

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki
Tanszék



Szórt poliuretánhab, illetve aerogéllal kevert szórt poliuretánhab hőtechnikai paramétereinek vizsgálata

**Szerző: Csontos Máté II. éves létesítménymérnöki MSc
szakos hallgató**

Egyetemi tanár, illetve tanszékvezető: **Prof. Dr. Lakatos Ákos**

Debrecen
2024.

Tartalomjegyzék

Bevezetés

A témában írt tudományos cikkek

1. Hőterjedési folyamatok az épületszerkezetekben	9
1.1 A primerenergia felhasználása	9
1.2 Hőterjedés, hővezetés, hővezetési tényező	10
2. Hőszigetelő anyagok	12
2.1 Hőszigetelő anyag fogalma	12
2.2 Hőszigetelő anyagok jellemzői, tulajdonságai	13
2.3 Hőszigetelő anyagok csoportosítása	13
3. Poliuretánhab	14
3.1 Tulajdonságai	17
3.2 Szórt poliuretánhab szigetelés a gyakorlatban	18
4. Aerogél hőszigetelés	20
4.1 Tulajdonságai	20
4.2 Aerogél hőszigetelés a gyakorlatban	21
5. Poliuretán, illetve aerogéllal kevert szórt poliuretán vizsgálata	24
5.1 Mérési folyamat.....	25
5.2 Felhasznált berendezések bemutatása.....	26
5.3 Hővezetési tényező mérése.....	27
5.4 Mikroszkópos vizsgálat	37
5.4 Hidrofób vizsgálatok	41

Bevezetés

Az elmúlt években fokozatosan növekedő energiaárak (földgáz, villamos energia) rávilágították az emberiség figyelmét arra, hogy a felhasznált energiát csökkenteni kell. A fejlődő országok globális alapterülete évről évre növekszik, valamint a társadalom komfortigénye és életszínvonala is változik, ami a jövőben jelentősen meghatározza majd a világ energiafelhasználását. Szerencsére a világ számos országának alapvető szempontjává vált az energiatakarékosság, amely a jövőben talán még nagyobb szerepet kap majd, ugyanis az energiafogyasztás és energiakibocsátás csökkentése az épületszektorban elengedhetetlen ahhoz, hogy a világ társadalma alacsony széndioxid kibocsátású társadalommá váljon. Az energetikai követelmények évről évre szigorodnak, általános társadalmi érdekké vált a fűtési energiaigény minimalizálása, azonban energiafogyasztás csökkentésének tekintetében az épületfizika mellett a felhasználói magatartás is szintén egy kulcsfontosságú szempont.

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. Ehhez számos hőszigetelő anyag áll rendelkezésre ugyanis az egyre növekvő környezettudatosság jelentősen hozzájárult a szakág fejlődéséhez.

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 műanyag habok.

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, valamint az aerogéllal kevert poliuretánt, mint hőszigetelő anyagot, illetve a velük 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.

A témában írt tudományos cikkek

A dolgozatom témaválasztása igencsak időszerű, amit jól tükröz, hogy a világon számos különböző tudományos cikk született a témával kapcsolatosan, amelyek remek eredményeinek köszönhetően számos ágazat profitálhat. Ezekből a szakcikkekből szeretnék néhányat bemutatni, és reflektálni más kutatók kimagasló eredményeire.

Nastaran Nazeran és Jafarsadegh Moghaddas, iráni kutatók szilika aerogél erősítésű kemény poliuretán hab szintézisét és hőszigetelő alkalmazásra való jellemzését vizsgálták cikkükben. A szilika aerogél tartalom 0-5tömeg% mértékig terjedt, és a különböző aerogél tartalom mellett vizsgálták a szilika aerogél poliuretán nanokompozitokat. Több tényezőt vizsgáltak a kompozitokban, többek között a hővezetőképességet, vízzel való érintkezés esetén az érintkezési szöget, sűrűséget, készítenek FTIR elemzést, amelyben a FTIR spektrum a mintákban lévő anyagok kémiai kötéséről nyújt információt (Fourier transzformációs infravörös (FTIR) spektroszkópia) illetve elvégeztek Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) elemzést, amelynek segítségével a nanokompozitok mechanikai tulajdonságait határozták meg. [6]

Az eredmények szerint a szilika aerogél hozzáadása jelentős javulást eredményezett a tulajdonságokban, ami elsősorban a szilika aerogél megfelelő diszperziójának, valamint a kölcsönhatásának volt köszönhető. A hővezető képesség és a vízzel érintkezési szög értékekből azt találtuk, hogy a szilika aerogél tartalom növelésével a nanokompozitok hővezető képessége csökkent és a hidrofób tulajdonság pedig javult (24,14%). Emellett az általuk kimutatott eredmények azt mutatták, hogy a nanokompozitok mechanikai tulajdonságait és sejtmorfológiáját erősen befolyásolta a szilika aerogél tartalom és a diszperzió jellege. A szilika aerogél tartalom 3 tömeg%-ra való növelésével az átlagos sejtméret csökkent. Emellett a modulus és a folyási feszültség a szabad emelkedés irányában 18,63%-ra, illetve 13,83%-ra nőtt meg. Az 5 tömeg%-os szilícium-dioxid aerogél tartalomnál azonban a sejtméret növekedése és a mechanikai tulajdonságok romlása figyelhető meg. [6]

Seunghwan balra, Umberto Berardi, Sam Di Loreto, Sumin Kim kutatók cikkükben az aerogél-grafit mikroszerkezetét és termikus jellemzését vizsgálták, valamint referencia

poliuretán spray-habot és aerogél-grafit-poliuretán spray-hab kompozitot készítettek, valamint hasonlítottak össze. Először az aerogél részecskét gyanta segítségével grafittal egyesítették 1:1 arányban, ez lett a „B” komponens, majd az „A” komponenst az izocianátot adták hozzá és permetezőgép segítségével 50°C hőmérsékleten kifújták. Elvégezték a mintákon a hővezetési tényező méréseket, a pásztázó elektronmikroszkópia mérést 1 cm térfogatú kivágott mintán, valamint gyúlékonysági vizsgálatot, termogravimetriás elemzést a hőstabilitás vizsgálata érdekében és egy dinamikus hőátadási kísérletet. [7]

Eredményeiket tekintve a referencia poliuretánhoz viszonyítva a poliuretán-aerogél-grafit kompozit kevésbé sűrű anyag és jobb hőszigetelő tulajdonsággal rendelkezik, és elhanyagolhatóan kis különbségek voltak a mikroszerkezeti geometriában. A sűrűség csökkenése, illetve ezek a mikroszerkezeti különbségek az aerogél hozzáadásának köszönhetőek. Az aerogél kevésbé volt sűrű, mint a PU, ami alacsonyabb sűrűséget, kisebb sejteket és kisebb sejtfalakat eredményezett. A hővezető képesség vizsgálata javulást mutatott ki a poliuretán-aerogél-grafit kompozitban a referencia poliuretánhoz képest. Ezek valószínűleg a nagy vezetőképességű grafittáblák hozzáadásának tudhatók be, amelyek javították a tűzállóságot. Egy égésgátló teszt azt mutatta, hogy a kompozit füsttermelése csökkent a referencia poliuretánhoz képest. Egy dinamikus hőátadási kísérlet azt mutatta, hogy a kompozit felületi hőmérséklete körülbelül 10 %-kal csökkent a referencia poliuretánhoz képest, ellentétben a hővezető képességgel. Ennek oka az aerogél alacsony hővezető képessége volt, ami akadályozta a hőáramlást. [7]

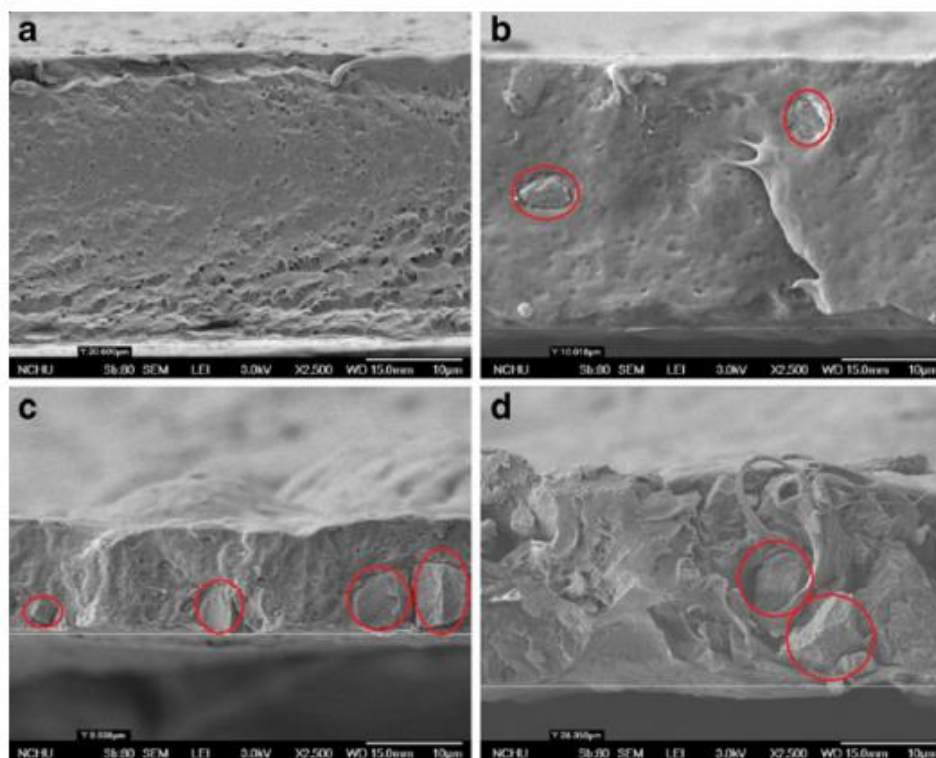
B. Merillas, A. Lamy-Mendes, F. Villafane, L. Duraeus, MA. Rodríguez-Pérez Pérez
kutatók, A poliuretán habok szigetelőképességének javítása poliuretán aerogél bevonattal: a szigeteléstől a szuperszigetelésig című cikkükben szintén a poliuretán hab, poliuretán-aerogél kompozitok vizsgálatait mutatták be. Három különböző poliuretán hálós habot vizsgáltak, amelyek azonos sűrűségűek, de különböző pórusméreteket használtak (S névvel a kicsi, M a közepes, és L a nagyokat). Kutatásuk célja az volt, hogy tanulmányozzák a hab pórusméretének hatását a végső tulajdonságokra, így több vizsgálatot végeztek a sűrűség, a zsugorodás, porózus szerkezet, mechanikai tulajdonságok és hővezető képesség tekintetében. Összegezve kimutatták, hogy a poliuretán hab és az aerogél közötti kölcsönhatás azt mutatja, hogy az összes kompozit mintát a hab pórusaiba zárt, folyamatos aerogél hálózat alkotja, és valamennyi kompozit nagy rugalmasságot mutat. A kompozitok nagyobb szilárdságot és csökkenő hővezetést mutattak. Ezenkívül a PU habok pórusmérete

erősen befolyásolja a kompozitok végső sűrűségét, ha a pórusméretet növeljük. A végső kompozitokban lévő szilika aerogél százalékos aránya valóban magas, 72 és 82% között. Az általuk mért értékek nemcsak a szilícium-dioxid-erősítés hatékonyságát igazolják a hálós poliuretán hab révén, javítva azok merevségét, szívósságát és porózus szerkezetét, hanem megtartják a korábban még nem elért nagyon alacsony hővezetőképességet is. Így a hálós PU habok megerősítik a szilícium-dioxid aerogélt. [8]

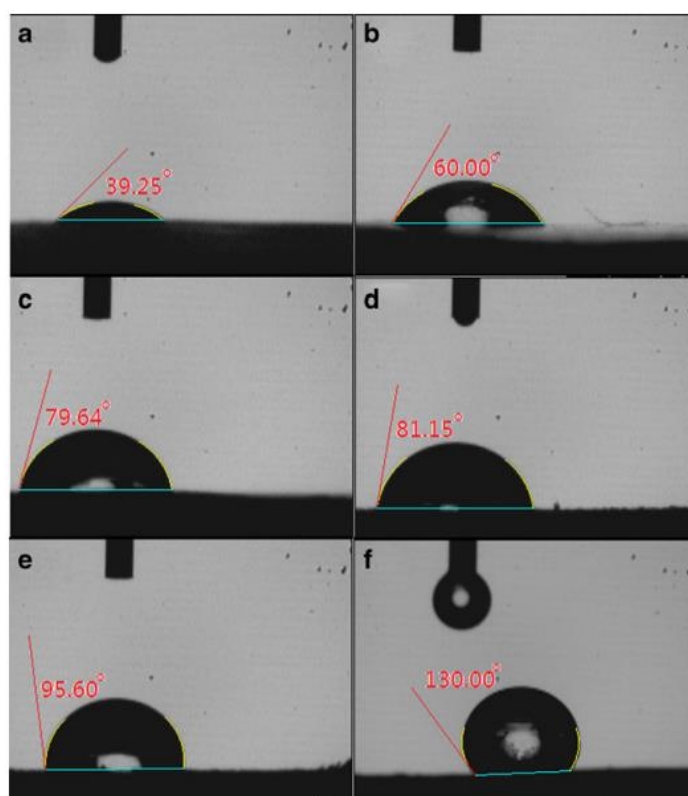
Guang Yang, Xueyang Liu, és Vitali Lipik kutatók cikkükben szilika aerogél erősítésű poliuretán habok lábbelikhez való alkalmazásának lehetőségét vizsgálták. Nanocellás szerkezetet hoztak létre a poliuretán habba való szilícium-dioxid aerogélek beépítésével, és az így kapott habokat lábbeli alkalmazásokhoz értékelték. A törékeny aerogélek törés elleni védelme érdekében a habok lágyságát először a glicerín és a polipropilén-glikol arányának megváltoztatásával alakították ki. Ezután különböző mennyiségű szilícium-dioxid aerogélt (0-15 tömeg%) töltöttek a poliuretán habba és elemezték a nyomómechanikai tulajdonságokat, az ütés-csillapító teljesítményt és valamint a lábbeli hőszigetelését. Az aerogélek hozzáadása után egyértelműen javult a kompozitok nyomómodulusa, nyomófeszültsége és alakváltozás-visszaállása, miközben a kiváló rugalmasság megmaradt. Elvégeztek egy ütésvizsgálatot, ahol a vizsgált minták ütés-csillapítását dinamikus ütési tesztekkel értékelték. A teszteket ikerhuzalos repülőkarral ellátott ütközőgépen végezték. Minden habmintát 23 °C-on és 65%-os relatív páratartalommal előkondicionáltak vizsgálat előtt. A szimulált járáskísérletek során pedig kimutatták, hogy a habok ütés-csillapító képessége nőtt az aerogél tartalom növekedésével, valamint azt, hogy az ütés-csillapító képesség akár 45%-kal csökkenti a hővezető képességet, ha 15 tömeg%-os aerogél koncentrációt vizsgálnak. A javított hőszigetelő képesség a nanocelluláris szerkezet szilárd fázisban való felépítéséhez és a gázfázisban bekövetkező változásokhoz kapcsolódik. [9]

Kai-Jay Chang, Yen-Zen Wang, Kuan-Csen Peng, Huang-Shian Tsai, Jia-Ru Chen, Ching-Tang Huang, Ko Shan Ho, Wan-Fu Lien kutatók cikkükben a szilika aerogél és poliuretán kompozitokat készítettek és vizsgáltak, különböző hőszigetelési alkalmazásokra. Különböző térfogatarányokban keverték össze az aerogél/poliuretán kompozitot. A következő ábrán látható a pásztázó elektron keresztmetszeti mikroszkópos felvétele, a szilícium-dioxid aerogélek felülete/poliuretán kompozittal különböző szilika aerogél

térfogat arányokban: a 0/100, b 15/85 c 25/75 és d 35/65. A piros körök szilícium-dioxid aerogélt mutatják láthatóan. [10]



1.ábra: Pásztázó elektronmikroszkóp képe a különböző térfogatarányú aerogél és poliuretán hab kompozitban [10]



2.ábra: Az érintkezési szögek vízcsepp a szilika aerogél/poliuretán kompozit felületen, különféle szilika aerogéllal kevert térfogatarányokban [10]

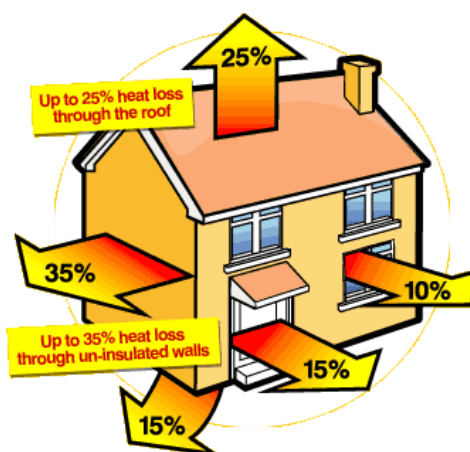
Az érintkezési szögek vizsgálatánál a kutatók által összekevert aerogél/poliuretán térfogatarány a következő volt: a 0/100, b 5/95, c 15/85, d 25/75, e 35/65 és f 100/0. Következtetésként arra jutottak, hogy a szilícium-dioxid aerogél/poliuretán kompozitokba, a szilika aerogél részecskék szinte minden esetben hatékonyan belemerülnek a poliuretán kompozitba, és a szilika aerogél megnöveli a víz érintkezési szögét és csökkenti a kompozit hővezető képességét. A szilícium-dioxid aerogél/poliuretán kompozitok jobb hidrofóbb tulajdonsággal rendelkeznek, mint a sima poliuretán. A kutatók szerint a szilika aerogél/poliuretán optimális összetétele 35/65 (v/v). Az optimális kompozitok vízzel érintkezési szöge $95,6^\circ$, hővezető képessége $\frac{W}{m \cdot K}$. [10]

A tudományos cikkek tanulmányozása részben szerepet vállalt témaválasztásom során, ebben a dolgozatban igyekeztem reprodukálni a szilika aerogél és poliuretán alapú kompozitokat és méréseket végezni a sima és aerogéllal kevert poliuretán mintadarabokon.

Hőterjedési folyamatok az épületszerkezetekben

1.1 A primerenergia felhasználása

Az emberiség primerenergia-felhasználása az ipari forradalom óta fokozatosan növekszik, a második világháború óta pedig az exponenciális függvény képéhez hasonlatos, tehát arra következtethetünk, hogy egy véges mennyiségről van szó, hiszen hamarabb sikerül felemészteni, mint ahogyan a természetben újra felhalmozódna. Az energiafelhasználást tekintve megfigyelhető, hogy az épületek teszik ki a legnagyobb hányadát a teljes energiafelhasználásnak (29%), az ipar (28%), a közlekedés (28%), többi (15%) pedig a szolgáltató szektor. A fenntarthatóság szempontjából természetesen minden szektorban kívánatos a csökkenés. A háztartások tekintetében az egyik szempont lehet az épületeink megfelelő és szakszerű szigetelése. Egy átlagos épületet tekintve a teljes hőveszteség 35%-a, a külső falszerkezet mentén, 25%-a, a tetőszerkezet mentén, 15%-a, a talajon fekvő padlón, 25%-a, a nyílászárókon keresztül távozik. Ezeket a százalékos értékeket befolyásolhatja azonban, az épület tájolása, földrajzi elhelyezkedése, geometriája, építészeti kialakítása. [1]



3.ábra: Egy átlagos lakóépület hőveszteségeinek megoszlása [13]

Az épületek utólagos hőszigetelésével csökkenthetjük az épületszerkezeten végbemenő hőterjedést, vagyis az átáramló hőveszteséget, amivel jelentős fűtési és hűtési energiaigény takarítható meg, valamint hozzájárul az épületben tartózkodó emberek kellemes hőérzetéhez is.

1.2 Hőterjedés, hővezetés, hővezetési tényező

A hő többféle módon terjedhet az épületszerkezetekben, amelyeket hőszugárzásnak, hőáramlásnak, hővezetésnek nevezünk, ezek közül pedig mindhárom mechanizmus részt vesz a hőterjedésben, amelyeket numerikusan együtt a hővezetési tényezővel írhatunk le. A hővezetés jelensége 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. [2] [3] [4]

Az épületszerkezeteket alkotó anyagok hővezetési képességét ($+10^{\circ}\text{C}$) adják meg. A hővezetési tényező adja meg az anyagok hővezetési képességét (λ , $\text{W/m}\cdot\text{K}$) megmutatja, hogy egységnyi felületű és vastagságú anyagon mekkora hőmennyiség áramlik egységnyi idő alatt, az anyag két határoló oldalán mért hőmérséklet függvényében. A hővezetési tényező 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. [2] [3] [4]

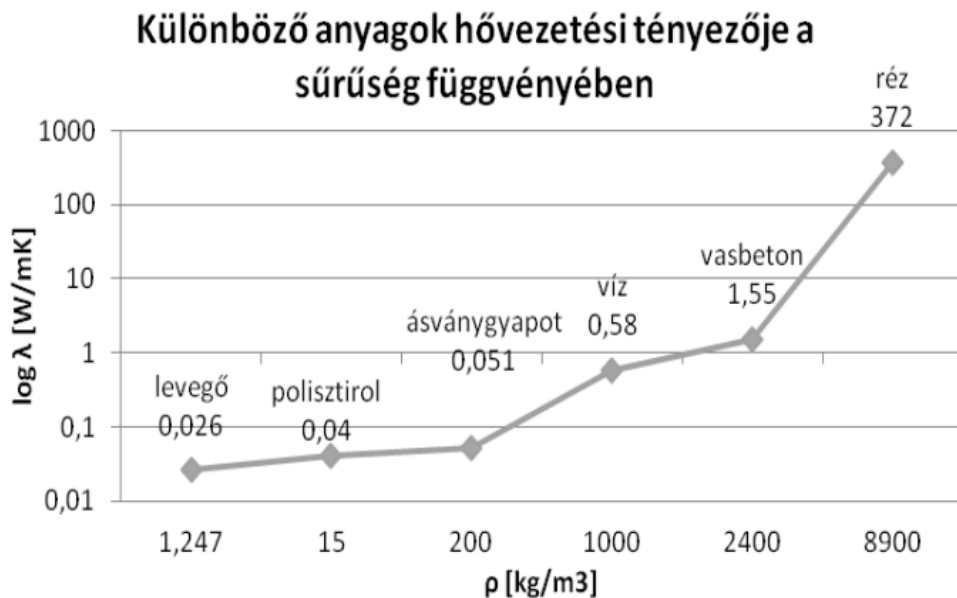
Az anyag hővezetési tényezőjének nagysága az alábbiaktól függ: [2] [3] [4]

- *Testsűrűség:* Általánosságban igaz, hogy egyenesen arányos a hővezetési képességgel.
- *Hőmérséklet:* Amorf anyagok esetén a hőmérséklet növekedésével nő a hővezetési tényező, kristályosanyagok esetén a hőmérséklet növekedésével pedig csökken a hővezetési tényező.
- *Nedvességtartalom:* A víz hővezetési tényezője jóval magasabb a levegőjénél, ezért ha víz kerül a hőszigetelő anyagba, az jelentősen rontja az anyag hőszigetelő

képességét.

- *Pórusok mérete és elrendezése:* A pórusok az elrendezést tekintve lehetnek nyíltak és zártak, a nyílt pórusok esetében nagyobb lesz a levegőmozgás, ami rosszabb hőszigetelési képességet jelent a zárt pórusokkal szemben, valamint kisebb hőmérsékletkülönbség lesz a kisebb méretű pórusok külső és belső oldala között, tehát kisebb lesz a légáramlás, azaz jobb a hőszigetelési képesség
- *Levegőtartalom vagy fűvógáztartalom:* Minél nagyobb a levegő, fűvógáz tartalom, annál nagyobb a hőszigetelési képesség.

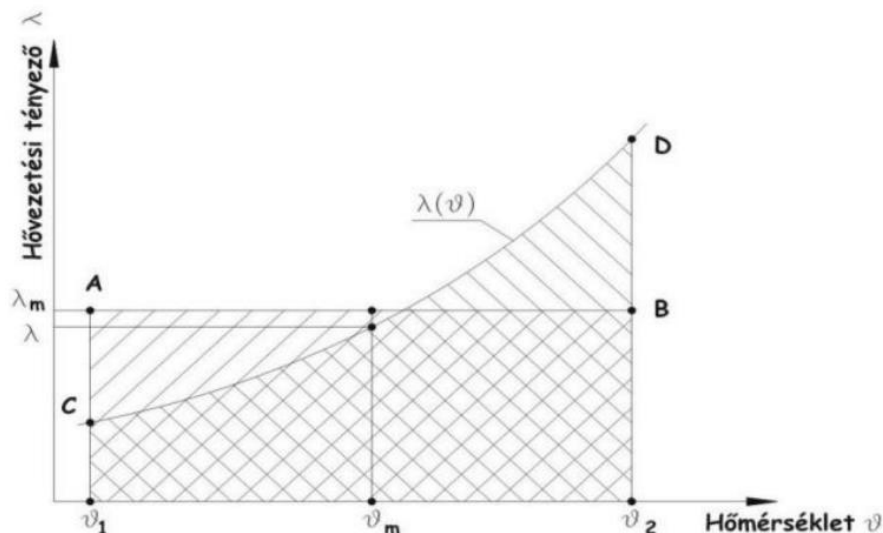
A hővezetési tényező és az anyagsűrűség függése:



4.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:



5.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. [1]

A hővezetési tényező ($R, \frac{m^2 \cdot K}{W}$) ismeretében számítható ki a hővezetési ellenállás, ami már nem egy adott szerkezetet felépítő anyagra, hanem magára az egész szerkezetre vonatkozik. Az értéke egyenlő az adott szerkezeti anyag vastagságának és hővezetési tényezőjének a hányadosával. Ha egy szerkezet több rétegből áll, akkor sorosan összeadandók az egyes rétegeket alkotó anyagok hővezetési ellenállásai. Az erdő ellenállás a szerkezet ellenállása, valamint a külső és belső hőátadási ellenállások összege lesz. [1]

2. Hőszigetelő anyagok

2.1 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 szálak, 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]

2.2 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

2.3 Hőszigetelő anyagok csoportosítása

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

Előállításunk szerint lehetnek:

- Természetben megtalálható hőszigetelő anyagok:
 - parafa
 - expandált fagyapot
 - cellulózszigetelés
 - nádlemez
 - szalmabála
 - len-kenderrost
 - pamut, gyapjú

- Mesterségesen előállított hőszigetelő anyagok:
 - szálal hőszigetelő anyagok:
 - azbeszt
 - kőzetgyapot
 - üveggyapot

 - habosított hőszigetelő anyagok
 - expandált polisztirolhab
 - extrudált polisztirolhab
 - **poliuretánhab**
 - fenolhab
 - habüveg

 - ömlesztett hőszigetelő anyagok
 - duzzasztott agyagkavics
 - duzzasztott perlit
 - duzzasztott üvegkavics

 - hőszigetelő falazóelemek
 - kerámiaanyagú gyártmányokat
 - agyagkötésű porszénhamu alapú gyártmányokat
 - kovaföld alapú gyártmányokat

- magnézium-karbonát alapú gyártmányokat
- pórusbeton termékeket
- nanotechnológiás hőszigetelő anyagok
 - vákuumpanel hőszigetelés
 - **aerogél hőszigetelés**
 - nanokerámias hőszigetelő festékek
 - szürke színű expandált polisztirok
 -

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

A csoportosításból látható, hogy az értekezésben vizsgált mindkét hőszigetelő anyag mesterségesen előállított hőszigetelő anyag, a természetben nem megtalálhatóak, előállításuk különböző gyártási folyamatok során megy végbe.

A következőben bemutatom részletesen a két anyagot.

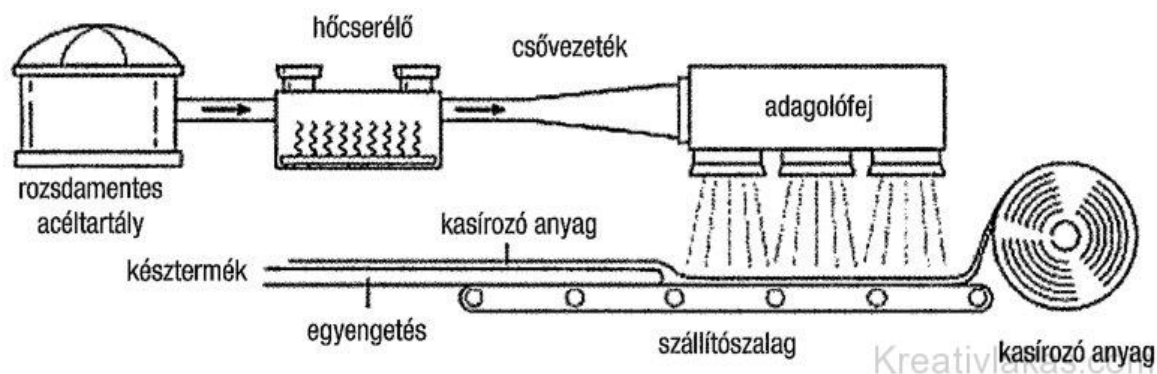
3. Poliuretánhab

A poliuretánhabok a műanyaghabok közé tartozó hőszigetelő anyagok, amelyek kémiai úton, úgynevezett poliaddíciós eljárással során készülnek. Kiszerezését tekintve táblás, illetve diszpegrált formában is alkalmazhatóak, a táblás kiszerezés cellaszerkezete zárt, míg a szórt kiszerezés cellaszerkezete lehet zárt és nyitott is egyaránt. [1] [2]

A zárt cellás szórt poliuretán megoldás lehet az épületek víz-és hőszigetelésére is egyaránt. A poliuretán egy poliaddíciós műanyag. Előállításához di- és poliizocianátokat valamint di- és polioloikat használnak fel, amelyek egymással reakcióba lépve hosszú polimerláncokat és poliuretánokat képeznek, amennyiben a reakció vizet és/vagy karbonsavat is tartalmaz. [1] [2]

A gyártási folyamat a tárolással kezdődik, a folyékony anyagokat egy rozsdamentes tartályban tárolják, ahol folyamatosan keverik lapátok segítségével, ezzel megőrizve az anyagok folyékony állagát. 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:



6.ábra: A táblás poliuretán-gyártás folyamata

3.1 Tulajdonságai

A poliuretán esetén megkülönböztetünk poliuretán táblás és szórt poliuretán hőszigeteléseket. A poliuretánt az építőiparban legtöbbször szigetelőlemezként hőszigetelési céllal használják, továbbá tömítőanyagként alkalmazzák az ablakkeret-tömítésekénél, de az iparban hűtőgépek hőszigetelésére is gyakran alkalmazzák. [2]

A poliuretán hőszigetelések jó hővezetési tényezőjük, jó hőszigetelési képességüket a szerkezetüket felépítő zárt cellákba zárt pentángáznak köszönhetik, mivel a pentángáz majdnem kétszer jobb hőszigetelő képességű, mint a levegő. Mechanikai szilárdsága viszonylag magas, tehát alkalmazható lapostetők szigetelésére is, ahol nagyobb igénybevételnek van kitéve. A zárt cellás szerkezet további prioritása, hogy nedvességterhelés ellenére is elenyésző a vízfelvétele. További előnyei, az alaktartás, időállóság, ellenállóképesség a gombokkal és penészekkel szemben. A poliuretán fontos elasztomer, gyakran használják szövetmembránokhoz is. [2]

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. Előnyös tulajdonságai egyformák a táblás hőszigetelésekkel, előnyére válik mégis, hogy levegő hatására elkezd habosodni, majd ezáltal tágulni. A szórt poliuretánhab felületre való fújása viszonylag gyorsan kivitelezhető, a legtöbb felülethez gond nélkül tapad hézagmentes szigetelést kialakítva, amivel csökkenti az esetleges hőhidak veszélyét. A felvitelt vagy kifújást követően a szigetelőanyag 1:100 arányban tágul. Gyorsan és

egyszerűen lehet vele dolgozni, kapható kisebb flakonokban, melyből kifújhatóak, a réskitöltő tulajdonsága kiváló, ezért lehetővé teszi a szigetelést a nyílászáró tokok és a falszerkezet között. A szórt poliuretánhabbal, szinte teljesen meggátolható a konvekciós hőmozgás a szerkezetekben lévő üregek között. Gyulladás hőmérséklete 120 °C körül mozog, tűzvédelmi besorolási osztálya: B2, testsűrűsége 35-65 $\frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig 0,030 $\frac{W}{m \cdot K}$ körül van, fajhő értéke pedig 1400-1500 $\frac{J}{kg \cdot K}$. [2]

3.2 Szórt poliuretánhab szigetelés a gyakorlatban

A szórt poliuretán szigetelőhab két folyékony halmazállapotban lévő különböző komponens egymással való reakcióba lépése során, meghatározott keverési arány függvényében egy magasnyomású berendezés segítségével, a szigetelendő felületre való fújással kerül kivitelezésre a gyakorlatban. [2]

Az egyik alapanyag környezetbarát gyantakomponens, közönséges szójaolaj, a másik pedig duzzasztó hajtóanyag. A két anyag két különböző tartályban van a fújás előtt, keverőfej segítségével a berendezés megfelelő arányban összekeveri a két anyagot, majd a keverék egy rugalmas tömlőn jut el a habszóró fejekhez, amellyel a nagyobb felületek is rövid idő alatt kifújhatóak. Az egyenletes keverés érdekében megegyező hőmérsékleten kell a két anyagot tárolni, illetve a tömlőn és fejekben keresztül kifújni, ezért a magasnyomású berendezés minden eleme fűthető, hogy a folyamat végig állandó hőmérséklet mellett menjen végbe. A keverés során a hőhatás, illetve a vegyi hatások miatt az anyag gázosodik, és ennek következtében zárt sejtstruktúrával rendelkező anyag jön létre. [2]

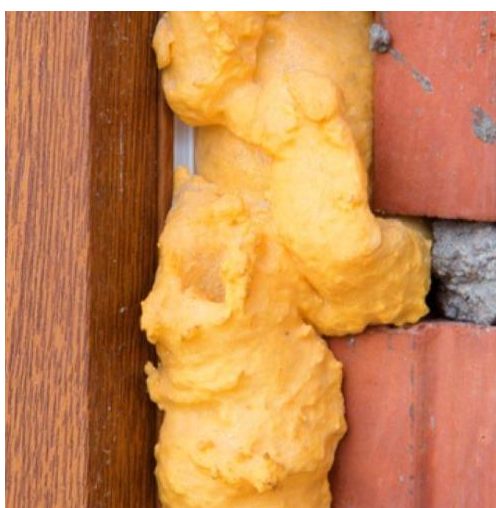
A felületre történő fújást követően a kezdeti folyékony állapotban lévő anyagból, néhány másodperc alatt habréteg képződik, amely finom hálós, zártcellás réteget képez, ami percek múlva a hőfejlődés hatására kikeményedik. Nyitott cellás, szórt poliuretánhab jellemzően hangszigetelő anyagként használható, azonban alkalmas tartószerkezetek, tartóváz közötti hőszigetelésre is, a nyitott szerkezet következtében azonban elhanyagolhatatlan a belső oldalra párazáró fólia. A zárt cellás, szórt poliuretánhab szinte bárhol alkalmazható, nem igényel külön párazáró réteget a szerkezetben, a szórt poliuretánhab általában 3-5 cm fölött válik párazáróvá, így alkalmazható lábazati-, aljzat-, padlásfödém-, pinceszigetelésre is egyaránt. Alkalmas továbbá lapostetők szigetelésére is, azonban a megfelelő UV-sugárzási védelemről minden esetben gondoskodni kell. [2]



7.ábra: padlásfödém szórt poliuretán hőszigetelése [14]



8.ábra: tartószerkezet szórt poliuretán hőszigetelése [14]



9.ábra: szórt PUR szigetelés [15]

4. Aerogél hőszigetelés

Az aerogél az eddig ismert anyagok közül az egyik legkisebb sűrűségű hőszigetelő anyag, amely mesterségesen kerül előállításra, szilárd, porózus, ultrakönnyű szerkezetű, úgynevezett gélből származik oly módon, hogy folyékony komponenset gáznemű anyaggal cserélnek ki az előállítás során. [2]

A történelem során először Sameul Stephens Kistler és kollégája Charles Larneddel készített ilyen gél, amely szilícium-dioxidból (SiO_2) készített úgynevezett szilikagél volt.

A szilika aerogélek nyitott porózus anyagok. A későbbiekben azonban bizonyossá vált, hogy többek között az alumínium-oxid, a króm-oxid, és az ón-dioxid is alkalmas aerogél előállítására. Elterjedését tekintve a 2000-es évek után vált ismertté széleskörben, szálerősítést követően, amelyből egy rugalmas, kiváló hőszigetelési tulajdonságokkal rendelkező anyag lett. [2]

A gyártási folyamat alapja az úgynevezett szol-gél módszer, amely három lépésben történik. Elsőként szilárd szemcsék, kolloid, és szerves oldószer összekeverésével kolloid szuszpenzió készül, amit szolnak is nevezünk, aztán amikor az anyagot mesterségesen lehűtik, zselatinformájú gélle alakul át. Ezt követően elpárologtatják a folyékony komponenset. A párologtatást megelőzően a gél liofilizálni kell, amely egy fagyasztásos szárítási eljárást jelent, rögzítve ezzel a gél alakját, különben összezsugorodna amennyiben ez normál a folyamat normál hőmérséklet mellett menne végbe. Aztán olyan fagyasztó vákuumedénybe helyezik a gél, amelyben szublimál, vagyis úgy távozik el a fagyott gélből a folyékony halmazállapotú komponens, hogy elpárolog a folyékony halmazállapot kihagyása mellett. A végeredményként pedig a gél kaptárszerű szerkezete marad, amely celláiban lévő folyékony komponens helyét levegő veszi át, állagra habhoz hasonlít, ezt a habot nevezzük aerogélnak. [2]

Az aerogél hőszigeteléseket általában ellátják üvegszál vagy műanyag erősítéssel azért, hogy fokozzák mechanikai szilárdságát, ellenállóképességét. [2]

4.1 Tulajdonságai

Az aerogél érintést követően könnyű, és szilárd hab érzést kelt, kis terhelés hatására sem szenved nagymértékű maradó alakváltozást, azonban erős nyomás mélyedést képezhet rajta.

Amennyiben struktúrája változik, az radikális mértékben, üveggé tud darabokra törni. A szilícium-dioxid aerogélek legfőbb hátránya a törékenyséjük és érzékenyséjük viszonylag kis igénybevétel mellett. Emiatt számos kutató összpontosította erőfeszítéseit a szilícium-dioxid aerogélek mechanikai tulajdonságainak javítására különböző erősítési technikákkal. Ilyen módszer lehet például a polimer térhálósítás, a rost beépítés vagy szén nanocsövek hozzáadása többek között. Ezeknek a megerősítő stratégiáknak az egyik fő hátránya az, hogy nehéz a töltőanyagokat homogén módon eloszlatni az aerogél szerkezete mentén. Emiatt egy másik érdekes stratégia egy olyan porózus anyag aerogéllal való megtöltésén alapul, amely eleget tesz, mint mechanikai támasz. Tehát a szilícium-dioxid aerogélek előnyeit legjobban kompozit anyag előállításával lehet kihasználni, szilika aerogél és hagyományos hőszigetelő anyag kombinálásával. [2] [8] [9] [10] [11]

A szilika aerogél porózus, kiváló hőszigetelő képességű anyag, amelynek optikai áteresztőképessége igen nagy a látható területen. Hőszigetelő tulajdonságát molekulaláncának köszönheti, amely egydimenziós és nanoméretű. Pórusszerkezetében korlátozott a konvektív hőterjedés, részecskéinek apró méretű érintkezési felületeinek köszönhetően a nanoszerkezetben a hővezetés is csekély mértékű. A nanopórusok kisebbek az infravörös sugárzásnál, ezáltal a cellák visszaverik, vagy szétszórják a hősugárzást. A szilícium-dioxid aerogél törésmutatója, hangsebessége alacsony, amorf, illetve kémiaiilag inert anyag. Gyulladás hőmérséklete 650 °C körül mozog, tűzvédelmi besorolás szerint nem éghető anyag, testsűrűsége 60-80 $\frac{kg}{m^3}$ közé tehető, hővezetési tényező értéke pedig 0,012-1,021 $\frac{W}{m \cdot K}$ körül van, fajhő értéke pedig 750-840 $\frac{J}{kg \cdot K}$. [2] [8] [9] [10] [11]

4.2 Aerogél hőszigetelés a gyakorlatban

Az aerogélek tulajdonságaik szerint a tudományos és ipari alkalmazások széles köréhez egyaránt megfelelő jelöltek. A szilícium-dioxid aerogélek a tudományban szerepet vállalnak a katalízisben, megtalálható részecskedetektorokban (Cserenkov detektorok), olajadszorpció folyamatában, illetve az űrhajózási ágazatban részecskefogóként, kriogén folyadék visszaszorítóként és tűzkésleltetőként. A szilícium-dioxid aerogélek alkalmazásának további része pedig a hőszigetelésen alapul. [2] [8] [9] [10] [11]

Az aerogél szigetelések széleskörben alkalmazhatóak, azonban áruk magasabb kategóriába sorolható terméktársaival szemben, a szilika aerogélek csökkenthetik a hőszigetelés súlyát. Gyakran javítják épületszerkezetek különféle hőtechnikai problémáit aerogél hőszigeteléssel, emellett alkalmasak kis energiájú épületek, és passzívházak hőszigetelésére is. Hőhídmegszakító elemként alkalmazzák monolit vasbeton szerkezetek esetén, illetve nyílászáró-csatlakozások körében. Rugalmas tulajdonságának köszönhetően kiváló megoldást jelent különféle formájú épületelemek hőtechnikai tulajdonságainak javítására. Aerogél hőszigetelésből a gyakorlatban beszerezhetünk aerogél hőszigetelő paplant, aerogél öntapadó hőszigetelő csíkot, transzparens hőszigeteléseket.

A szilika aerogél paplan tulajdonképpen üvegszál térhálóbba ágyazott aerogél. Különböző hőmérséklet és vastagságtartományban kapható tekercses kiserelésű kompozit anyag. A paplan előnye, hogy flexibilis, bármely felületre könnyen rögzíthető. A porózus szilika aerogél számos területen használható hőszigetelőként, például szigetelő takaróként. Az aerogél hőszigetelő csíkot főként hőhídmegszakító elemként használják, de előszeretettel építik be előregyártott könnyűszerkezetes épületek falaiba, ezzel a kivitelezést meggyorsítva. Az aerogél transzparens hőszigetelések előnye pedig, hogy a Nap sugárzási energiáját átengedik. Két különböző fajtáját különböztetjük meg, az egyik a monolit aerogél hőszigetelés, a másik pedig az aerogél granulátum. Ezeket a típusokat a gyakorlatban főként üvegfelületek közé töltik, hogy az aerogél kitöltéssel javítsák a nyílászáró transzparens hőszigetelését. [2] [8] [9] [10] [11]



10.ábra: Aerogél paplan hőszigetelés [16]



11.ábra: Aerogél granulátum [17]

A különböző mérések során kétféle aerogél típust használtam, az egyik a kwark aerogél granulátum a másik pedig cabot aerogél típusú granulátum. A két szilika típusú aerogélt alapanyagként kevertem a poliuretánhoz annak kulcsfontosságú tulajdonságainak javítása érdekében.

A kwark aerogél többféle részecskeméretben kapható, hővezetési tényező értéke $0,012 \frac{W}{m \cdot K}$ körül mozog, $-195 \text{ }^{\circ}\text{C}$ és $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ között stabilan viselkedik, részecskeméretét tekintve $0,01\text{-}3,5 \text{ mm}$ nagyságig gyártják a különféle alkalmazásokhoz. Nem gyúlékony anyag, nincs égve csepegés és nem szabadul fel mérgező füst az égésekor, súlya viszonylag könnyű, sűrűsége $75 \frac{kg}{m^3}$. Kiszerezését tekintve lehet zsákos, vagy laza, ömlesztett anyag és granulátum vagy por formában kapható a piacon. [18]

A cabot típusú aerogél paraméterei hasonlóak, hővezetési tényező értéke $0,012 \frac{W}{m \cdot K}$, részecskeméretét tekintve $0,01\text{-}1,2 \text{ mm}$ nagyságig terjed, kémiaiilag stabil, hidrofób, könnyű, sűrűsége: $75\text{-}95 \frac{kg}{m^3}$. között van. [19]

5. Poliuretán, illetve aerogéllal kevert poliuretán hőszigetelés vizsgálata

A különböző típusú aerogél részecskék bizonyítottan javítják a poliuretán habot szigetelés, valamint a mechanikai tulajdonságok vagy az égésgátlás szempontjából, ilyenek például a grafén aerogélek, alumínium-oxid aerogélek, fenolos aerogélek, vagy a leggyakrabban használt szilícium-dioxid aerogél. A bemutatott mérések során használt aerogél szilícium-dioxid alapú aerogél. A poliuretán habok használata számos előnnyel jár más anyagokkal szemben. Ezek a habok költséghatékonyságukról, könnyű súlyukról, kiváló mechanikai tulajdonságaikról és hőszigetelő képességükről ismertek, illetve széles körben alkalmazhatóak. Ezenkívül a polimer váz homogén hordozóként működik a szilícium-dioxid alapú aerogél mátrix számára. A polimer vázként használt poliuretán javítja a szilícium-dioxid mechanikai tulajdonságait, amellet, hogy a poliuretán hőszigetelési képessége pedig javul. A mérésekkel egy jó hőszigetelő képességű, hidrofób szilika aerogél/poliuretán kompozit anyag előállítás, és alkalmazhatóságának a vizsgálata a célom.

A vizsgálatot az előzőekben bemutatott poliuretán alapú hőszigetelő anyagokra végeztem el, illetve aerogél granulátummal szórt poliuretán alapú hőszigetelő anyagokra. 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. [2] [8] [9] [10] [11] [12]



12.ábra: A keretekbe fűjt sima poliuretán és aerogéllal kevert poliuretán minták



13.ábra: A keretekbe fűjt sima poliuretán és aerogéllal kevert poliuretán minták száradás után

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 értéket 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. [20]



14. ábra: Venticell 111 szárítóberendezés [20]

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. [21]



15. ábra: Netzsch Lambda HFM 446 [21]

5.3 Hővezetési tényező mérése

A méréseket szórt poliuretánra, illetve aerogéllal kevert szórt poliuretán anyagra készítettem el. Az első mérést a Henkel Magyarország Kft. által gyártott PATTEX Univerzális kézi egykomponensű poliuretán hab segítségével kifújt poliuretán mintára, illetve ezt a purhabot aerogéllal kevert másik mintára készítettem el. A sima poliuretán anyagból és az aerogéllal kevert poliuretán anyagból egyenként 1-1 mintadarabot vizsgáltam. A mérési folyamatban a következő szabványokat használtam: [22] [23] [24]

1.táblázat: Kiindulási értékek a PATTEX poliuretán hab esetében

PATTEX poliuretán hab adatok				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,8	19,5	100,9	5,3698	48,7

2.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal szórt PATTEX poliuretán hab esetében

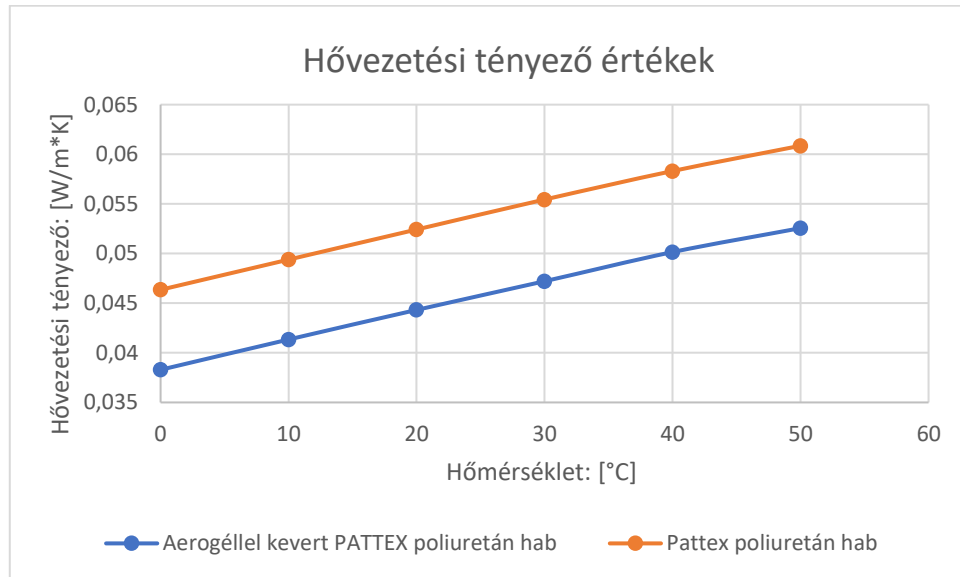
Aerogéllal szórt PATTEX poliuretán hab adatok				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,5	19,5	143,0	5,5753	67,5

A hővezetési tényező mérési folyamata:

A mérési folyamat során a mérőműszer 5 különböző hőfoklépcsőnél, állandó 20 °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 két mérést pedig egy diagrammon fogom ábrázolni.

Hővezetési tényező eredmények kiértékelése:

Pattex univerzális kézi purhab segítségével fűjt szórt poliuretán, illetve aerogéllal kevert szórt poliuretán hab hővezetési tényező értékek:



16.ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

A mérési eredményekből megállapítható, hogy az aerogéllal kevert szórt poliuretánhab hőszigetelés hővezetési tényező értéke kisebb.



17.ábra: PATTEX Univerzális kézi poliuretán hab segítségével kifűjt minta



18.ábra: PATTEX Univerzális kézi poliuretán hab segítségével aerogéllal kevert kifújt minta

A PATTEX univerzális kézi poliuretán hab segítségével kifújt aerogéllal kevert, mintadarabok elkészítése során a cabot aerogél granulátumot használtam.

A második mérést magasnyomású poliuretán hab szórógép segítségével fújt mintadarabokon végeztem, ez esetben több mintadarabot is vizsgáltam, aerogéllal kevert poliuretán esetében 4 mintadarabot, poliuretán esetében 3 mintadarabot vizsgáltam.

A poliuretán hab szórógép segítségével kifújt, permetezéssel felhordható poliuretán rendszer kétkomponensű. A rendszer „A” komponense a polioli, a „B” komponense pedig az izocianát. A rendelkező műszaki információk alapján a polioli ULTRAPOL RG 03/10, az izocianát pedig ULTRAMER B a gyártói megnevezés szerint. A polioli komponenst a munka megkezdését megelőzően, minden esetben elő kell keverni, ugyanis hajlamos a rétegeképződésre. Tárolási szavatossági ideje 6 hónap mindkét alkotónak. [25]

Az anyagok javasolt tárolási hőmérséklete 5-25 °C. A kifújás előtt a fűtőberendezések hőmérséklete 45-55 °C, a tömlők és nyersanyagok hőmérséklete 20-35 °C, a beborítandó felület hőmérséklete 10-20 °C, a relatív felületi páratartalma 80-110% között célszerű, hogy legyen. A két anyagot 1:1 arányban keveri össze a szórógép, amelynek végeredményeképpen jött létre a nyitott cellás félmerev hab. A szóróberendezés maximális kifújási nyomása 200 bar lehet. [25]

A mérési eredmény a vizsgált minták hővezetési tényezőinek átlaga lett, amit egy közös diagrammon ábrázoltam.

3.táblázat: Kiindulási értékek a poliuretán hab 4.3 minta esetében

Poliuretán hab adatok 4.3				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
20,0	20,0	19,7	4,8085	10,2

4.táblázat: Kiindulási értékek a poliuretán hab 4.2 minta esetében

Poliuretán hab adatok 4.2				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,5	19,5	19,9	4,7894	10,9

5.táblázat: Kiindulási értékek a poliuretán hab 2.3 minta esetében

Poliuretán hab adatok 2.3				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,5	19,5	19,7	4,8179	10,8

6.táblázat: Az egyes minták hővezetési tényező értékei hőmérsékletenként, illetve a hővezetési tényező átlagok

Poliuretán hab hővezetési tényező értékek:				
°C	4.3	4.2	2.3	Átlag:
0	0,03774	0,03702	0,03716	0,03731
10	0,04059	0,03987	0,04008	0,04018
20	0,04302	0,04225	0,04241	0,04256
30	0,04541	0,04446	0,04455	0,04481
40	0,04799	0,04694	0,04711	0,04735
50	0,05011	0,04961	0,04909	0,04960

7.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 1.3 minta esetében

Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 1.3				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
20,0	19,5	19,6	4,8754	10,3

8.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 1.4 minta esetében

Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 1.4				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,5	19,5	17,6	4,5765	10,1

9.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 3.1 minta esetében

Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 3.1				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
18,5	19,0	21,4	4,9174	12,4

10.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 3.4 minta esetében

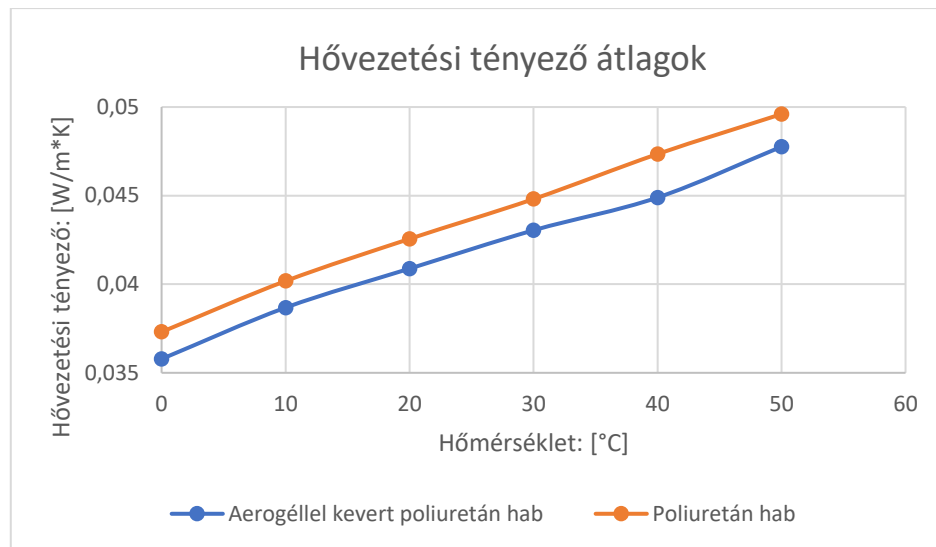
Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 3.4				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,8	19,5	21,8	5,2096	10,8

11.táblázat: Az egyes minták hővezetési tényező értékei hőmérsékletenként, illetve a hővezetési tényező átlagok

Aerogéllal kevert poliuretán hab hővezetési tényező értékek:					
°C	1.3	1.4	3.1	3.4	Átlag:
0	0,03636	0,03556	0,03593	0,03527	0,03578
10	0,03945	0,03850	0,03856	0,03821	0,03868
20	0,04177	0,04081	0,04066	0,04028	0,04088
30	0,04407	0,04290	0,04285	0,04236	0,04305
40	0,04598	0,04513	0,04456	0,04390	0,04489
50	0,04900	0,04769	0,04757	0,04679	0,04776

Hővezetési tényező eredmények kiértékelése:

Magasnyomású poliuretán hab szóró berendezés segítségével 1. módszer szerint fűjt szórt poliuretán, illetve aerogéllal kevert szórt poliuretán hab hővezetési tényező értékek:



19.ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

A gyártó által megadott névleges hővezetési tényező érték a szórt poliuretánhabra $0,038 \frac{W}{m \cdot K}$.

A mérési eredmény a szórt poliuretánhab esetén nagyságrendileg igazolja a gyártó által megadott névleges hővezetési tényező értéket, továbbá a mérésekből megállapítható, hogy az aerogéllal kevert szórt poliuretánhab hőszigetelés hővezetési tényező értéke kisebb.



20.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 1. módszer szerint kifűjt poliuretán hab minta



21.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 1. módszer szerint kifújt, aerogéllal kevert poliuretán hab minta

A magasnyomású szóróberendezés segítségével kifújt aerogéllal kevert poliuretán mintadarabok elkészítése során a kwark aerogél granulátumot használtam.

A harmadik mérést szintén szórógép segítségével fújt, mintadarabokon végeztem, azonban az anyagösszetételről műszaki információ nem áll rendelkezésemre. Ezesetben több mintadarabot is vizsgáltam, aerogéllal kevert poliuretán esetében 3 mintadarabot, poliuretán esetében 3 mintadarabot vizsgáltam. A mérési eredmény a vizsgált minták hővezetési tényezőinek átlaga lett, amit egy közös diagrammon ábrázoltam.

12.táblázat: Kiindulási értékek a poliuretán hab 1. minta esetében

Poliuretán hab adatok 1.				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,2	19,0	20,8	4,9576	11,5

13.táblázat: Kiindulási értékek a poliuretán hab 2. minta esetében

Poliuretán hab adatok 2.				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,2	19,5	21,0	4,9573	11,3

14.táblázat: Kiindulási értékek a poliuretán hab 3. minta esetében

Poliuretán hab adatok 3.				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
18,0	17,5	15,5	4,6361	10,6

15.táblázat: Az egyes minták hővezetési tényező értékei hőmérsékletenként, illetve a hővezetési tényező átlagok

Poliuretán hab hővezetési tényező értékek:				
°C	1	2	3	Átlag:
0	0,03531	0,03493	0,03763	0,03596
10	0,03761	0,03725	0,04018	0,03835
20	0,03961	0,03919	0,04239	0,04041
30	0,04164	0,04085	0,04467	0,04239
40	0,04364	0,04300	0,04712	0,04459
50	0,04613	0,04539	0,04995	0,04716

16.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 1. minta esetében

Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 1.				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,5	19,5	36,1	5,3840	17,6

17.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 2. minta esetében

Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 2.				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,8	19,0	31,0	4,8721	16,9

18.táblázat: Kiindulási értékek az aerogéllal kevert poliuretán hab 3. minta esetében

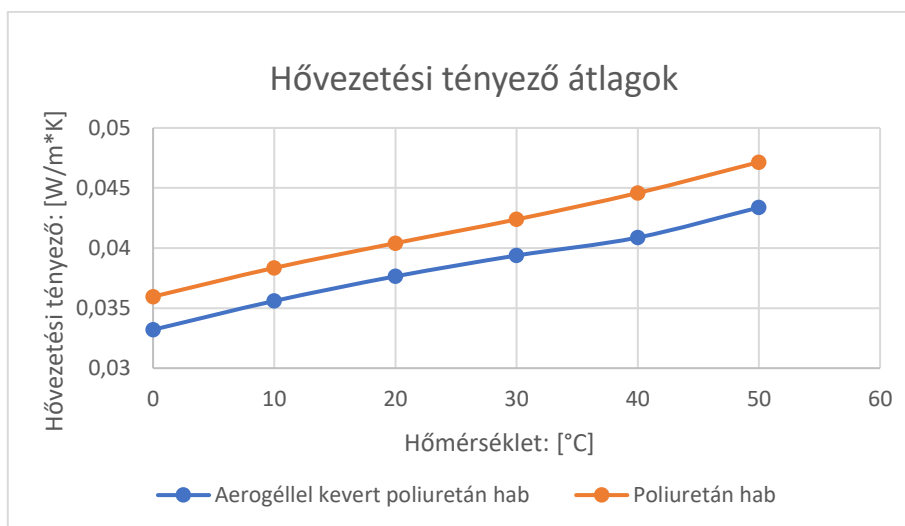
Aerogéllal kevert poliuretán hab adatok 3.				
Hosszúság: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]	Sűrűség: [kg/m ³]
19,0	19,0	43,0	4,7803	24,9

19.táblázat: Az egyes minták hővezetési tényező értékei hőmérsékletenként, illetve a hővezetési tényező átlagok

Aerogéllal kevert poliuretán hab hővezetési tényező értékek:				
°C	1	2	3	Átlag:
0	0,03288	0,03435	0,03237	0,03320
10	0,03521	0,03674	0,03483	0,03559
20	0,03721	0,03881	0,03691	0,03764
30	0,03890	0,04080	0,03844	0,03938
40	0,04023	0,04259	0,03981	0,04088
50	0,04266	0,04500	0,04248	0,04338

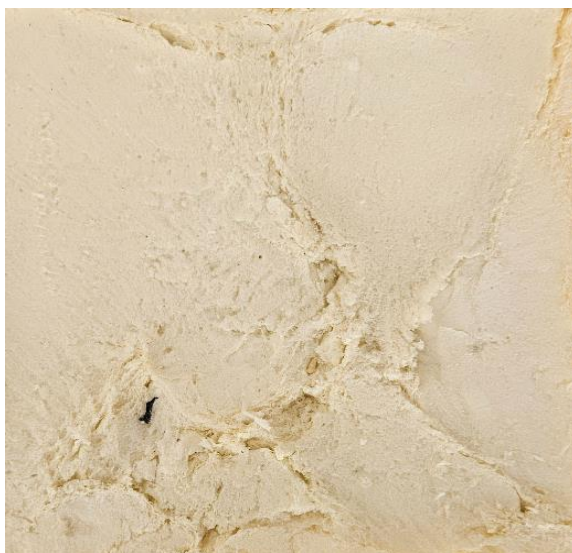
Hővezetési tényező eredmények kiértékelése:

Magasnyomású poliuretán hab szóró berendezés segítségével 2. módszer szerint fűjt szórt poliuretán, illetve aerogéllal kevert szórt poliuretán hab hővezetési tényező értékek:



22.ábra: Hővezetési tényező értéke a hőmérséklet függvényében

A mérési eredményekből megállapítható, hogy az aerogéllal kevert szórt poliuretánhab hőszigetelés hővezetési tényező értéke kisebb.



23.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 2. módszer szerint kifűjt poliuretán hab minta



24.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 2. módszer szerint kifűjt, aerogéllal kevert poliuretán hab minta

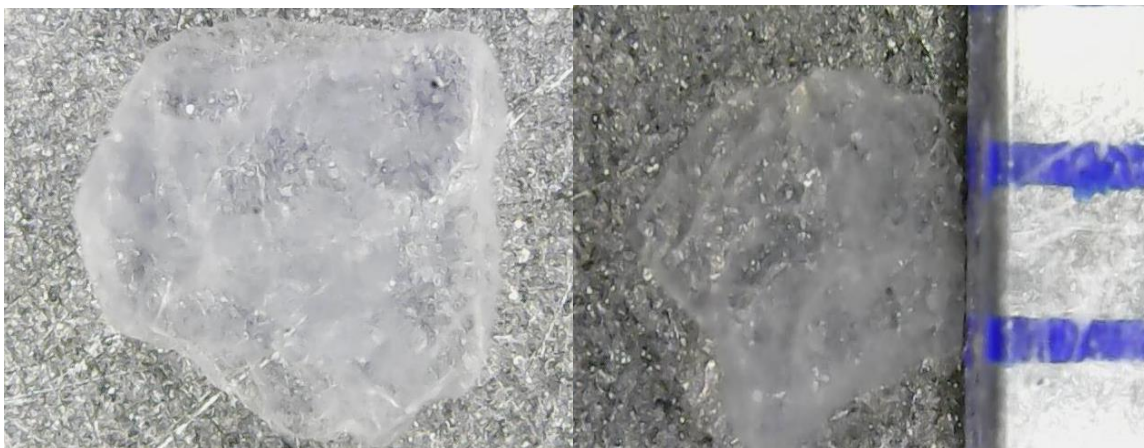
A magasnyomású szóróberendezés segítségével kifűjt aerogéllal kevert poliuretán mintadarabok elkészítése során a cabot aerogél granulátumot használtam.

Összességében az elemzett minták kiváló hőszigetelőképeséget is mutattak, az összes kiértékelt mérési eredményen látható, hogy az aerogél-poliuretán kompozitok hővetési tényezője jóval kisebb, tehát a hálós poliuretán habok használata aerogélek vázaként ígéretes stratégia az alkalmazások széleskörű spektrumában, ahol a szilícium-dioxid aerogélek a megfelelő jelöltek.

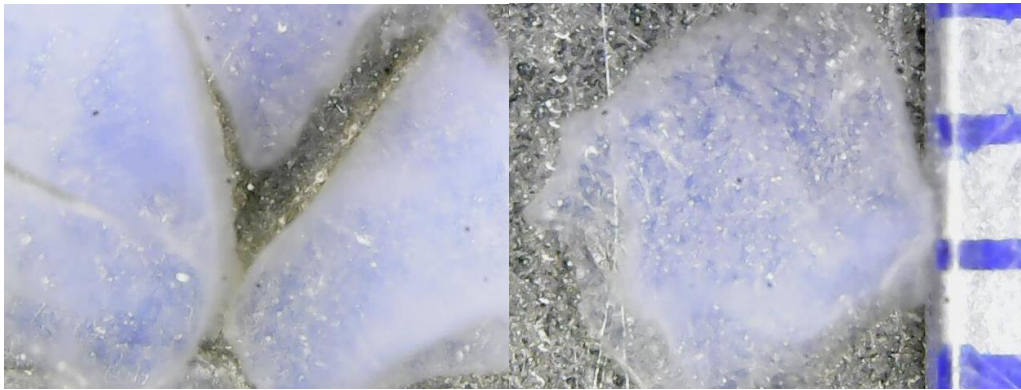
5.4 Mikroszkópos vizsgálat

A vizsgált szórt poliuretán hab és aerogéllal kevert szórt poliuretán hab minták felszínét mikroszkópai vizsgálatnak is alávettem, hogy ezáltal bizonyítsam a polimer habok zártcellás, porózus szerkezetét. A polimerekről köztudott tény, hogy felületi rétegei sűrűbbek, mint a belső rétegek. Az aerogél rendkívül porózus szerkezetű struktúráját tekintve, a részecskéi csomókba tömörülnek, ahol a levegő nem képes cirkulálni. A zártcellás és merev poliuretán 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 poliuretán 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. Az aerogél nem öregszik, nem támadják meg kártevők vagy gombák, nem okoz környezetvédelmi gondokat a beépítéskor, teljesen környezetbarát. A poliuretán hab és az aerogél közötti kölcsönhatás azt mutatja, hogy az összes kompozit a hab pórusaiba zárt, amelyet folyamatos aerogél hálózat alkot. [2]

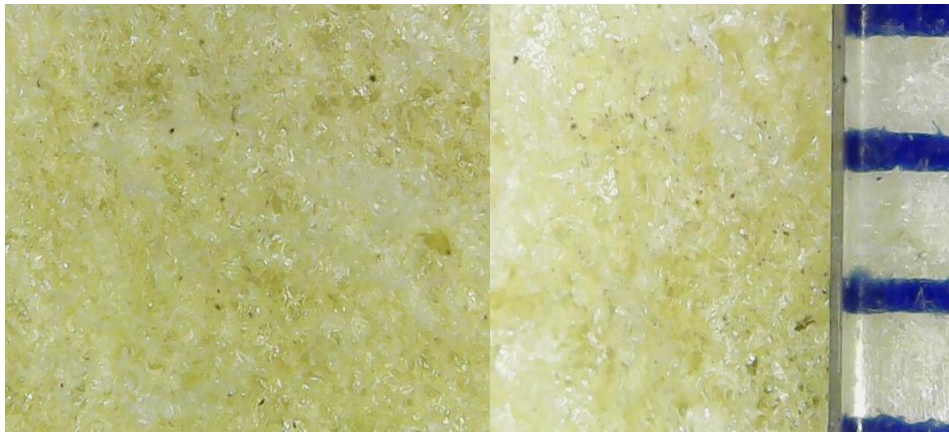
A mikroszkópai vizsgálat során 40-szeres nagyítást használtam.



25.ábra: Cabot aerogél granulátum mikroszkópos képe



26.ábra: Kwark aerogél granulátum mikroszkópos képe



27.ábra: PATTEX Univerzális poliuretán hab felülnézeti mikroszkópos felvétele



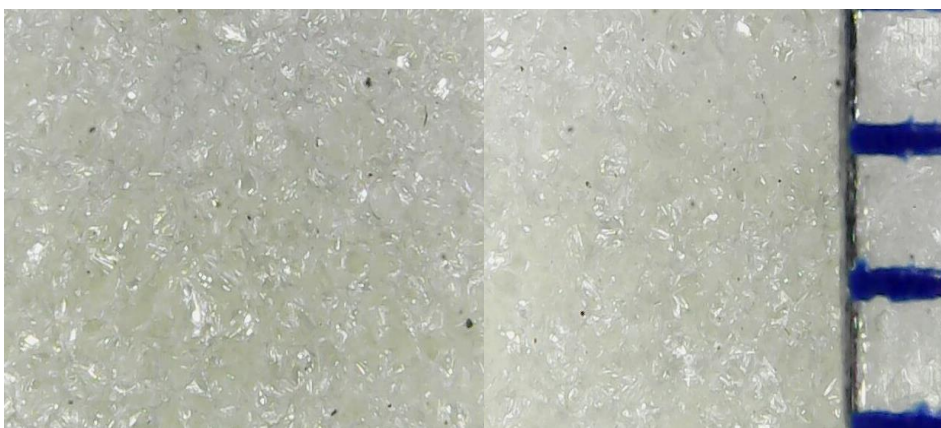
28.ábra: Aerogéllal kevert PATTEX Univerzális poliuretán hab felülnézeti mikroszkópos felvétele



29.ábra: PATTEX Univerzális kézi poliuretán hab minta belsejébe ágyazódott kwark aerogél granulátum



30.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 1. módszer szerint kifűjt poliuretán hab felülnézeti mikroszkópos felvétele



31.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 1. módszer szerint kifűjt, aerogéllal kevert poliuretán hab felülnézeti mikroszkópos felvétele



32.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 1. módszer szerint kifűjt poliuretán hab minta belsejébe ágyazódott cabot aerogél granulátum



33.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 2. módszer szerint kifűjt poliuretán hab felülnézeti mikroszkópos felvétele



34.ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 2. módszer szerint kifűjt, aerogéllal kevert poliuretán hab felülnézeti mikroszkópos felvétele



35. ábra: Magasnyomású szórógép segítségével 2. módszer szerint kifűjt poliuretán hab belsejébe ágyazódott kwark aerogél granulátum

5.5 Hidrofób vizsgálatok

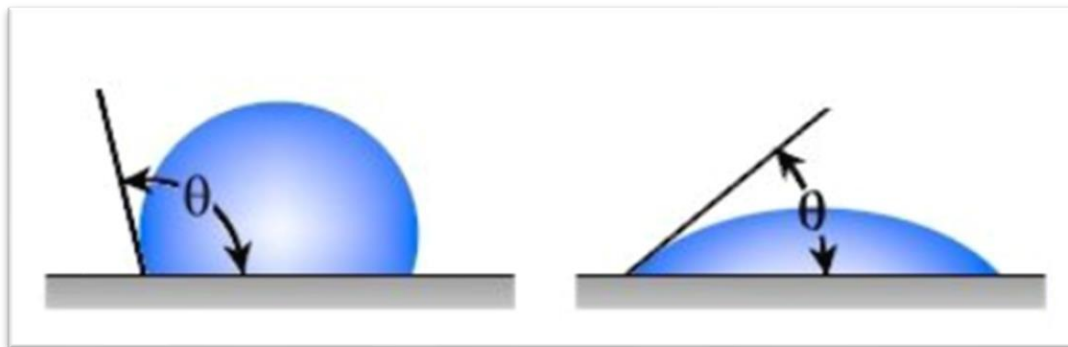
Az oldalnézeti mikroszkópai vizsgálatok segítségével bizonyítható a vizsgált poliuretán és aerogéllal kevert poliuretán habok hidrofób tulajdonsága, ami azt jelenti, hogy felszínük víztaszító. Fecskendővel vizet szívтам fel, majd egyenként a mintákra cseppentettem, mikroszkóppal pedig oldalról megvizsgálva látható az eredmény. A vízcsepp felülethez való érintkezési szögéből lehet megállapítani, hogy hidrofób-e az adott anyag. [22]

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. [22]

Hidrofób vízcsepp

Hidrofil vízcsepp



36. ábra: Hidrofób vagy hidrofil a vízcsepp [22]

Hidrofób vízcsepp:

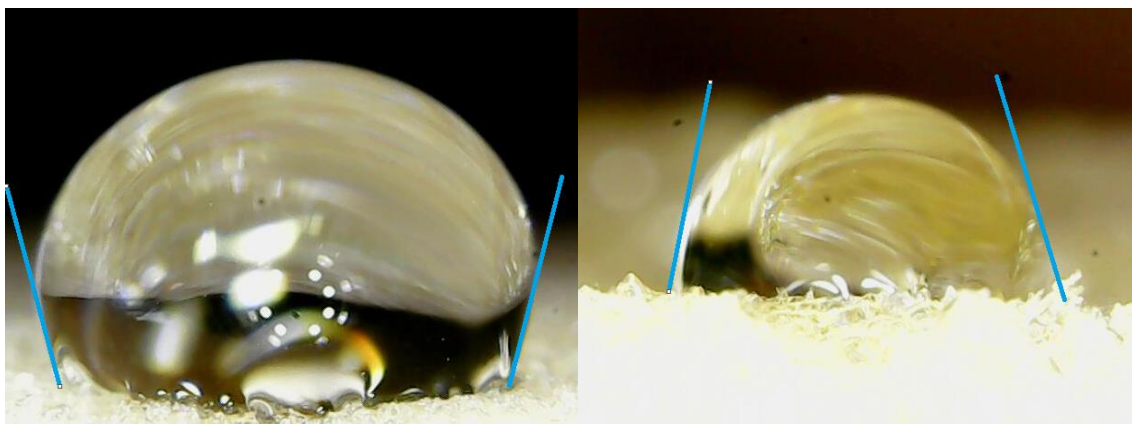
- érintkezési szög: magas
- tapadóképesség: gyenge
- nedvességfelvevőképesség: gyenge
- szilárd felületek felületi szabadenergiája: alacsony

Hidrofil vízcsepp:

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

A mikroszkóp képe PATTEX Univerzális poliuretán hab segítségével kifűjt mintadarabok esetén oldalnézetből:

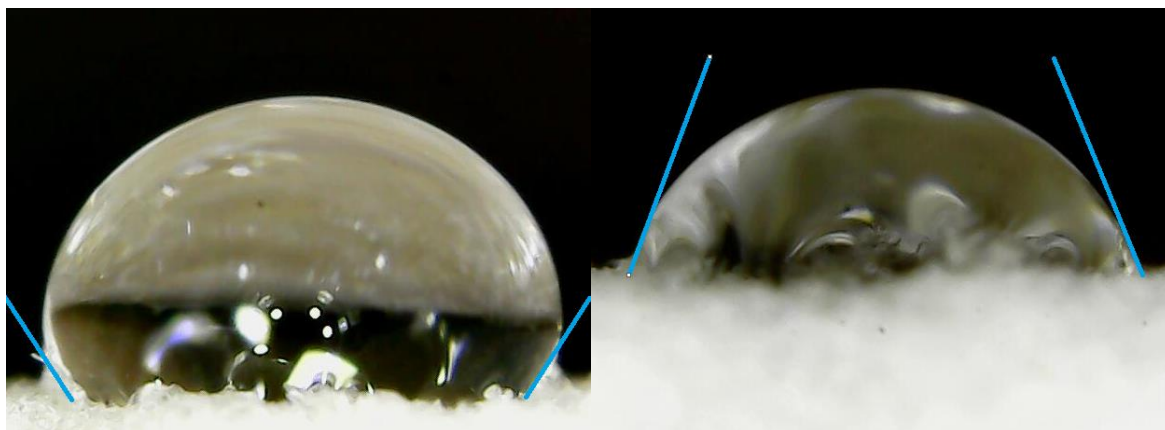
A bal oldalon látható a kwark típusú aerogéllal kevert PATTEX Univerzális poliuretán hab segítségével kifűjt minta, a jobb oldalon pedig a sima PATTEX Univerzális poliuretán hab segítségével kifűjt minta hidrofób vizsgálata. Szögmérő segítségével látható, hogy a bal oldalon az érintkezési szög 102° az aerogéllal kevert poliuretán hab érintkezési szöge, a jobb oldalon pedig 76° a sima poliuretán hab esetében. Ez azt jelenti, hogy a kwark aerogél granulátum hidrofóbbá teszi a nyitott cellás hidrofil PATTEX poliuretán habot.



37. ábra: Mikroszkópiai nagyítás oldalnézetből a PATTEX poliuretán hab segítségével kifújtt mintadarabokon

A mikroszkóp képe 1. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifújtt poliuretán hab segítségével oldalnézetből:

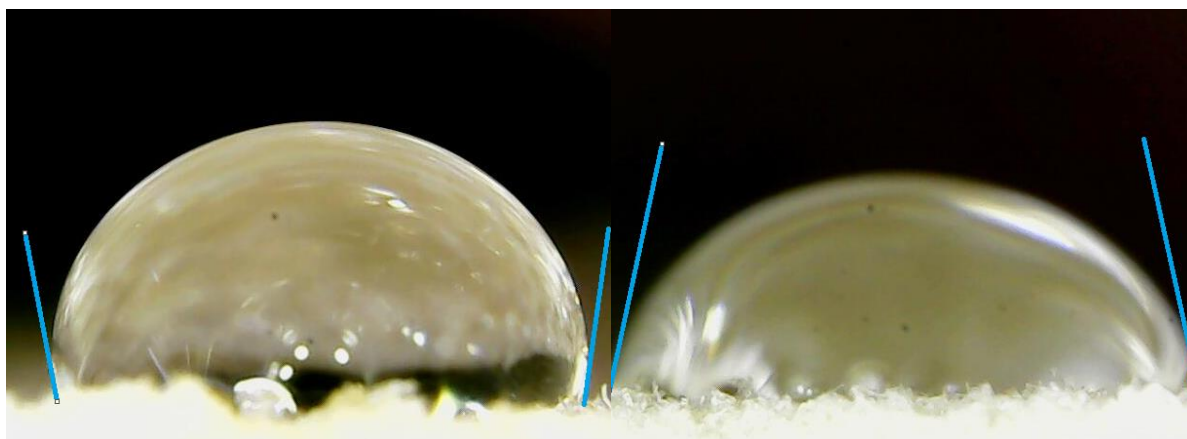
A bal oldalon látható a cabot típusú aerogéllal kevert 1. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifújtt poliuretán hab minta, a jobb oldalon pedig a sima 1. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifújtt poliuretán hab minta hidrofób vizsgálata. Szögmérő segítségével látható, hogy a bal oldalon az érintkezési szög 126° az aerogéllal kevert poliuretán hab érintkezési szöge, a jobb oldalon pedig 70° a sima poliuretán hab esetében. Ez azt jelenti, hogy a cabot aerogél granulátum hidrofóbbá teszi a nyitott cellás hidrofil 1. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifújtt poliuretán habot.



38. ábra: Mikroszkópiai nagyítás oldalnézetből az 1. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifújtt mintadarabokon

A mikroszkóp képe 2. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifűjt poliuretán hab segítségével oldalnézetből:

A bal oldalon látható a kwark típusú aerogéllal kevert 2. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifűjt poliuretán hab minta, a jobb oldalon pedig a sima 2. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifűjt poliuretán hab minta hidrofób vizsgálata. Szögmérő segítségével látható, hogy a bal oldalon az érintkezési szög 108° az aerogéllal kevert poliuretán hab érintkezési szöge, a jobb oldalon pedig 81° a sima poliuretán hab esetében. Ez azt jelenti, hogy a kwark aerogél granulátum hidrofóbbá teszi a nyitott cellás hidrofíl 2. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifűjt poliuretán habot.



39. ábra: Mikroszkópiai nagyítás oldalnézetből az 2. módszer szerint magasnyomású szórógép segítségével kifűjt mintadarabokon

A különböző mintadarabok vizsgálata során egységesen az az eredmény tapasztalható, hogy mindhárom esetben a különböző típusú aerogél granulátumok hidrofóbbá teszik a nyitott cellás poliuretán habokat.

Konklúzió:

A dolgozatomban célja az volt, hogy bemutassam a poliuretán és szilika aerogél-poliuretán kompozit hőszigetelő anyaggal kapcsolatos méréseket, illetve ezek által bizonyítsam előnyeit a terméktársaival szemben.

A szilika aerogél-poliuretán kompozit anyagot saját magam fejlesztettem ki, és véleményem szerint a vizsgálatok után meggyőző eredménnyel szolgál.

A dolgozatomban bemutatott legfőbb eredmények a következők:

A hővezetési tényező mérések bizonyítják, hogy bármely 2 különböző szilika aerogél gyártó termékét felhasználva és poliuretánhoz keverve, az aerogél granulátumok által csökken a poliuretán-aerogél kompozitok hővezetése, tehát kisebb lesz a kompozit hővezetési tényezője.

A mikroszkópos képek jól mutatják, hogy a hálós szerkezetű poliuretán habok szerkezetébe beágyazódik az aerogél szemcse, és a poliuretán szerkezet merev, stabil vázot ad az aerogél számára, javítva mechanikai tulajdonságait, az aerogél javítja a poliuretán hab szívósságát, merevségét, porózus szerkezetét az alacsony hővezetés mellett. A hidrofób vizsgálatok pedig egyöntetűen kimutatták a kompozit hidrofób tulajdonságát, ugyanis az aerogél szemcsék minden vizsgált mintánál hidrofóbbá tették a poliuretán, mivel minden esetben a kompozitra cseppentett vízcsep érintkezési szöge nagyobb volt, mint 90° . A mérések során arra a következtetésre jutottam, hogy két hőszigetelő anyag kombinálása egy új kompozit anyagként egyértelműen előnyös, ugyanis javítják és kiegészítik egymás hőszigetelő képességét.

Véleményem szerint meggyőző kompozit hőszigetelő anyagokról van szó, amelyet számos területen tud a hőszigetelési és ipari ágazat hasznosítani, és érdemes további vizsgálatokat és méréseket készítenem az adott témában.

Köszöntenyilvánítás:

„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] D. Bozsaky , Építési hőszigetelő anyagok, Budapest: TERC Kft., 2017.
- [2] F. Kalmár, Épületfizika, Nyíregyháza: Studium Kiadó, 2003.
- [3] F. Schifter és B. Dr. Tolvaj , Épületenergetika, Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011.
- [4] B. Dr. Író, Hő és áramlás, Győr : Universitas-Győr Kht. kiadó, 2007.
- [5] Á. Dr. Lakatos, Funkcionális rendszerek és működésük, Budapest: TERC Kft., 2013.
- [6] Nastaran Nazeran, Jafarsadegh Moghaddas, Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application, Journal of Non Crystalline Solids (Volume 461), 1 April 2017, Pages 1-11
- [7] Seunghwan Wia, Umberto Berardib, Sam Di Loreto, Sumin Kim, Microstructure and thermal characterization of aerogel–graphite T polyurethane spray-foam composite for high efficiency thermal energy utilization, Journal of Hazardous Materials 397 (2020) 122656
- [8] B. Merillas, A. Lamy-Mendes, F. Villafane, L. Duracius, MA. Rodríguez-Pérez Pérez, Polyurethane foam scaffold for silica aerogels effect off cell size on the mechanical properties and thermal insulation, Materials Today Chemistry 26 (2022) 101257
- [9] Guang Yang, Xueyang Liu, and Vitali Lipik, Evaluation of silica aerogel-reinforced polyurethane foams for footwear applications, J Mater Sci (2018) 53:9463–9472
- [10] Kai-Jay Chang, Yen-Zen Wang, Kuan-Csen Peng, Huang-Shian Tsai, Jia-Ru Chen, Ching-Tang Huang, Ko Shan Ho, Wan-Fu Lien, Preparation of silica aerogel/polyurethane composites for the application of thermal insulation, J Polym Res (2014) 21:338 DOI 10.1007/s10965-013-0338-7
- [11] Letizia Verdolotti, Maria Oliviero, Marino Lavorgna, Chiara Santillo, Francesca Tallia, Salvatore Iannace, Shu Chen, Julian R. Jones, "Aerogel-like" polysiloxane-polyurethane hybrid foams with enhanced mechanical and thermal-insulating properties, Composites Science and Technology 213 (2021) 108917
- [12] Xiameng Shan, Ling Liu, Yusi Wu, Dengsen Yuan, Jing Wang, Chengjiao Zhang, and Jin Wang, Aerogel-Functionalized Thermoplastic Polyurethane as Waterproof, Breathable Freestanding Films and Coatings for Passive Daytime Radiative Cooling, Adv. Sci. 2022, 9, 2201190, DOI: 10.1002/advs.202201190
- [13] MES Energy Insulation.uk [Online]. Available: <https://www.mesenergy.co.uk/loft-insulation>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [14] „Unipur.hu,” [Online]. Available: <https://www.unipur.hu/szigeteles-arak/>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [15] „Robinwood.hu,” [Online]. Available: <https://robinwood.hu/alapanyag/2016/02/kulonbseg-purhab-es-purhab-kozott/>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [16] „HomeDecor.hu,” [Online]. Available: <https://homedecor.hu/aerogel-a-nasa-s-hoszigeteles-mar-nekunk-dolgozik/>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [17] „AerogelUKLtd.uk,” [Online]. Available: <http://www.aerogel.uk.com/newgranule2.html/>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [18] „Enersens.eu,” [Online]. Available: <https://enersens.eu/kwark-silica-aerogel-powder-and-granule/>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [19] „Cabotcorp.com,” [Online]. Available: <https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/particles-for-ev-thermal-barriers/>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]
- [20] „Mmm-medcenter.com,” [Online]. Available: <https://www.mmm-medcenter.com/venticell-61-venticell-111---ecoline18>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.]

- [21] „Analyzing-testing.netzsch.com,” [Online]. Available: <https://analyzing-testing.netzsch.com/en/products/thermal-conductivity/hfm-446-lambda-eco-line>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.].
- [22] „MSZ EN 12664:2001, Építési anyagok és termékek hőtechnikai viselkedése. A hővezetési ellenállás meghatározása segédűtőlapos és hőárammérős eljárással. Közepes és kis hővezetési ellenállású száraz és nedves termékek.”.
- [23] „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”.
- [24] „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”.
- [25] „Ultrapur.pl,” [Online]. Available: <https://www.ultrapur.pl/warunki-przetworstwa-i-parametry-pianki-ultrapur-rg-03-10.html>. [Hozzáférés dátuma: 09. 11. 2024.].