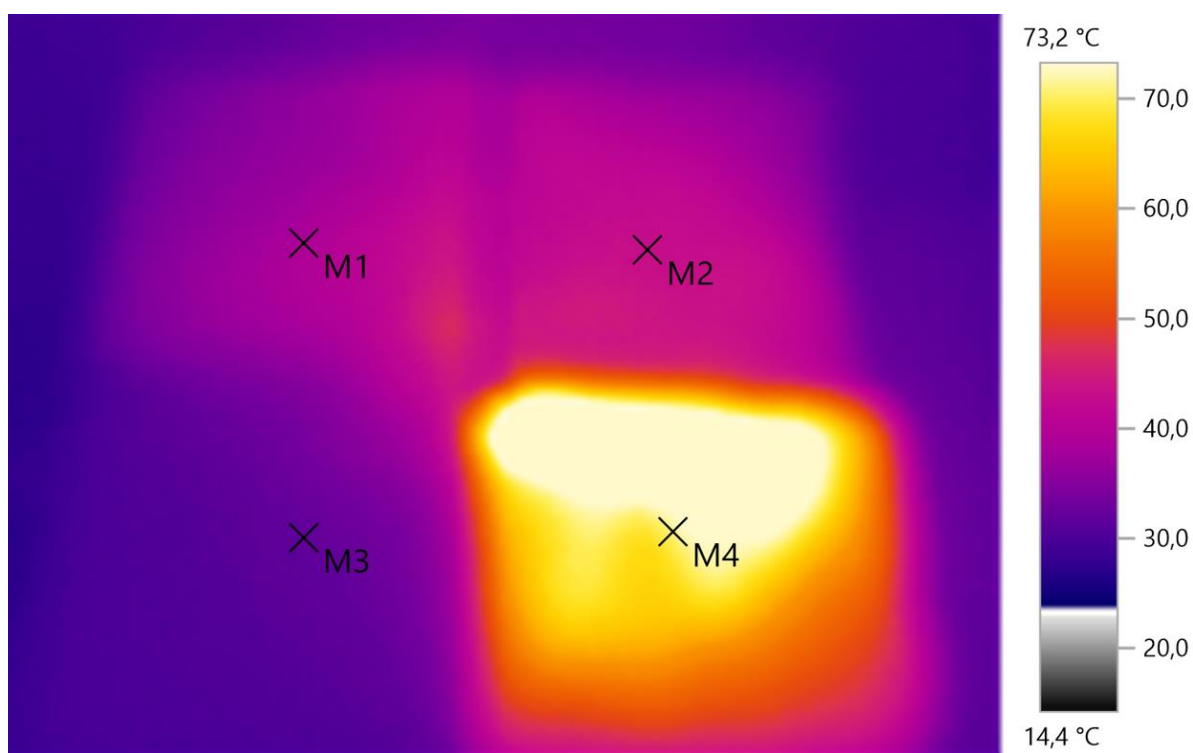
Idő [s]	Anyag:	Jelölés:	Hőmérséklet: [°C]
30	PIR 2	M1	36,8
30	PIR 1	M2	39,9
30	FEHÉR EPS	M3	30,4
30	GRAFITOS EPS	M4	66,6



29. ábra: Infravörös abszorpciós vizsgálat 30 [s] elteltével

18. táblázat: Kiindulási helyzet: 60 [s] időpillanatban

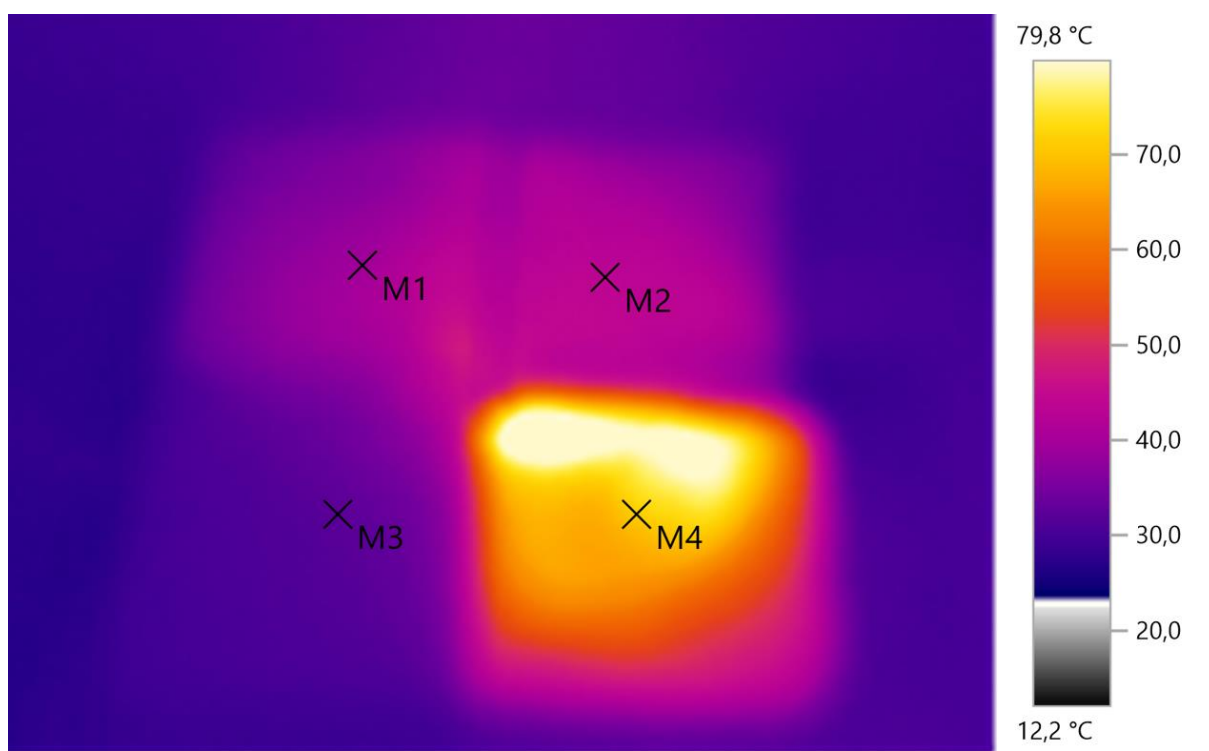
Idő [s]	Anyag:	Jelölés:	Hőmérséklet: [°C]
60	PIR 2	M1	38,9
60	PIR 1	M2	43
60	FEHÉR EPS	M3	32
60	GRAFITOS EPS	M4	71



30. ábra: Infravörös abszorpciós vizsgálat 60 [s] elteltével

19. táblázat: Kiindulási helyzet: 90 [s] időpillanatban

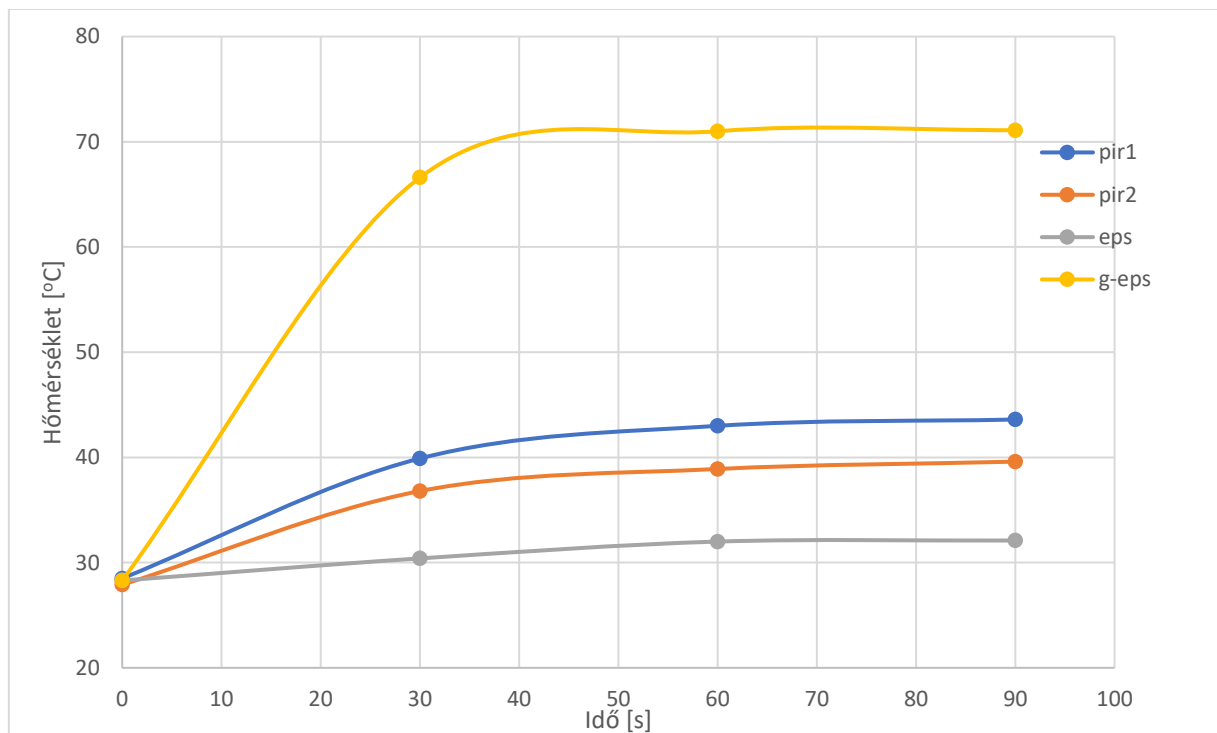
Idő [s]	Anyag:	Jelölés:	Hőmérséklet: [°C]
90	PIR 2	M1	39,6
90	PIR 1	M2	43,6
90	FEHÉR EPS	M3	32,1
90	GRAFITOS EPS	M4	71,1



31. ábra: Infravörös abszorpciós vizsgálat 90 [s] elteltével

Az eredményekből látható, hogy már 30 [s] elteltével is jócskán magasabb a grafitos EPS termék felületi hőmérséklete, mint a többi hőszigetelő anyagé, ezek hőmérséklete 90 [s] elteltével sem nőnek meg túlzottan, tehát ebből is látszik a sima EPS és PIR anyagok prioritása szemben a grafitos EPS termékkel.

A megvizsgált négyféle hőszigetelőanyag, idő elteltével való hőmérséklet növekedését összefoglalva egy diagramban ábrázoltam.



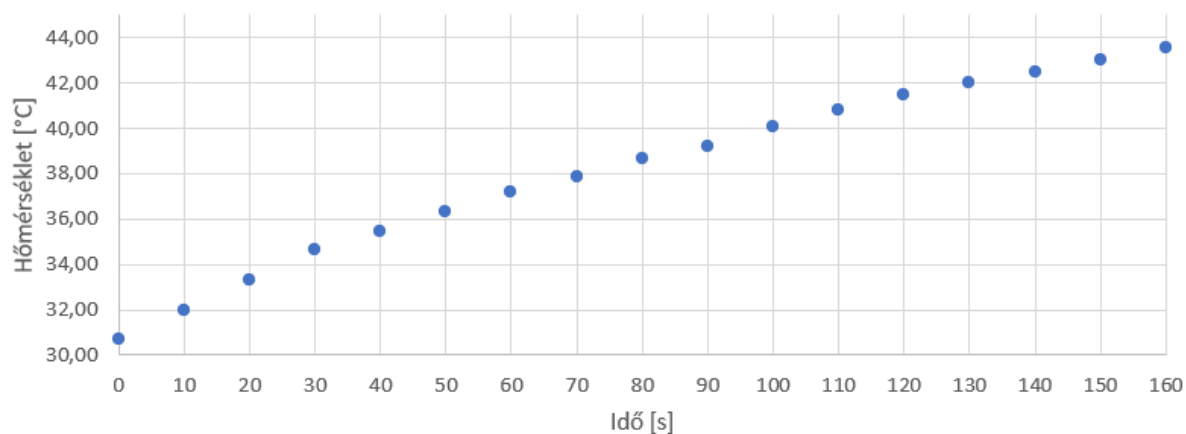
32. ábra: Hőszigetelő anyagok hőmérséklet növekedése

További felületi hőmérsékleti méréseket végeztem az infravörös lámpa megvilágítása alatt, a Testo 905 T2 típusú felületi hőmérővel 10 másodpercenként 0-160 [s]-ig, a PIR 1 és PIR 2 mintákra. Mintadarabonként 3 mérést végeztem, majd ezeket átlagoltam és a hőmérséklet növekedése függvényében ábrázoltam a mérések átlaghőmérsékletét 10 [s] időintervallumonként. Az eredmény szinte egy lineáris görbe lett, tehát majdnem lineárisan nő a felületi hőmérséklete az idő elteltével a vizsgált mintáknak.

20. táblázat: felületi hőmérsékletek átlaga a PIR 2 esetén

Idő	1. mérés	2.mérés	3. mérés	Átlaghőmérséklet
[s]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	26,6	32,8	32,7	30,70
10	28	32,9	35	31,97
20	28,9	33,7	37,3	33,30
30	29,8	34,5	39,6	34,63
40	30,7	35,4	40,2	35,43
50	31,5	36	41,5	36,33
60	32,3	36,5	42,8	37,20
70	33,1	37,3	43,1	37,83
80	34,1	38,4	43,5	38,67
90	34,8	39	43,8	39,20
100	35,4	39,9	45	40,10
110	36	40,5	45,9	40,80
120	36,6	41	46,8	41,47
130	37,6	41,2	47,3	42,03
140	38,5	41,6	47,4	42,50
150	39,3	41,9	47,9	43,03
160	39,8	42,3	48,5	43,53

PIR 2 átlag

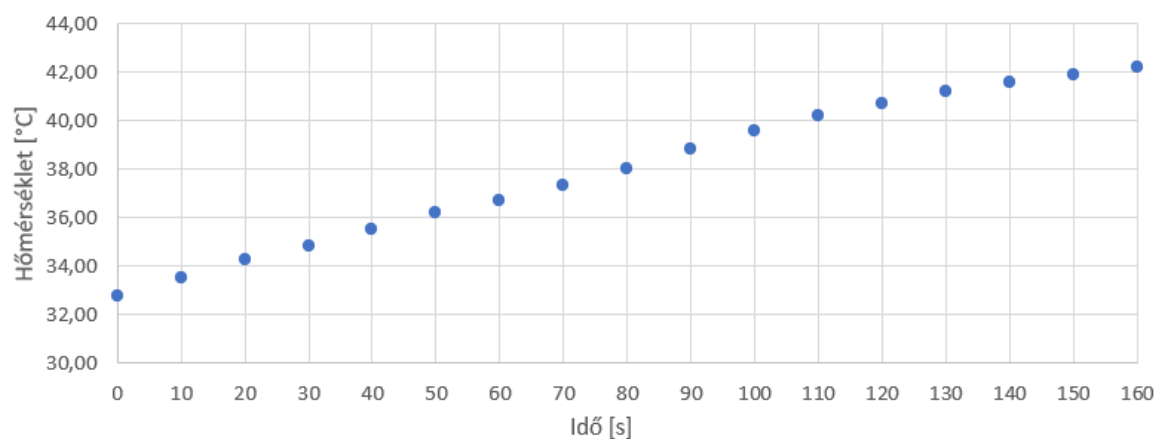


33. ábra: Átlaghőmérséklet az idő függvényében

21. táblázat: felületi hőmérsékletek átlaga a PIR 1 esetén

Idő	1. mérés	2.mérés	3. mérés	Átlaghőmérséklet
[s]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	32,7	35,3	30,4	32,80
10	32,8	35,3	32,4	33,50
20	33,9	36	32,9	34,27
30	34,6	36,9	33	34,83
40	35,4	37,5	33,7	35,53
50	36,1	38,3	34,2	36,20
60	36,8	39	34,4	36,73
70	37,7	39,8	34,6	37,37
80	38,6	40,5	35	38,03
90	39,5	41	36	38,83
100	40,2	41,5	37	39,57
110	41	41,9	37,8	40,23
120	41,4	42,3	38,5	40,73
130	42	42,8	38,9	41,23
140	42,5	43	39,2	41,57
150	42,9	43,3	39,5	41,90
160	43,3	43,5	39,8	42,20

PIR 1 átlag



34.ábra: Átlaghőmérséklet az idő függvényében

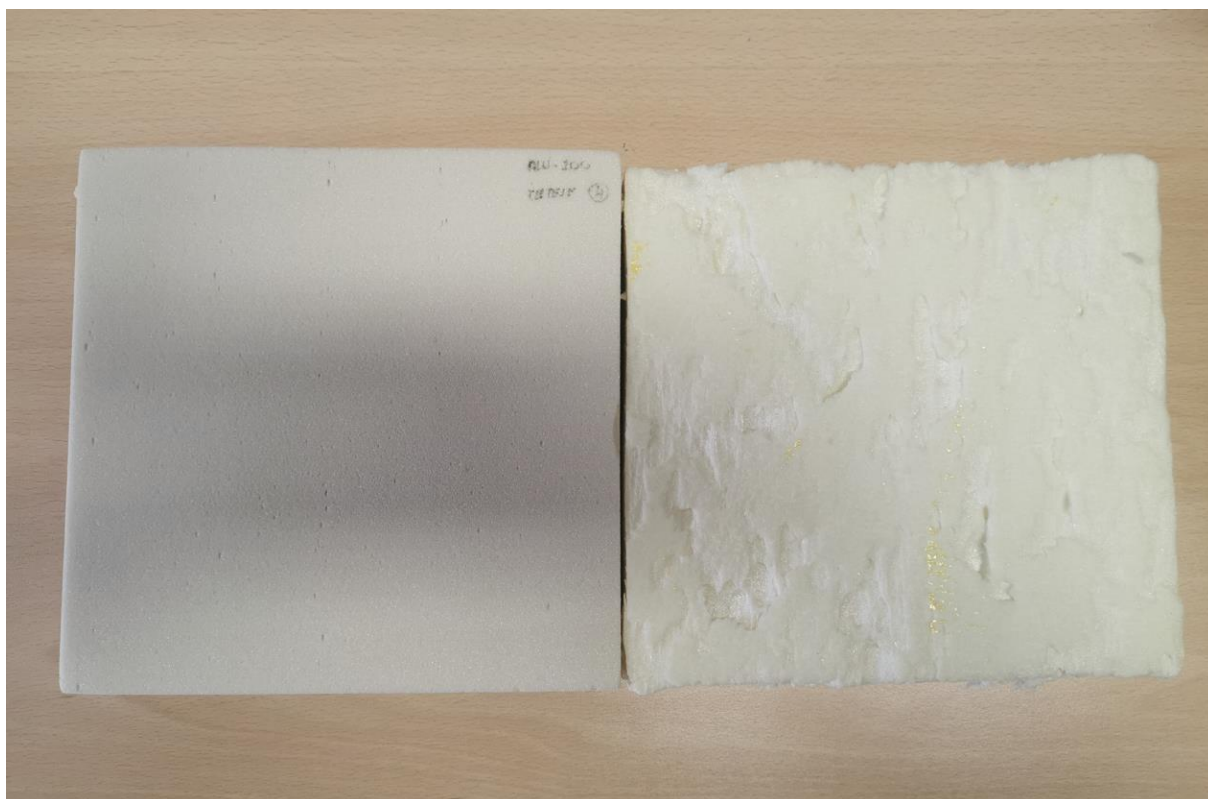
5.6 Mikroszkópos vizsgálat

A PIR 1 és PIR 2 minták felszínét mikroszkópai vizsgálatnak is alávettem, hogy ezáltal bizonyítsam a polimer habok zártcellás, porózus szerkezetét, amelyben a jó hőszigetelő képességű fűvógáz található. A polimerekről köztudott tény, hogy felületi rétegei sűrűbbek, mint a belső rétegek. A zártcellás és merev PIR hab élettartama alatt mechanikai sérüléseket szenved, amely során a külső levegő képes bediffundálni a habsejtekbe, a fűvógáz pedig kidiffundál belőlük, ez a folyamat hatással lehet a hab hőszigetelő képességére, mivel a bejutott levegő megváltoztatja az összetételét. Ez a jelenség a PIR hab öregedését okozhatja, ilyen tényezők lehetnek a környezeti levegőn kívül a napsugárzás, hőmérséklet, páratartalom, vegyi anyagok és mikroorganizmusok. Az anyag élettartama alatti megváltozott anyagtulajdonságok hatását nemigazán lehet megjósolni.

A kiindulási állapot a következő volt:

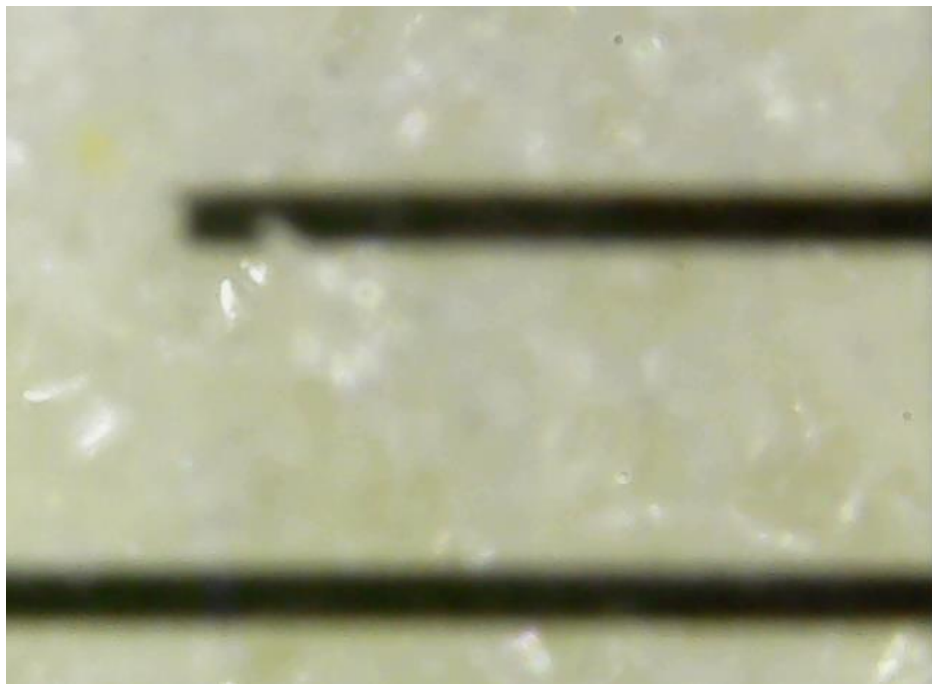
PIR 2

PIR 1



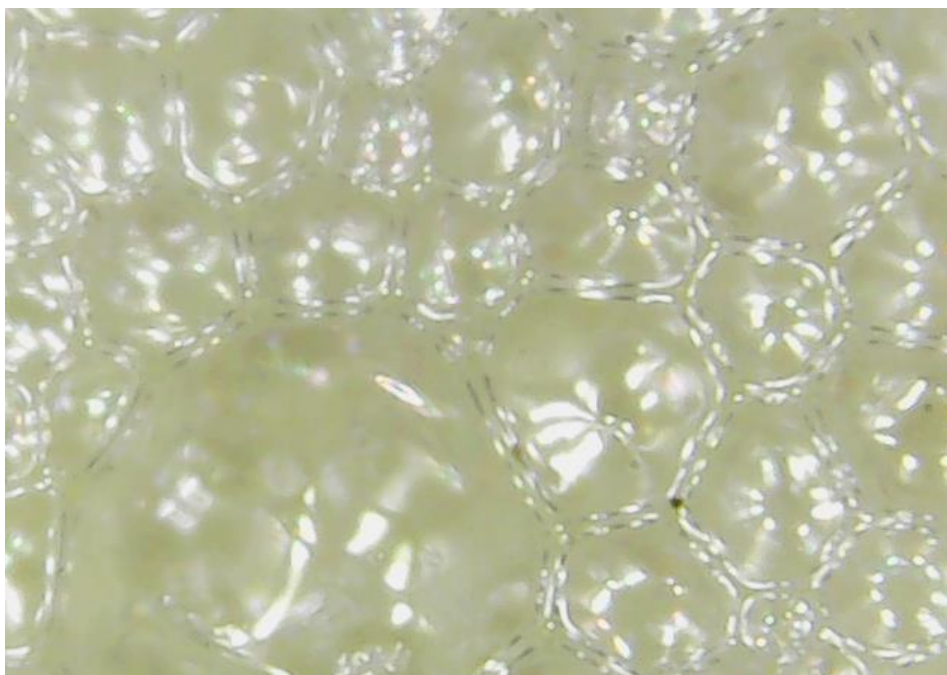
35. ábra: Mikroszkópai vizsgálat kiindulási helyzetben

A mikroszkópai vizsgálat során 40-szeres nagyítást használtam.



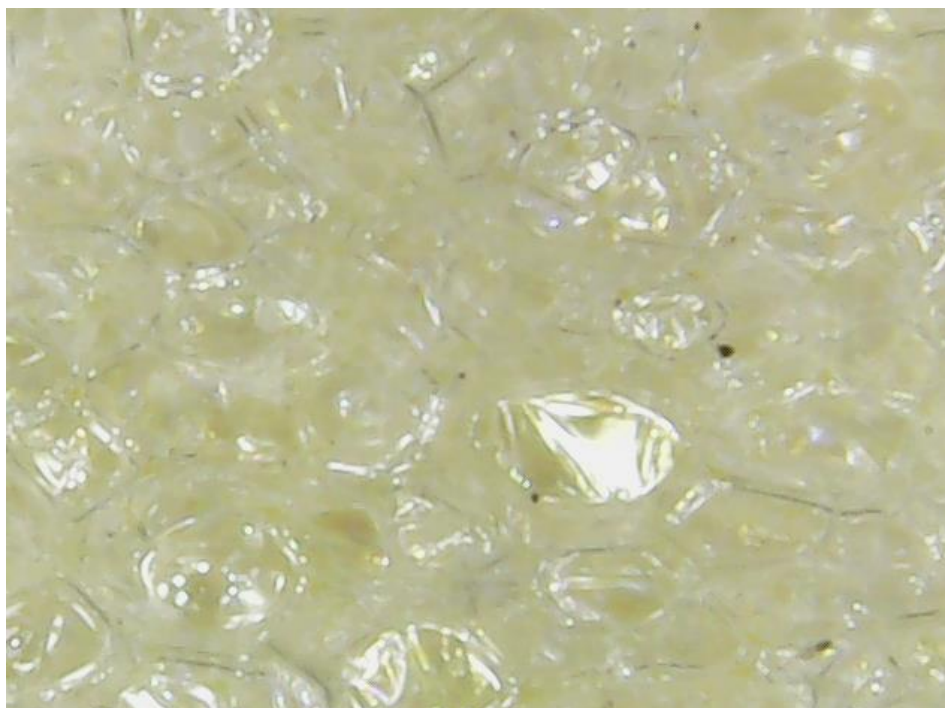
36. ábra: Mikroszkópiai nagyítás mértéke

A mikroszkóp képe PIR 1 esetén felülnézetből:



37. ábra: Mikroszkópiai nagyítás felülnézetből

A mikroszkóp képe PIR 2 esetén felülnézetből:

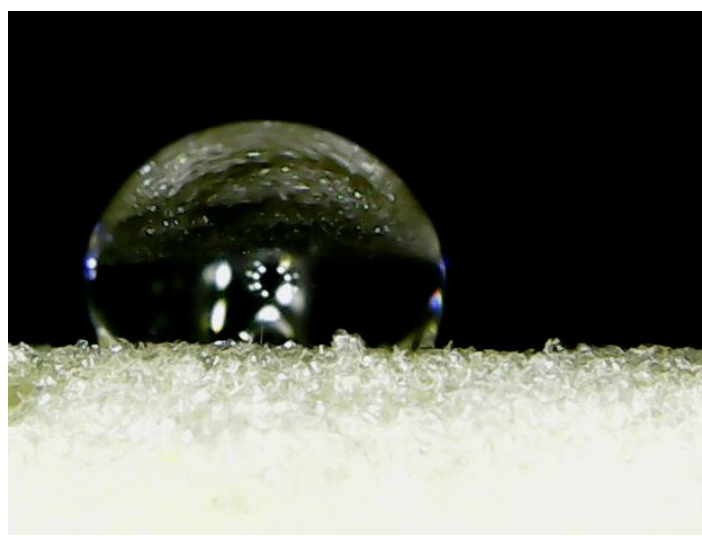


38. ábra: Mikroszkópiai nagyítás felülnézetből

A mikroszkópos képen szépen kivehető az anyagok zárt cellás szerkezete, valamint a cellák méhkaptár szerű elrendezése.

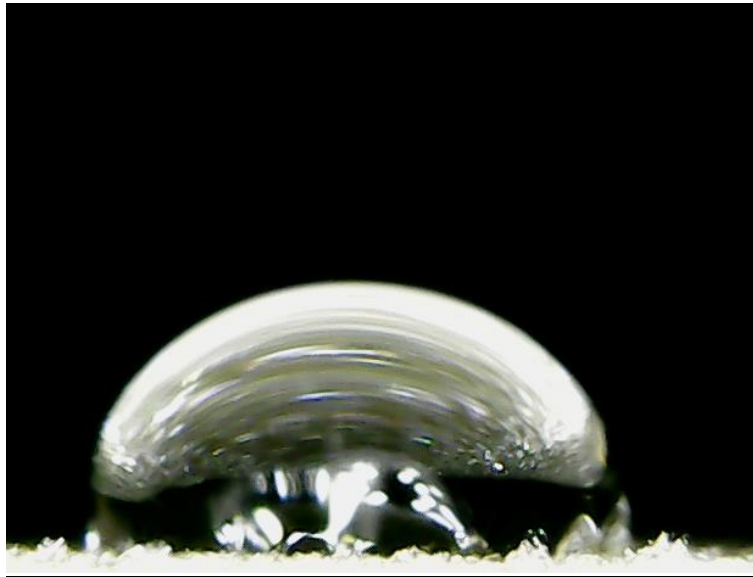
Hidrofób vizsgálatok:

A mikroszkóp képe PIR 1 esetén oldalnézetből:



39. ábra: Mikroszkópiai nagyítás oldalnézetből

A mikroszkóp képe PIR 1 esetén oldalnézetből:



40. ábra: Mikroszkópai nagyítás oldalnézetből

A mikroszkópai vizsgálatok segítségével bizonyítható a vizsgált PIR habok hidrofób tulajdonsága, ami azt jelenti, hogy felszínük víztaszító. Fecskendővel vizet szívtam fel, majd egyenként a mintákra cseppentettem, mikroszkóppal pedig oldalról megvizsgálva látható az eredmény. A vízcsepp felülethez való érintkezési szögéből lehet megállapítani, hogy hidrofób-e az adott anyag. [19]

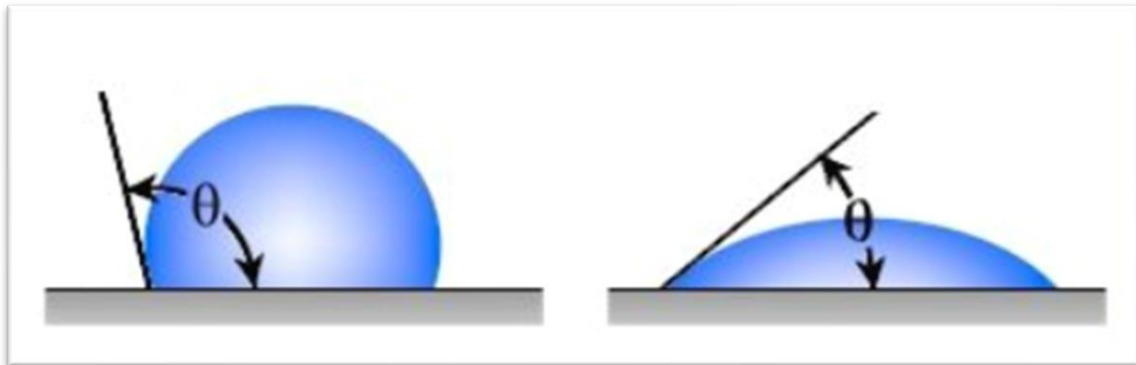
Az érintkezési szög úgy mérhető, hogy egy csepp folyadékot hozunk létre egy szilárd anyagon.

A szilárd/folyadék határfelület közötti szöget érintkezési szögnek nevezzük.

Ha az érintkezési szög nagyobb mint 90° , akkor a vízcsepp hidrofób, ami azt jelenti, hogy az anyag víztaszító lesz, rosszul fog nedvesedni, rossz lesz rajta a vízcseppek tapadása és alacsony a szilárd felület energiatartalma. A kis érintkezési szögű csepp hidrofil, ami jobb nedvesedő képességet, tapadást és nagyobb szilárd felületi energiát jelent. [19]

Hidrofób vízcsepp

Hidrofil vízcsepp



41. ábra: Hidrofób vagy hidrofil a vízcsepp [19]

Hidrofób vízcsepp:

- érintkezési szög: magas
- tapadóképesség: gyenge
- nedvességfelvevőképesség: gyenge
- szilárd felületek felületi szabadenergiája: alacsony

Hidrofil vízcsepp:

- érintkezési szög: alacsony
- tapadóképesség: erős
- nedvességfelvevőképesség: erős
- szilárd felületek felületi szabadenergiája: magas

Összefoglalás:

A dolgozatom célja az volt, hogy bemutassam a PIR hőszigetelő anyaggal kapcsolatos méréseket, illetve ezek által bizonyítsam előnyeit a terméktársaival szemben.

A dolgozatomban bemutatott legfőbb eredmények a következők:

Két különböző gyártmányú PIR típusú hőszigetelő anyag hőtechnikai tulajdonságait vizsgáltam meg.

- A 10 °C-on mért átlagos hővezetési tényező értékek 0,023 [W/m*K] és 0,022 [W/m*K].
- A 20 °C-on mért átlagos fajhő 1197 [J/kg*K] és 1347 [J/kg*K].
- Infravörös abszorpciós vizsgálataim kimutatták, hogy a PIR hőszigetelő anyagok ellenállóbbak, az egyik legfőbb versenytársukkal a grafitos polisztirollal szemben.
- Mikroszkópos vizsgálattal kimutattam az anyag zártcellás szerkezetét és hidrofób tulajdonságát.

Számos épületszerkezetünknel felmerülő probléma, hogy a rétegrendi kialakítás során nem áll rendelkezésre elegendő vastagság a hőszigetelés számára. Erre megoldás lehet a kedvezőbb hőszigetelő képességgel bíró anyagok használata, mint például a PIR keményhabok, melyek jobb hővezetési tényezővel rendelkeznek a hagyományosan használt hőszigetelő anyagokhoz képest. Ez pedig azt jelenti, hogy ezzel az anyaggal elég kisebb vastagságban dolgozni, ahhoz, hogy elérjük ugyanazt a hőátbocsátási értéket. Ez előnyünkre válhat akkor, ha pl. leszigetelünk egy társasházat, és az adott falszerkezetre csak feleakkora vastagságú PIR anyag kell, mint mondjuk EPS, és ezzel nagy területet nyerhetünk meg az építkezésen, ami több négyzetmétert is jelenthet, és ez elég drága terület lehet például egy fővárosi belső kerületi építkezésen. Talajra fektetett padló esetében egy felújításnál megvalósíthatatlan lenn 12 cm körüli hőszigetelési vastagság, hiszen ez a belső térből rengeteg teret venne el, viszont PIR anyagból a hőtechnikai szint akár 6 cm körüli értékkel is kevesebb lehet. Legfőbb előnye, hogy megoldást jelenthet a hőszigetelésre olyan helyeken, ahol a hagyományos hőszigetelő anyagok a nagyobb vastagság miatt már nem férnének el. Innentől könnyen kiszámolható, hogy mennyire éri meg ár-érték arányban a PIR keményhabbal való hőszigetelés.

Az anyag további előnyei, hogy szinte hőhídmentesen egymáshoz kapcsolható, abban az esetben, ha lépcsős vagy nutféderes élképzéssel kapcsoljuk őket egymáshoz, valamint az

általában kétoldali kasírozás miatt jó hőreflexiós képességgel is rendelkezik. Ezek mellett kiváló tűzállósági próbával rendelkezik, és gyenge a nedvességfelvétele is.

Véleményem szerint meggyőző hőszigetelő anyagoról van szó, ha csupán a végkifejletet fontos, nem pedig a hőszigetelő anyag ára, mivel lehet drágábbnak tűnik, de ha nagyobb lesz a szigetelt tér, akkor az ember komfort és térérzete is nagyobb lehet, ami pozitívan hathat.

Köszönetnyilvánítás:

„A TKP2021-NKTA-34 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

Hivatkozások

- [1] Á. Dr. Lakatos, Funkcionális rendszerek és működésük, Budapest: TERC Kft., 2013.
- [2] D. Bozsaky , Építési hőszigetelő anyagok, Budapest: TERC Kft., 2017.
- [3] F. Kalmár, Épületfizika, Nyíregyháza: Studium Kiadó, 2003.
- [4] F. Schifter és B. Dr. Tolvaj , Épületenergetika, Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011.
- [5] B. Dr. Író, Hő és áramlás, Győr : Universitas-Győr Kht. kiadó, 2007.
- [6] „Kontaktbau.hu,” [Online]. Available: <https://kontaktbau.hu/asvanygyapot-hoszigeles/>. [Hozzáférés dátuma: 05. 10. 2022.].
- [7] „Siohazcentrum.hu,” Rockwool, [Online]. Available: <https://siohazcentrum.hu/termek/homlokzat/homlokzat-hoszigeles/kozetgyapot>. [Hozzáférés dátuma: 14. 10. 2022.].
- [8] „Knaufinsulation.hu,” Knauf Kft., [Online]. Available: https://www.knaufinsulation.hu/remote_product/3389. [Hozzáférés dátuma: 20. 10. 2022.].
- [9] „Austrotherm.hu,” Austrotherm Kft., [Online]. Available: <https://www.austrotherm.hu/termek/austrotherm-xps>. [Hozzáférés dátuma: 01. 11. 2022.].
- [10] „Austrotherm.hu,” Austrotherm Kft., [Online]. Available: <https://www.austrotherm.hu/termek/austrotherm-eps>. [Hozzáférés dátuma: 01. 11. 2022.].
- [11] „Kreativlakas.com,” [Online]. Available: <https://kreativlakas.com/hoszigeles-anyagok/poliuretan-hab-gyartasa-tulajdonsagai-es-felhasznalasa/>. [Hozzáférés dátuma: 25. 10. 2022.].
- [12] „Iso-thermo.hu,” Bachl Kft., [Online]. Available: <https://iso-thermo.hu/termek/bachl-pir-mv/>. [Hozzáférés dátuma: 21. 10. 2022.].
- [13] „Unipur.hu,” [Online]. Available: <https://www.unipur.hu/szigeles-arak/>. [Hozzáférés dátuma: 03. 11. 2022.].
- [14] „Robinwood.hu,” [Online]. Available: <https://robinwood.hu/alapanyag/2016/02/kulonbseg-purhab-es-purhab-kozott/>. [Hozzáférés dátuma: 04. 11. 2022.].
- [15] „Bachl.hu,” Bachl Kft., [Online]. Available: <https://bachl.hu/szakemberek/72-pir-tablak-tarolasa-beepitese>. [Hozzáférés dátuma: 14. 10. 2022.].

- [16] „Aboutmechanics.com,” [Online]. Available: <https://www.aboutmechanics.com/what-is-polyisocyanurate.htm>. [Hozzáférés dátuma: 12. 11.].
- [17] „Mmm-medcenter.com,” [Online]. Available: <https://www.mmm-medcenter.com/venticell-61-venticell-111---ecoline18>. [Hozzáférés dátuma: 12. 11. 2022.].
- [18] „Analyzing-testing.netzsch.com,” [Online]. Available: <https://analyzing-testing.netzsch.com/en/products/thermal-conductivity/hfm-446-lambda-eco-line>. [Hozzáférés dátuma: 12. 11. 2022.].
- [19] „MSZ EN 12664:2001, Építési anyagok és termékek hőtechnikai viselkedése. A hővezetési ellenállás meghatározása segédfűtőlapos és hőárammérős eljárással. Közepes és kis hővezetési ellenállású száraz és nedves termékek.”.
- [20] „ISO 8301:1991, Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus/ Hőszigetelés. Az állandósult állapotú hőellenállás és a kapcsolódó tulajdonságok meghatározása. Hőáramlásmérő készülék”.
- [21] „EN ISO 10456:2007; Building Materials and Products. Hygrothermal Properties. Tabulated Design Values and Procedures for Determining Declared and Design Thermal Values. ISO: Geneva, Switzerland, 2007”.
- [22] „Tomas Makaveckas, Raimondas Bliudzius, Arunas Burlingis, Determination of the impact of environmental temperature on the thermal conductivity of polyisocyanurate (PIR) foam product, Journal of Building Engineering 41 (2021) 102447”.
- [23] „Umberto Berardi, Jelena Madzarevic, Microstructural analysis and blowing agent concentration in aged polyurethane and polyisocyanurate foams - Applied Thermal Engineering”.
- [24] „Y Yousefi and F Tariku Thermal Conductivity and Specific Heat Capacity Temperatures 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 2069 012090”.
- [25] „Marina Gravit, Aleksey Kuleshin, Elina Khametgalieva and Irina Karakozova Technical characteristics of rigid sprayed PUR and PIR foams used in construction industry 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 90 012187”.
- [26] „Molleti, S.; Van Reenen, D. Effect of Temperature on Long-Term Thermal Conductivity of Closed-Cell Insulation Materials. Buildings 2022, 12, 425”.
- [27] „Pan, J.; Chen, F.; Cabrera, D.E.; Min, Z.; Ruan, S.; Wu, M.; Zhang, D.; Castro, J.M.; Lee, J.L. Carbon particulate and controlled hydrolysis assisted extrusion foaming of semicrystalline polyethylene terephthalate for the enhanced thermal insulation prope”.
- [28] „Pan, J.; Zhang, D.; Wu, M.; Ruan, S.; Castro, J.M.; Lee, J.L.; Chen, F. Impacts of Carbonaceous Particulates on Extrudate Semicrystalline Polyethylene Terephthalate Foams: Nonisothermal Crystallization, Rheology, and Infrared Attenuation Studies. Ind. Eng”.
- [29] „Ramehart.com,” [Online]. Available: <http://ramehart.com/contactangle.htm>. [Hozzáférés dátuma: 12. 11. 2022.].