

Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék



**Aerogélek és ezek vákuumozott formáinak
hőtechnikai vizsgálata, alkalmazási lehetőségek és a
környezetterhelésük vizsgálata**

Szerző: Szabó Ákos BSc hallgató

Témavezető: Prof. Dr. Lakatos Ákos

Tanszékvezető: Prof. Dr. Lakatos Ákos

Debrecen

2023.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1.Hőterjedés	6
1.1 Hőátadás.....	6
1.2 Hősugárzás	6
1.3 Hővezetés	6
2. Hőterjedés folyamatai falszerkezetekben	7
2.1 Hőátadás (konvekció)	7
2.2 Hővezetési tényező, hővezetési ellenállás	7
3. Hőszigetelő anyagok bemutatása	10
3.1 Hőszigetelő anyag fogalma	10
3.2 Hőszigetelő anyagok jellemzői, tulajdonságai	11
3.3 Hőszigetelők csoportosítása	11
3.4 Hőszigetelő anyagok	12
3.4.1 Expandált polisztirolhab (EPS)	12
3.4.2 Kőzetgyapot	14
3.4.3 Aerogélek.....	14
3.4.4 Vákuumpanelek	18
4. Aerogélek hőtechnikai tulajdonságainak vizsgálata	19
4.1. Mérési módszer bemutatása	19
4.2 Felhasznált berendezések bemutatása	19
4.3 Hővezetési tényező mérése.....	21
5. A választott mintaépület vizsgálata	25
5.1. Épület falszerkezete.....	26
5.2. Az épület további határoló szerkezeteinek rétegrendje, hőátbocsátási tényezője	28
5.3. Helyiségek hőszükségletének számítása	29
5.4. Helyiségek szigetelés utáni hőszükségletének számítása.....	31
5.5. Szigetelés megtérülése az egyes szigetelőanyagokkal	33

6. A vizsgált hőszigetelőanyagok környezetkárosítása.....	36
6.1. Általános tudnivalók a számolás menetéről	36
6.2. EPS karbonlábnyoma	38
6.3. Kőzetgyapot karbonlábnyoma	39
6.4. Spaceloft aerogél karbonlábnyoma	39
6.5. A karbonlábnyomok megtérülése a tárgyalt szigetelőanyagoknál	40
Összegzés	42
Köszönetnyilvánítás	44
Hivatkozások.....	45

Bevezetés

Dolgozatom fő témája az Aerogélek és ezek vákuumozott formáinak hőtechnikai vizsgálata, alkalmazási lehetőségek és a környezetterhelésük vizsgálata. Témaválasztásom befolyásoló tényezői közé sorolnám a legkorszerűbb szigetelőanyagok iránti érdeklődésem, illetve a jelenlegi szakirányomat. Leendő épületgépészként fontosnak tartom a környezet- és klímavédelmet, ezért elengedhetetlen számomra a legújabb technológiák ismerete. Az eddigi tanulmányaim során ismereteket szereztem egyes szigetelőanyagok legfőbb jellemzőiről, beleértve azok kémiai és fizikai tulajdonságait is.

A hőszigetelő anyagokat az emberiség kezdete óta ismertek és alkalmazták. Ezen anyagok fejlődése szoros kapcsolatban áll az energiahordozók kinyerhető mennyiségével, megfizethetőségével. Napjainkban egyre nagyobb gondot okoz az egyes iparágak természetkárosító hatása. Nincs ez másképp az építőiparban sem. A jelenleg használatos szigetelőanyagok létrehozása rengeteg szénhidrogén (fosszilis energia) felhasználását igényli. Arról nem is beszélve, hogy az elhasználódott szigetelőanyagokat további célokra nehezen lehet felhasználni, de a megsemmisítése is sok esetben a környezetünket károsítja.

A kezdetben állati és növényi eredetű anyagokat a 19. század közepétől kezdték felváltani a különböző, de még továbbra is természethez köthető anyagok elkészítése (hamuval töltött téglák) amik a hőszigetelő képességet tovább javították. A század második felében egészen a 20. század első évtizedeiben rengeteg kísérlet volt mesterséges szigetelőanyagok létrehozásával kapcsolatban. Rengeteg ilyen anyag a rövid élettartama, előnytelen tulajdonságai miatt nem került be a köztudatba. Ezekben az években jelenik meg a sokak számára ismert kőzetgyapot is, mely csak évekkel később terjed el szélesebb körben. A 20. század közepén a műanyagok tömeggyártásának megindulása új perspektívát hozott az építőipar számára. Az ilyen műanyagok, mint például a polisztirolhab, a mesterségesen továbbfejlesztett szigetelőanyagokkal (ásványgyapot, üveggyapot) lettek a korszak legnépszerűbb szigetelésre használt anyagai. A mesterséges szigetelések elterjedésével visszaszorult a természetes anyagok alkalmazása. A szigetelőanyagok fejlesztése a külső gazdasági tényezők (olajválság) miatt felgyorsult az 1970-es években. Ekkor tudatosult széleskörűen az emberekben az, hogy a Föld energiahordozóinak készlete véges. Emiatt igenis fontossá vált a lehető legtöbb energiahordozó fel nem használása. Ez időszakban tovább fejlődtek a polisztirolhab (EPS) és a poliuretánhab (XPS) termékek.

A 21. század elején folyamatosan a technika fejlődésével újabb szigetelőanyag alternatívák jelentek meg. Az ilyen szuper hőszigetelések közé lehet sorolni az aerogéleket és a vákuumpaneleket.

A dolgozatom további szigetelőanyagokat és tulajdonságainak bemutatását három elkülönülő egységre bontom. Az első részben szeretném ismertetni a falszerkezetben létrejövő hőterjedés rövid elméleti hátterét. Külön kiemelem a hővezetési tényező ismertetését, ami egy szigetelőanyag besorolásának legfontosabb komponense. A második szakaszban ismeretek több hőszigetelő anyagot. Lesz szó a kőzetgyapotról, EPS szigetelésről és természetesen a fejlett szigetelőanyagokról. Az írásom harmadik részben a használt mérési módszereket szeretném bemutatni, ahol nagyobb részletességgel írok majd a hővezetési tényező méréséről. Az ezeket követő két egységben bemutatok egy szigeteletlen mintaépületet, melynek meghatározom a hőszükségletét. Ezután feltételezem az épület leszigetelését három különböző anyaggal. Miután meghatároztam a leszigetelt ház hőszükségletét, ezután az egységnyi aerogél szigeteléssel és ezzel egyenértékű vastagságú, jelenleg a legszélesebb körben alkalmazott hőszigetelőanyagokkal is kiszámolom azoknak az anyagi megtérülését. A második egységben pedig bemutatom az egyes szigetelőanyagok előállításával és szállításával keletkezett károsanyag kibocsátást, majd azt vizsgálom, hogy mennyi idő alatt bocsájt ki egy gázkazán a fűtési időszakban annyi károsanyagot, mint amennyi az egyes szigetelőanyagok gyártásától a felhasználásáig keletkezik.

A főbb részek után egy rövid összefoglaló következik, ahol a mért és számított eredményekből levont következtetések és megállapítások szerepelnek majd.

Dolgozatom elkészítéséhez használok majd magyar és angol szakirodalom mellett eddig szerzett ismereteket és tapasztalatokat is.

1.Hőterjedés

Abban az esetben ha egy két fizikai közegből álló fizikai rendszer hőmérséklete különböző, akkor a rendszer ezen hőmérsékletek kiegyenlítésére törekszik, ekkor beszélünk hőterjedésről. A melegebb közeg által leadott hőmennyiséget veszi fel tehát a hidegebb közeg, kialakítva egy közös hőmérsékletet. A hőterjedésen (melyet hőközlésként is ismerünk) belül három típust különböztetünk meg:

- hőátadás (konvekció)
- hősugárzás (radiáció)
- hővezetés (kondukció)

A hőterjedés során ezek a fajták egyszerre jelentkeznek, csak a három közül lesz egy, ami dominálni fog. [5] [12] [13]

1.1 Hőátadás

Miközben egy közeg (jellemzően légnemű vagy folyadék) felmelegszik, megnő a térfogata így csökken a sűrűsége. Helyére kisebb hőmérsékletű (kisebb energiájú) közeg áramlik. [5] [12]

1.2 Hősugárzás

A szilárd testek mindig bocsátanak ki hőt elektromágneses formában, ezt a jelenséget nevezzük hősugárzásnak. A test által kibocsátott hő arányos a hőmérsékletével, felületének érdességével. [5] [12] [13]

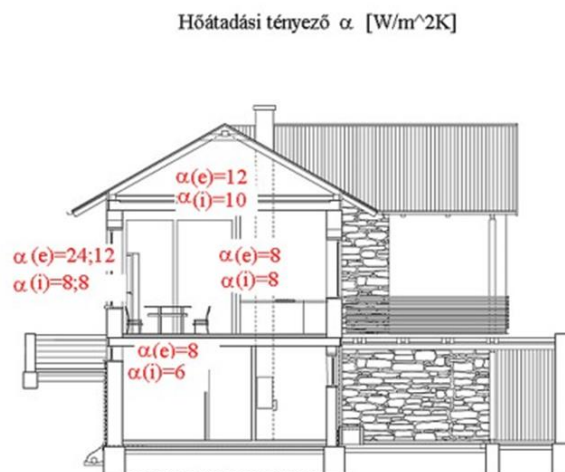
1.3 Hővezetés

A vizsgált közegnek a nagyobb energiájú (melegebb) helyein a molekulák intenzívebb mozgást végeznek. Ezek a molekulák csak nagyon kis mértékben mozdulnak el, viszont a fokozottabb hőmozgásuk miatt a szomszédos részecskéknek energiát tudnak átadni és így részecskéről részecskére áramlik a hő. A hőterjedésnek ezen fajtája szilárd testekre jellemző. [5] [12] [13]

2. Hőterjedés folyamatai falszerkezetekben

2.1 Hőátadás (konvekció)

E kölcsönhatás során két fajta hőterjedési forma érvényesül: hőszugárzás és hőáramlás. Hőáramlás esetén a részecskék saját méretükhöz képest óriási távolságba mozoghatnak el. Ilyenkor az áramlást létrehozó energia a falszerkezet és a falszerkezettel érintkező levegővel van kölcsönhatásban. Ennek erőssége függ és egyenes arányosságban van a levegő mozgásával tehát a széllel. Ha a falszerkezet belső teret határol, a légmozgás eredhet a melegítés folytonossága által keltett cirkulációból. Hőszugárzásról addig a pillanatig beszélhetünk, amíg a két közeg hőmérséklete egyenlővé nem válik. Így megállapítható, hogy a hőátadási tényező értéke magába foglalja a sugárzás és a hőáramlás hőátadási tényezőit. Megkülönböztetünk külső és belső hőátadási tényezőt. A belső hőátadási tényezőt egyszerűbb számolás útján meghatározhatjuk, míg a külsőt a sok termodinamikai és áramlástanai tényezőktől való függése miatt kísérleti alapon tudták meghatározni. A hőátadási tényezők értéke az alábbi ábráról leolvashatóak. [5] [12] [13]



1.ábra: Az épületszerkezetek határoló felületein a hőátbocsátási tényezők értékei. [26]

2.2 Hővezetési tényező, hővezetési ellenállás

Az épületszerkezetek összességére igaz, hogy a hőterjedés valamennyi fajtája megfigyelhető. Ha szeretnénk meghatározni egy falszerkezet hőátbocsátási tényezőjét, azaz az úgynevezett U értékét, ismernünk kell a falszerkezetet alkotó anyagok hővezetési ellenállását.

A hővezetési ellenállások kiszámításához ismernünk kell az egyes építőelemekre vonatkoztatott hővezetési tényezőket.

Ez azt fejezi ki, hogy mennyi hőáram folyik át egy egységnyi felületen egységnyi idő alatt, ha ennek a felületnek a vastagsága is egységnyi abban az esetben, ha a felület két oldala között egységnyi a hőmérsékletkülönbség. [4] [12] [13]

Jele: λ

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

Minden építőanyagra van egy elméleti hővezetési tényező ami a gyári, beépítetlen anyagra vonatkozik.

Az egyes építőanyagokra vonatkozó hővezetési tényező nagysága az alábbiaktól függ:

- sűrűségtől
- pórusmérettől és póruselrendeződéstől
- nedvességtartalomtól
- hőmérséklettől

A beépítés után a környezeti tényezők miatt módosulhat a kappa tényező, amit tapasztalati összefüggések útján korrigálnunk kell.

Így korrekciós tényezőt kell alkalmaznunk, melynek jele a κ (kappa). Energetikai számítások során a nedvesedés miatt kell korrekciót alkalmazni. [12] [13]

A beépített építőanyag korrigált hővezetési tényezőjének kiszámítása:

$$\lambda = \lambda_0(1 + \kappa) \quad (2.1)$$

ahol:

λ = a korrigált érték

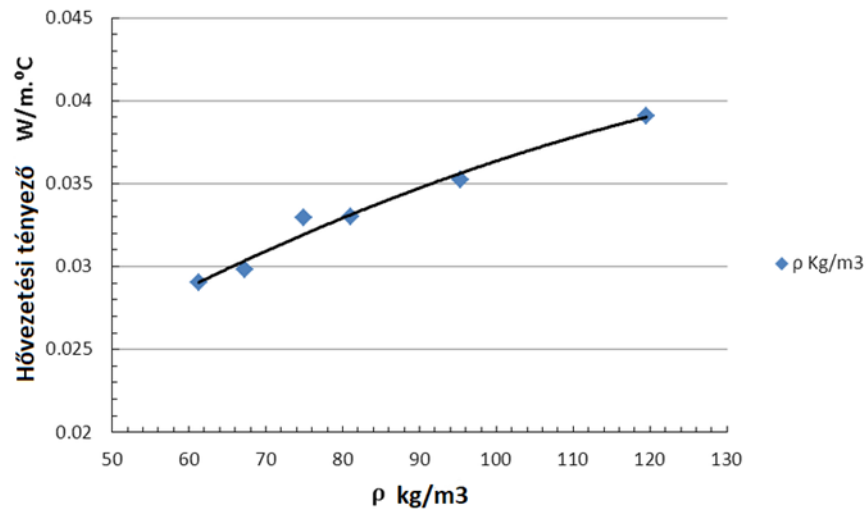
λ_0 = gyári új anyag hővezetési tényezője

κ = korrekciós tényező, a beépítési mód, a használati feltételek függvényében

Beépítés után a hővezetési tényező tehát függ:

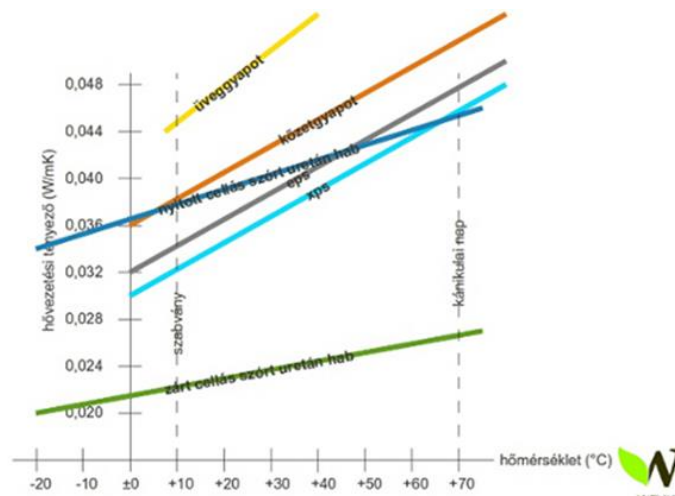
- építési, gyártási nedvességtől
- az építőanyag ülepedésétől
- használati nedvességtől
- az egyes elemek összeillesztésének pontosságától
- légáteresztéstől

A hővezetési tényező és az anyagsűrűség függése:



1.ábra: Üveggyapot hővezetési tényezőjének változása a sűrűség függvényében [2]

Az ábráról jól leolvasható, hogy az üveggyapot hővezetési tényezője a sűrűségének változásával milyen kapcsolatban van. Ha az anyag sűrűsége nő, akkor a hővezetési tényezője is növekedni fog, ez a gyakorlatban a hőszigetelő anyag romlását jelenti. Abban az esetben, ha az anyag sűrűsége csökken, a hővezetési tényező értéke csökken, tehát javul a szigetelőképesége a vizsgált anyagnak. Megállapítható az egyéb szigetelő anyagokra is ez az összefüggés, mivel ha kisebb egy anyag sűrűsége több levegőrészecskét tartalmaz. A levegő hővezetési tényezője $0,024 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ tehát minden esetben kisebb, mint az ábráról leolvasható legkisebb érték. [2]



2.ábra: Különböző anyagok hővezetési tényezőjének változása az anyaghőmérséklet függvényében [4]

Az ábrán megfigyelhető, hogy a hővezetési tényezők, illetve az anyagok hőmérsékletei közt egy lineáris kapcsolat áll fent. Az anyag hőmérsékletét növelve nő a hővezetési tényező értéke, míg a hőmérséklet csökkentés hatására csökken majd az anyag lambda értéke.

A hőmérséklet megváltozása befolyásolja az anyagban lévő, elmozdulni képes részecskék mozgását, emiatt a gyártók által kiadott teljesítménynyilatkozatot egy standard hőmérsékleten adják meg az adott anyagra. Ha nincs megadva egy anyag lambda értéke, akkor az MSZ EN ISO 10456 szabványt alkalmazhatjuk.[4]

Amennyiben ismert a hővezetési tényező számunkra, ki tudjuk számolni a falra vonatkoztatott hővezetési ellenállást. Egyes rétegek hővezetési ellenállása egyenlő a réteget alkotó építőanyag vastagságának és hővezetési tényezőjének hányadosával. Többrétegű falnál az egyes rétegek hővezetési ellenállása kiszámolása után ezeket összegezni kell, abból adódóan, hogy egy olyan rendszert tekintünk, amelyben a rétegek sorosan kapcsolódnak össze. Így ezt az összeget kiegészítve a külső és belső hőátadási ellenállásokkal, megkapjuk az eredő hővezetési ellenállást. [12] [13]

Jele: R

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

3.Hőszigetelő anyagok bemutatása

3.1 Hőszigetelő anyag fogalma

Hőszigetelő anyagnak nevezhetnénk majdnem anyagot, hiszen az az anyag, ami gátolja valamilyen szinten egy felületen keresztül a hő tovaterjedését, bír hőszigetelő tulajdonsággal. Ez abból adódik, hogy az anyagok jellemzői közé tartozik a hővezetési képesség. Az építőanyagok közül azokat, melyek hővezetési tényezőjének értéke 10°C-os középhőmérsékleten mérve nem haladja meg a 0,15 W/mK-t hívjuk hőszigetelő anyagoknak. Manapság a legtöbb hőszigetelésre használt anyag nem haladja meg a 0,06 W/mK-t.

A szigetelőanyagok lehetnek természetes vagy mesterséges anyagok azon belül lehetnek: szálalak, üregesek, porózusak.

Az üregeket levegővel vagy valamilyen gázzal töltik meg, így ezek a szigetelőanyagok sűrűsége viszonylag alacsony. [1] [6] [7]

Szálalak hőszigetelők:

A szálalak anyagok vékony szálakból épülnek fel, mely szálak közt reked valamilyen vastagságú levegőréteg, így biztosítva a kellő szigetelést. [7]

Pórusos hőszigetelők:

A pórusos hőszigetelőanyagok közé tartoznak a hőszigetelő habok, elkészítésük során a szigetelőanyagban a buborékképződésnek köszönhető a szigetelőképeség jelentős része. [7]

Porózus hőszigetelők:

Porózus hőszigetelőanyagokról leginkább a VIP paneleknél találkozhatunk. Ilyenkor az elkészítés során az ömlesztés hatására apró pórusok alakulnak ki. A modern hőszigetelő paneleknek nanoporózusaik vannak, melyek méretei közelítik a levegőmolekula méretét. [7]

3.2 Hőszigetelő anyagok jellemzői, tulajdonságai

Ahhoz, hogy a megfelelő hőszigetelőanyagot ki tudjuk választani egy adott rendszerhez, több fontos szempontot kell megvizsgálnunk. Jellemzően mint minden gépészeti területen, ezekhez az anyagokra is vonatkoznak szabványok, illetve vannak elvárt követelmények. [1]

A hőszigetelőanyagok tulajdonságai, amikre figyelni kell kiválasztásnál a következők [8]:

- a megfelelően kis hővezetési tényező,
- a mechanikai hatásokkal szembeni ellenálló képesség,
- a térfogat- és mérettartás,
- a fizikai és kémiai stabilitás,
- a tűz-, hő- és fagyállóság,
- a kártevőkkel szembeni ellenálló képesség,
- a higroszkóposzág hiánya,
- a fagyhatással szembeni ellenállás és
- a páraáteresztő képesség.

3.3 Hőszigetelők csoportosítása

A hőszigetelő anyagokat 3 nagyobb csoportba sorolhatjuk: előállításuk, kémiai összetételük szerint, épületszerkezeti helyük szerint. [8]

Előállításuk szerint:

Természetben megtalálható anyagok:

- parafa
- expandált fagyapot
- cellulózszigetelés
- nádlemez
- pamut, gyapjú

Mesterséges:

- műanyaghabok(EPS,XPS,PUR)

Kémiai összetételük szerint:

- szerves
- szervetlen

Épületszerkezeti helyük szerint:

- pincefal-hőszigeteléseket,
- lábazati hőszigeteléseket,
- homlokzati hőszigeteléseket,
- talajon fekvő padló hőszigeteléseket,
- padlásfödém-hőszigeteléseket,
- lapostető-hőszigeteléseket,
- magastető hőszigeteléseket,
- hőhidak (koszorúk, áthidalók, épületszerkezeti csatlakozások stb.) hőszigeteléseit és
- épületgépészeti szerkezetek hőszigeteléseit.

3.4 Hőszigetelő anyagok

3.4.1 Expandált polisztirolhab (EPS)

Az polisztirol szigetelőanyagot már a 20. század első felében állították elő, akkor még extrudálással. Később, az 1950-es években sikerült egy másik módszerrel egy jobb szigetelőanyagot létrehozni a polisztirolból, akkor már expandálással. A polimerizált sztirolhoz hajtógázként pentánt kevernek, majd ezután a granulátumhoz vízgőzt adagolnak, ami miatt a megpuhulnak a szemcséi az alapanyagnak.

Mivel nő a hőmérséklet, így a pentán (hajtógáz) az apró polisztirol gyöngyöket sokszorosára növeli, eközben a belsejében zárt cellák alakulnak ki. Ezután a kellő tömörségének eléréséhez egy úgynevezett tömbösítő folyamatra van szükség majd pihentetésre. Az alkalmazandó méretre a darabolást izzószálas vágóval végzik. [1] [7] [8] [9] [29]

A gyártás lépései:

- előhabosítás,
- pihentetés,
- utóhabosítás (szükség szerint),
- tömbhabosítás,
- a blokkok pihentetése,
- a termékek méretre vágása.

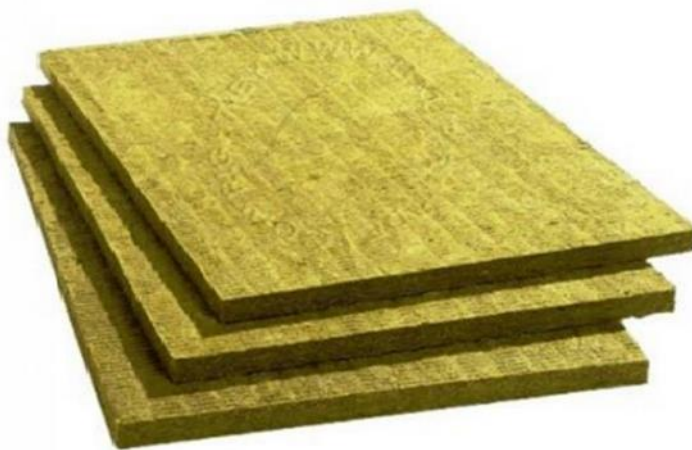
Tulajdonságai közül kiemelendő, hogy körülbelül 98%-ban levegőből áll, így kiváló a hőszigetelő képessége (0,032-0,040 W/mK), ami a cellákba zárt levegő miatt az évek múlásával sem csökken. Könnyen és jól alakítható, emellett nem veszélyes a környezetre és az egészségre sem. Mint minden műanyag, a gyártástól számított 90 napban ez is zsugorodhat. Fontos, hogy valamilyen szintű vizesedésre számítani kell (2....4%) így majd az energetikai számítások során korrigálást szükséges végezni. Gyulladási hőmérséklete 80°C felett van, tűzvédelmi besorolása: E osztály. Sűrűsége meglehetősen alacsony, 15-30 kg/m³. [1] [9]



3. ábra: Austrotherm EPS termék [10]

3.4.2 Kőzetgyapot

A kőzetgyapot az egyik legjobban elterjedt szigetelőanyag szinte a világon. Népszerűsége annak köszönhető, hogy alapanyaga természetes és nagyon sok is áll rendelkezésre belőle, így viszonylag olcsón lehet beszerezni. Komplex megoldást tud nyújtani, hisz kiváló hang- és hőszigetelő. Hővezetési tényezője $0.035\text{--}0.04\text{ W/mK}$ között van. Tűzvédelmi besorolása A1 osztályú, égése közben nem keletkezik sok füst, nem csepeg, olvadáspontja pedig $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett van, tehát gátolja a tűz terjedését. Sűrűsége $20\text{--}200\text{ kg/m}^3$ körül van. Annak köszönhetően, hogy a szálszerkezete nyitott, páraáteresztő, így megfelelő felhasználás után a szigetelésből származó penészedés minimalizálható. Az említett szálszerkezet miatt ez a fajta szigetelés nagy vízterhelésnek van kitéve ami miatt nem ajánlott homlokzati lábazat szigetelésére illetve fordított rétegrendű lapostetők alá sem. További pozitív tulajdonsága közé tartozik az is, hogy tömörödés nem fordulhat elő, így a homlokzaton sem tud szétnyílni és ezzel vonalmenti hőhidat létrehozni. A rengeteg pozitív jellemzője mellett még újra hasznosítható is, mellyel a környezet védelmet és a fenntarthatóságot sem károsítja az alkalmazása révén. [11]



4. ábra: Rockwool kőzetgyapot termék [11]

3.4.3 Aerogélek

Az aerogélek története az 1930-as évek elejére vezethető vissza. Előállításának alapja az, hogy a gélekből a folyadék komponenseket gáznemű anyaggal cserélik ki. Az első aerogélek úgynevezett szilika aerogélek voltak, melyek szilícium-dioxidból lettek előállítva, jelenleg is ez a legszélesebb körben vizsgált és felhasznált aerogél.

Két fő csoportja a szerves illetve a szervetlen aerogélek csoportja. Egy aerogél csoportba sorolása függ a felhasznált anyag természetétől. A szerves aerogélek ismertetőjele az, hogy nagyobb az ellenállásuk mechanikai nyomásra (ebből is adódik, hogy kevésbé törékenyek), mint a szervetlen aerogélek. Az aerogélek közül leginkább kutatott a szilika alapú aerogélek. Számos pozitív fizikai tulajdonsággal bír, ezek közül a legkiemelkedőbb a hővezetési tényezője illetve a rendkívül alacsony sűrűsége. Keresett anyag a nagy belső felülete miatt is. Előnyös jellemzői közé tartozik a hangszigetelő képessége is illetve a dielektromos állandója is nagyon alacsony. Azt lehet mondani, hogy a szilika aerogéleknek valamennyi tudományág számára van alkalmazható pozitív tulajdonsága. Emelítésképpen: repüléstechnika, orvostudomány, gyógyszerészet. Gyakorlati felhasználásuk lehetne még széleskörűbb viszont az gátolja, hogy ezek az anyagok a szilikátokhoz hasonlóan meglehetősen ridegek, így akár kézzel is kárt lehet bennük tenni. Ezért napjainkban rengeteg kutatás folyik azzal kapcsolatban, hogy a szilika aerogéleknek növeljék a mechanikai szívósságát. A tulajdonságai (mind kémiai és fizikai) nagymértékben javítható ha szerves csoportokat juttatunk be a szervetlen vázba, ezt hívjuk szerves-szervetlen hibridizációnak. Ezzel a tevékenységgel meg tudjuk őrizni a szervetlen aerogélek kedvező tulajdonságait is.

Érzékenyek a nedvességre, rendkívül nagy fajlagos felületükön a vízgőzt megkötik, ami a makroszkopikus szerkezetükben kárt tesz. Magas hőmérséklet esetén elveszti méretstabilitását és a mechanikai szilárdsága is nagyon alacsony lesz. [14][15][27][28][32][34][45][46][47][48][49][50][51][52][53][54][55][56]

A kutatásom alatt 4 féle szilika alapú aerogéllal végeztem kísérleteket, a továbbiakban ezeket szeretném bemutatni.

SPACELOFT

A SPACELOFT hőszigetelőanyag egy nanoporotikus aerogél paplanszigetelés amely könnyen alkalmazható padló illetve külső és belső falak esetén. Üvegszállal erősítették a szilika aerogélt annak érdekében, hogy egy iparban szélesebb körben alkalmazható szigetelőanyagot hozzanak létre. Mivel lég- és páraáteresztő, meghagyja a falak szellőzését. Flexibilitása és könnyen deformálhatósága miatt alkalmazható műemléképületekre is, mivel könnyen felveszi a fal esetleges egyenetlenségeit is. A többi eddig bemutatott hőszigetelőanyaghoz képest ennek sokkal jobb a hővezetési tényezője, hisz 10 °C -on ez az érték $0,013\text{ W/mK}$. Sűrűsége 150 kg/m^3 .

Alkalmazását a gyártó 200 °C –nál maximalizálja és tűzvédelmi osztályát tekintve C minősítést kapott. Az építőiparban kapható 5 és 10 mm-es vastagsággal is ez az aerogél hőszigetelő paplan. [16] [17] [18]



5.ábra: SPACELOFT aerogél hőszigetelő paplan [17]

SLENTEX

A SLENTEX aerogél hőszigetelő paplan (másik nevén SPACELOFT A2) a SPACELOFT továbbfejlesztett változata. Amiben leginkább eltér elődjétől, hogy ez nem lobbanékony, gyúlékony. E két tulajdonsága miatt olyan helyekre használhatják ezt fel, ahol tűzvédelmi okokból nem lehet mást. Flexibilitását, pára- és légáteresztő képességét megtartotta, így ezt a típust is lehet alkalmazni műemlék épületeknél. Kereskedelemben a 10 mm-es vastagsággal lehet beszerezni. [19] [20]



6.ábra: SLENTEX aerogél hőszigetelő paplan [19]

PYROGÉL

A PYROGÉL egy szilika aerogél, ami nagyon magas hőmérsékleten is képes jól funkcionálni.

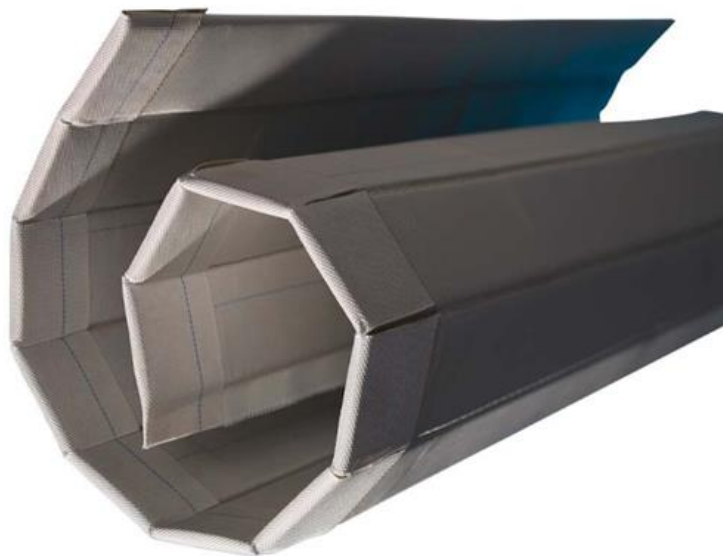
Egy nagyon flexibilis anyagról beszélünk, aminek ez a tulajdonsága abból adódik, hogy főleg csövek szigetelésére lett tervezve. Hővezetési tényezője 50 °C-on is 0.0163 W/mK ami elég magasnak számít a többi hőszigetelőanyaghoz képest. [20] [21]



7.ábra: Pyrogél hőszigetelő [21]

Microtherm

Amiben különbözik az eddig bemutatott hőszigetelésektől, hogy ennél rendkívül magas illetve alacsony hőmérsékletnél is alacsony marad a lambda értéke, 800 °C-on 0.034 W/mK míg -170 °C-on. ez az érték egészen 0.015 W/mK –ig csökken. Nem éghető, a hőhidak elkerülése érdekében nagyobb és egyedi darabokat is lehet készíteni belőle.



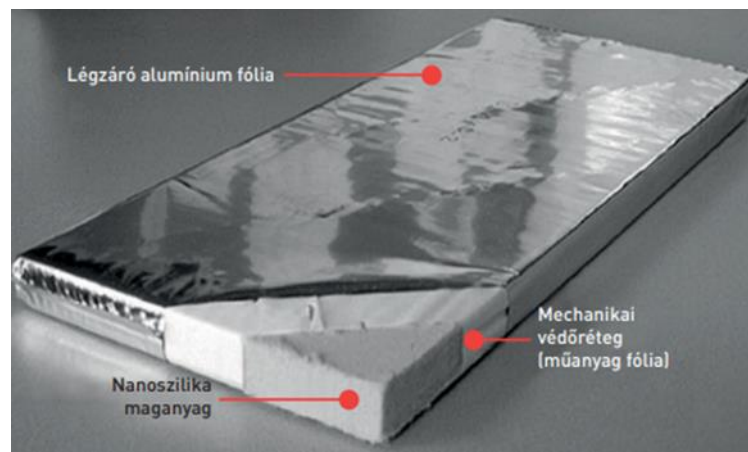
8.ábra: Microtherm hőszigetelő anyag [30]

3.4.4 Vákuumpanelek

Már több, mint egy évszázada ismert az a tény, hogy a vákuum jó szigetelést tud biztosítani. Jelenleg a tudományos tények szerint nincs is a vákuumnál jobb hőszigetelő. 1930-ban jelent meg az első gumi vákuum panel, ami egy porózus anyagot tartalmazott.

Az areogélek megjelenése után jöttek a nagyobb áttörések, hiszen a nanoszerkezetű anyagok hővezetési tényezője sokkal jobb volt az addig ismerteknél. Az első vákuumpanelt 1963-ban készítették el. [14]

A vákuumpanelek felépítése a következő: áll egy maganyagból illetve az ezt bevonó anyagból. A maganyag lehet valamilyen szálas anyag, kovaföld, nanoszilika por és műanyaghab is. A bevonóanyag lehet csak acélfólia, viszont az újabb módszer szerint két különböző anyagból kell állnia ennek a bevonó anyagnak ami acélfólia és PE fólia. Így elérhető egy hosszabb élettartam, hiszen nagyobb a mechanikai védelem. Annak érdekében, hogy a vákuumot minél tovább bent tudják tartani getter anyagot kell a maganyagon kívül elhelyezni a panel belsejében, hisz az élettartam alatt beszivárgott molekulákat ez fogja majd megkötni. [14]



9.ábra: Vákuumpanel felépítése [14]

Előnyös tulajdonsága, hogy nagyon jó hővezetési tényezővel rendelkezik ez az érték 0,0045-0.008 W/mK. Továbbá a panel teljes mértékben vízzáró így semmiféle nedvességet nem vesz fel és nem enged át. Ezért ez alkalmazható lapostetők, teraszok szigetelésére. A legújabb vákuumpanelek teljesen tűzbiztosak is, köszönhetően a nagyon vékony brómozott akril kopolimer külső kérgének. [14] [23]

Hátrányai közé tartozik az, hogy rendkívül könnyen sérül és egy kis sérülés is teljesen tönkre teheti a vákuumpanelt.

Ilyenkor a hővezetési tényezője megnövekedhet akár 0.02 W/ mK-re is. Így egyes országokban a vákuumpanelekkel való hőszigetelés nagyon szigorú szabályok vonatkoznak.

Ilyen például az is, hogy úgy kell tekinteni a vákuumpanelekre amit a ház szigetelésére használnak, mintha az összes panel sérült lenne. A vákuumpanel negatív tulajdonságai között meg kell azt is említeni, hogy már előre lehet tudni, hogy ezeknél a vákuumpaneleket mikor kell majd kicserélni. Tehát nem szabad úgy beépíteni ezeket a falszerkezetbe úgy, hogy túl sok anyagi és időbeli ráfordítást igényeljen a cseréjük. [14]

4. Aerogélek hőtechnikai tulajdonságainak vizsgálata

4.1. Mérési módszer bemutatása

A kísérletet 4 különböző aerogéllal végeztem el, ezek voltak: Spaceloft, Slentex, Pyrogél és a Microtherm. Első lépésként mind a négy típusú hőszigetelőanyagot egy szárítókamrába helyeztem. Miután a megfelelő mennyiségű mintám kiszáradt, lemértem azok súlyát és oldalainak hosszát és szélességét. Ezt követően a laborban a rendelkezésemre álló Netzsch Lambda HFM 446 mérőműszer segítségével meghatároztam az egyes aerogélek hővezetési tényezőinek értékét. A következő lépésben a műszerből kivett mintát egy kereskedelemben kapható vákuum fóliázó gép segítségével levákuumoztam. Majd még egyszer lemértem a hővezetési tényező értékét így is. Ezután összehasonlítottam a kapott értékeket.

4.2 Felhasznált berendezések bemutatása

Venticell 111 szárítókamra:

A Venticell 111 egy 111 literes gyors és precíz laboratóriumi szárítógép. A kamra maximális hőmérséklet értéke elérheti a 250/300 °C-os hőmérsékletet is. A kamrában kényszerített levegőkeringtető rendszer garantálja az anyagok szárításához, melegítéséhez illetve sterilizálásához szükséges homogén hőmérséklet eloszlást. Az ajtó nyitása után a berendezés rövid időn belül ki tudja egyenlíteni a belső hőmérsékletet. Működtetése gazdaságos, ami a gyors temperálási eljárások gyors sebességének köszönhető, magas páratartalmú anyagok esetén is rendkívül jó szolgálatot tesz. Van lehetőség hozzá nyomtatót vagy számítógépet csatlakoztatni. [24]



10.ábra: Venticell 111 szárítóberendezés [24]

Netzsch Lambda HFM 446 mérőműszer:

A Netzsch Lambda HFM 446 mérőműszer segítségével hőszigetelő anyagok, polimerek, aerogélek nem szőtt anyagok és sok másik féle anyag hővezetési tényezőjét tudjuk mérni.

A mérőeszköz a következő szabványok alapján lett kifejlesztve: ASTM C518, ISO 8301, JIS A1412, DIN EN 12664 és a DIN EN 12667. A mérés eredményének megtekintésére kétféle módot ajánl a gyártó, az egyszerűbb mód amikor csak a műszerbe integrált nyomtató által nyomtatott papírt nézzük illetve csatlakoztathatjuk asztali géphez is, így megtudjuk tekinteni a laboron kívül is a mért eredményeket. A műszer két lapja egységesen 20 cm*20 cm nagyságú ezekkel a műszer beállítástól függően tudja terhelni a mért anyagot. Szintén ezeknek a lapoknak a hevítésével tudja a megfelelő hőmérséklet különbséget előállítani. A két lapon elhelyezett precíz hőárammérők felelősek a végeredményért. A mérést úgy végeztem a műszerrel, hogy próbáltam 17 cm * 17 cm területű anyagot kivágni az egyes aerogélekből, hiszen a vákuum zacskók mérete nem tette lehetővé, hogy ennél nagyobbak legyenek a minták. [25]



11.ábra: Netzsch Lambda HFM 446 [25]

SilverCrest vákuumfóliázó berendezés:

A vákuumfóliázó típusa SV 125 C6-os, 125 W teljesítményre képes. Maximális munkahossza 300 mm ilyen hosszan tudja a műanyagot leforrasztani vákuumozás után. Egy 0.75 baros vákuumszivattyú végzi a levegő kiszívását.



12.ábra: SilverCrest vákuumozó berendezés

4.3 Hővezetési tényező mérése

A mérések során négyféle aerogél mértem, típusonként két-két mintával. A mérések átlagos paramétereit az alábbi táblázatban szemléltetem.

1.táblázat: Kiindulási értékek

Megnevezés:	Hossz: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]
Microtherm	16,9	17,05	90,95	1,00755
Pyrogél	17	17,25	59,85	0,946631
Spaceloft	17,3	17,2	43,1	1,022658
Slentex	17	17,15	48,9	0,9861535

A hővezetési tényező mérési folyamata:

A mérési folyamat során a mérőműszer 3 különböző hőfoklépcsőnél, állandó $20\text{ °C } \Delta T$ érték mellett vizsgálta meg a hővezetési tényező értékét. Az így kapott hővezetési tényezőket ábrázolni fogom a hőmérséklet függvényében. A mérések végén pedig szemléltetem a hővezetési tényezők százalékos csökkenését az egyes hőfoklépcsőkre nézve mind a négy hőszigetelő anyagnál.

Mérési eredmények:

2.táblázat: Mért eredmények átlaga Microtherm aerogélnél

Microtherm	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,0244055	2,2
2	10	20	0,0246845	2,218895
3	20	20	0,0249665	2,218844

3.táblázat: Mért eredmények átlaga Pyrogél aerogélnél

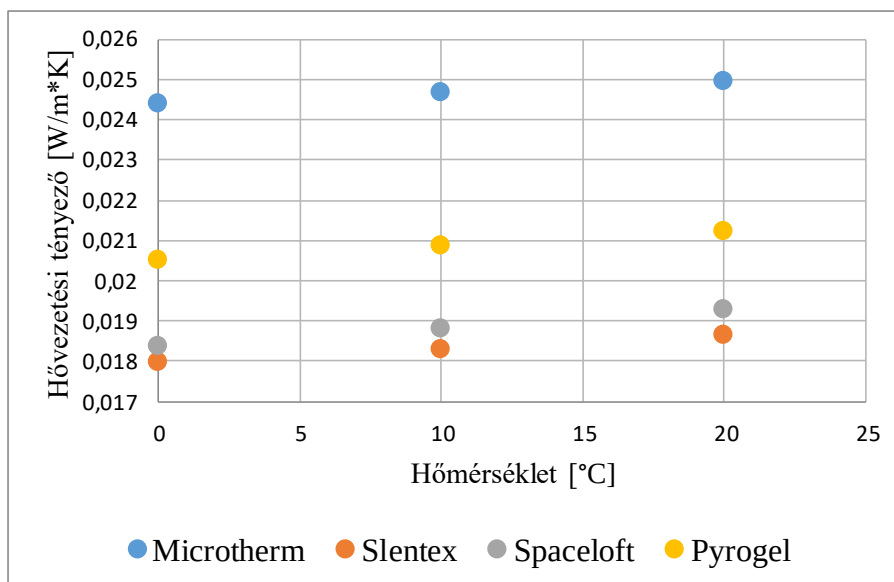
Pyrogél	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,020495	2,4
2	10	20	0,020868	2,336417
3	20	20	0,0212475	2,335508

4.táblázat: Mért eredmények átlaga Spaceloft aerogélnél

Spaceloft	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,0183575	2,2
2	10	20	0,0188135	2,185572
3	20	20	0,0192835	2,1850905

5.táblázat: Mért eredmények átlaga Slentex aerogélnél

Slentex	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,017956	2,3
2	10	20	0,018296	2,2583475
3	20	20	0,018632	2,2579945



13.ábra: A mért hőszigetelőanyagok hővezetési tényezőjének hőmérsékletfüggése

Az ábráról jól leolvasható, hogy a legjobb hőszigetelő tulajdonsággal a Slentex nevű aerogél bír melynek a hővezetési tényezője 18 [mW/m*K] körül van 10 °C-os átlaghőmérsékleten. Míg a legrosszabbal ezek közül a Microtherm hőszigetelő anyag melynek 25 [mW/m*K] a hővezetési tényezője 10 °C-os átlaghőmérsékleten.

A mérés következő lépése az volt, amikor az előző anyagokat vákuumfóliába helyeztem és levákuumoztam. Ennek hatására változtak a külső paraméterei is.

6.táblázat: Vákuumfóliázott anyagok paraméterei

Megnevezés:	Hossz: [cm]	Szélesség: [cm]	Tömeg: [g]	Vastagság: [cm]
Microtherm	16,9	17,05	97,9	1,01
Pyrogél	17	17,25	68,3	0,8820165
Spaceloft	17,3	17,2	50,55	0,94699
Slentex	17	17,15	52,55	1,0103

A fóliában lévő levákuumozott hőszigetelőanyagok forrasztott oldalát visszahajtottam és leragasztottam. A ragasztó megszáradása után újra lemértem a berendezés segítségével a hővezetési tényezőket amiket a következő táblázatokban ismertetni fogok.

7.táblázat: Mért eredmények átlaga vákuumozott Microtherm aerogélnél

Microszálas	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,01984	2,2
2	10	20	0,0203365	2,21171
3	20	20	0,020906	2,211699

8.táblázat: Mért eredmények átlaga vákuumozott Pyrogél aerogélnél

Pyrogél	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,0171525	2,5
2	10	20	0,0176605	2,486141
3	20	20	0,0182035	2,486063

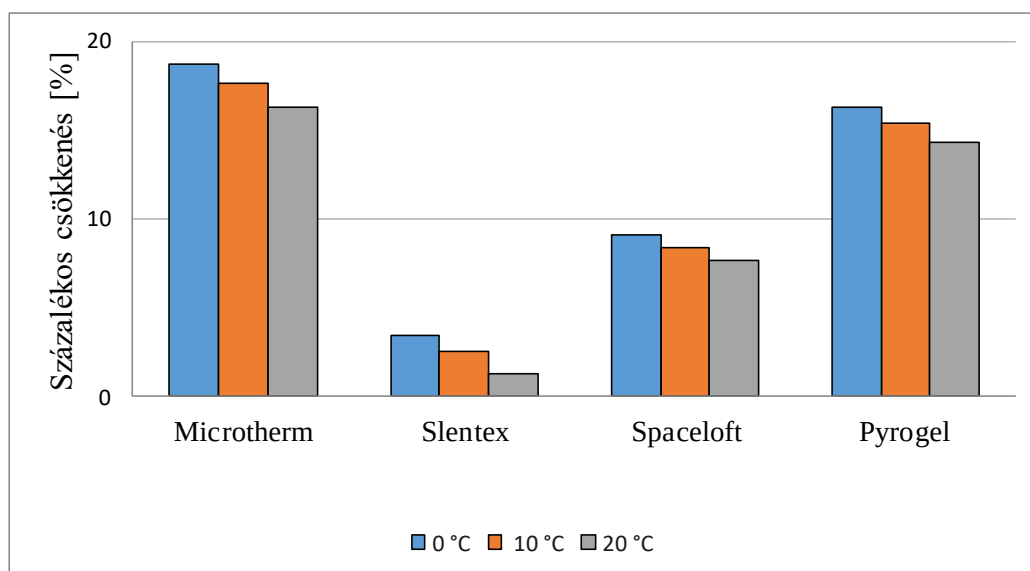
9.táblázat: Mért eredmények átlaga vákuumozott Spaceloft aerogélnél

Spaceloft	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,016693	2,2
2	10	20	0,0172425	2,4518005
3	20	20	0,0178095	2,451711

10.táblázat: Mért eredmények átlaga Slentex aerogélnél

Slentex	Mért hőmérséklet		Hővezetési tényező	Hiba
	Átlag	Delta		
	[°C]	[K]		
1	0	20	0,0173385	2,2
2	10	20	0,017842	2,21171
3	20	20	0,0183995	2,211699

A következő lépésben összehasonlítottam az elsőnek, vákuumozás nélkül kapott hővezetési tényezőket a vákuumozás utáni értékekkel. Látható, hogy a második esetben mindegyik esetben csökkent a hővezetési tényező értéke. Az eredeti hővezetési tényezőket összehasonlítva a vákuumozás utániakkal kaphatjuk meg az alábbi ábrán látható hővezetési tényezők százalékos csökkenését.



14.ábra: Vizsgált hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjének százalékos csökkenése vákuumozás után [Saját ábra]

5. A választott mintaépület vizsgálata

Az egyes szigetelőanyagok egyéb fontos tulajdonságainak bemutatásához választottam egy mintaépületet. Olyan épületet szerettem volna választani, amiből környezetemben illetve, az szerte Magyarországon is sok van. Választásom befolyásoló tényezői közé sorolnám a mintaépület külső falainak rétegrendjét, építési idejét és azt, hogy ennek az épületnek a számításokhoz fontos adatai elérhetőek legyenek számomra. Így esett a választásom nagyszüleim házára, ami Debrecenben található. Ez a ház 1962-ben épült, a korra jellemző követelmények betartásával, az akkor alkalmazott építőanyagokból. A ház fontosabb jellemzői közé sorolnám, hogy a dolgozatom írásának idején a külső vályog falazaton nincsen semmilyen hőszigetelő anyag. Az épület 8,01 [m] * 8,38 [m] alapterületű, melyből a nettó alapterület 51,32 négyzetméter, belmagassága 2,80 méter, a padló szintje +0,60 [m]. A ház műanyag nyílászárókkal rendelkezik. A ház hőszükségletének ellátásáért egy hagyományos 24 [kW] teljesítményű kombi gázkazán felel, használati melegvíz igényét egy villanybojler szolgálja ki. A ház megépítése óta karban volt tartva, így megőrizte remek állapotát korához képest. Vizsgálni fogom mennyi és milyen vastagságú szigetelőanyagot kell használnunk az azonos hőátbocsátási tényező eléréshez. Továbbá az egyes szigetelőanyagok költségbeli megtérülésére is kitérek.

A következő nagyobb rész a szigetelőanyagok alapanyagainak előállítása, gyártása illetve szállítása során a környezetbe kibocsátott károsanyagok mennyiségét fogom vizsgálni a három alkalmazni kíván hőszigetelő anyagnak.

Ezt követően számítás során mutatom be, mennyi idő eltelte után lesz egyenlő a hőszigetelőanyagok szén-dioxid lábnyoma azzal az értékkel, amely a földgáz elégetésével a levegőbe kerülő károsanyagok mennyiségére meghatározok. Így egy környezeti szempontból fontos megtérülés vizsgálatát végzem majd el.



15. ábra: Választott mintaépület Debrecenben [Saját fénykép]

5.1. Épület falszerkezete

Az épület hőátbocsátási tényezőjének kiszámolásához használt hőátadási tényezők az 1.ábráról olvashatók le.

Szigeteletlen külső falszerkezet rétegrendje:

$$\text{-2 cm cementvakolat} \quad \lambda = 0,91 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-38 cm vályogfal} \quad \lambda = 0,6 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-2 cm mészvakolat} \quad \lambda = 0,81 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Hőátbocsátási tényezője és kiszámítása:

$$U_{kfal} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{d_j}{\lambda_{j,be}} + \frac{1}{\alpha_i}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (5.1)$$

$$U_{kfal} = \frac{1}{\frac{1}{24} + \frac{0,02}{0,91} + \frac{0,38}{0,6} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{8}} = 1,181 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (5.2)$$

Szigetelt külső falszerkezet rétegrendje:

$$\text{-2 cm cementvakolat} \quad \lambda = 0,91 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-1 cm Spaceloft hőszig. paplan} \quad \lambda = 0,0135 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] \quad [18]$$

$$\text{-38 cm vályogfal} \quad \lambda = 0,6 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-2 cm mészvakolat} \quad \lambda = 0,81 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Hőátbocsátási tényezője:

$$U_{kfal} = \frac{1}{\frac{1}{24} + \frac{0,02}{0,91} + \frac{0,01}{0,0135} + \frac{0,38}{0,6} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{8}} = 0,63 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (5.3)$$

Ha Spaceloft hőszigetelő paplan hőátbocsátási ellenállását EPS-sel szeretnénk kiváltani, akkor a jelenleg piacon lévő méretek körül a 30 mm-es vastagságút kell választanunk ugyanis annak hővezetési tényezője 0,0393 [W/mK].

Ha EPS helyett kőzetgyapottal szeretnénk kiváltani, akkor is 30 mm-es vastagságban kapható kőzetgyapot táblákat kell választani igaz, hogy ennek a hővezetési tényezője alacsonyabb az EPS-nél, körülbelül 0,039 [W/mK]. A szigetelés külső vakolására szánt dryvit réteg hőátbocsátási ellenállása elhanyagolható.

EPS-sel szigetelt külső fal hőátbocsátási tényezője:

$$U_{kfal} = \frac{1}{\frac{1}{24} + \frac{0,02}{0,91} + \frac{0,03}{0,0393} + \frac{0,38}{0,6} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{8}} = 0,621 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (5.4)$$

Kőzetgyapottal szigetelt külső fal hőátbocsátási tényezője:

$$U_{kfal} = \frac{1}{\frac{1}{24} + \frac{0,02}{0,91} + \frac{0,03}{0,039} + \frac{0,38}{0,6} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{8}} = 0,621 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (5.5)$$

Az U tényezőkből láthatóak a minimális eltérések az aerogéllal szigetelt külső falhoz viszonyítva. Az aerogélt és a másik két hőszigetelő anyagot is úgy választottam ki, hogy lehessen szabványos méretet választani az aerogél helyettesítésére szánt EPS-t és kőzetgyapotot. Ezeknek az eltéréseknek a nagysága nem befolyásolja az épület téli hőszükségletét akkora mértékbe, hogy ezeket a különbségeket az egyszerűség kedvéért ne lehessen elhanyagolni.

5.2 Az épület további határoló szerkezeteinek rétegrendje, hőátbocsátási tényezője

Padlásfödém rétegrendje:

-2 cm mészvakolat	$\lambda = 0,81 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
-2 cm deszkázat	$\lambda = 0,19 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
-10*10 gerendázat, méterenként	$\lambda = 0,0406 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
-2cm deszkázat	$\lambda = 0,19 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
-6 cm agyagtapasztás	$\lambda = 1,1 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

$$U_{pföd} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0,02}{0,19} + \frac{0,1}{0,0406} + \frac{0,02}{0,19} + \frac{0,06}{1,1} + \frac{1}{12}} = 0,341 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (5.6)$$

Talajra fektett padló:

$$\text{-50 cm homokfeltöltés} \quad \lambda = 0,58 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-10 cm aljzatbeton} \quad \lambda = 1,28 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

-bitumenkenés

$$\text{-2 cm parketta} \quad \lambda = 0,19 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{így } \psi = 1,45 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Belső fal (12 cm)

$$\text{-1,5 cm mészvakolat} \quad \lambda = 0,81 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-12 cm vályogfal} \quad \lambda = 0,6 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\text{-1,5 cm mészvakolat} \quad \lambda = 0,81 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$U_{kfal} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,12}{0,6} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{1}{8}} = 2,05 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (5.7)$$

5.3 Helyiségek hőszükségletének számítása

A téli hőszükséglet számítását az MSZ 04-140/3-87 szerint végeztem, az épület energetikai jellemzőit a 7/2006 TNM követelményei szerint határoztam meg. Mivel a téli hőszükségletet teljes mértékben a gázkazán fedezi, így, hogy a végső eredmény valóságosabb legyen, átlagoltam az utóbbi két év gázfogyasztását. Így meg tudom határozni a fűtési órák számát az épület hőszükségletéből, illetve az éves gázfogyasztásból.

Előszoba: alapterület: $5,64 \text{ m}^2$ belmagasság: $2,8 \text{ m}$ térfogat: $15,792 \text{ m}^3$ $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Padlásfödém hővesztesége: 56 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 250 W

Külső fal(szigetelés nélkül): 470 W

Külső ajtó ($1,1 \cdot 2,3$): 89 W

Hőhidak veszteségei: 69 W

Filtráció általi veszteség: 96 W (0,5 h⁻¹)

Összesen: 1030 W

Konyha: alapterület: 9 m² belmagasság: 2,8 m térfogat: 25,2 m³ t = 20 °C

Padlásfödém hővesztesége: 90 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 152 W

Külső fal(szigetelés nélkül): 277 W

Külső ablak (1,2*1,5): 71 W

Hőhidak veszteségei: 49 W

Belső hőtranszmisszió: 40 W

Filtráció általi veszteség: 154 W (0,5 h⁻¹)

Összesen: 844 W

Szoba: alapterület: 17,48 m² belmagasság: 2,8 m térfogat: 48,944 m³ t = 21 °C

Padlásfödém hővesztesége: 175 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 437 W

Külső fal(szigetelés nélkül): 879 W

Külső ablak (1,8*1,4): 109 W

Hőhidak veszteségei: 106 W

Belső hőtranszmisszió: 88 W

Filtráció általi veszteség: 308 W (0,5 h⁻¹)

Összesen: 2112 W

Nappali: alapterület: 12 m² belmagasság: 2,8 m térfogat: 33.6 m³ t = 21 °C

Padlásfödém hővesztesége: 120 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 365 W

Külső fal(szigetelés nélkül): 725 W

Külső ablak (1,8*1,4): 109 W

Hőhidak veszteségei: 100 W

Filtráció általi veszteség: 212 W $(0,5 h^{-1})$

Összesen: 1631 W

Fürdőszoba: alapterület: $5 m^2$ belmagasság: $2,8 m$ térfogat: $14 m^3$ $t = 24 ^\circ C$

Padlásfödém hővesztesége: 57 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 261 W

Külső fal(szigetelés nélkül): 578 W

Külső ablak ($0,6*0,6$): 17 W

Hőhidak veszteségei: 65 W

Belső hőtranszmisszió: 172 W

Filtráció általi veszteség: 98 W $(0,5 h^{-1})$

Összesen: 1281 W

Kamra: alapterület: $2,2 m^2$ belmagasság: $2,8 m$ térfogat: $6,16 m^3$ $t = 12 ^\circ C$

Padlásfödém hővesztesége: 15 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 35 W

Külső fal(szigetelés nélkül): 79W

Hőhidak veszteségei: 11 W

Filtráció általi veszteség: 113 W $(2 h^{-1})$ – padlásfeljáró miatt

Összesen: 253 W

A kamra hőszükséglete a belső transzmissziós áramokból van fedezve, így a következőkben a kamra hőszükségletét nem fogom számolni.

Az épület téli hőszükséglete összesen a külső fal szigetelése nélkül: 6895 W.

5.4 Helyiségek szigetelés utáni hőszükségletének számítása

A számításokat az aerogéllal szigetelt külső fal hőátbocsátási tényezőjének értékével fogom számítani.

Előszoba: alapterület: $5,64 \text{ m}^2$ belmagasság: $2,8 \text{ m}$ térfogat: $15,792 \text{ m}^3$ $t = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

Padlásfödém hővesztesége: 56 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 250 W

Külső fal(szigeteléssel): 250 W

Külső ajtó ($1,1 \times 2,3$): 89 W

Hőhidak veszteségei: 69 W

Filtráció általi veszteség: 96 W ($0,5 \text{ h}^{-1}$)

Összesen: 810 W

Konyha: alapterület: 9 m^2 belmagasság: $2,8 \text{ m}$ térfogat: $25,2 \text{ m}^3$ $t = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

Padlásfödém hővesztesége: 90 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 152 W

Külső fal(szigeteléssel): 148 W

Külső ablak ($1,2 \times 1,5$): 71 W

Hőhidak veszteségei: 49 W

Belső hőtranszmisszió: 40 W

Filtráció általi veszteség: 154 W ($0,5 \text{ h}^{-1}$)

Összesen: 715 W

Szoba: alapterület: $17,48 \text{ m}^2$ belmagasság: $2,8 \text{ m}$ térfogat: $48,944 \text{ m}^3$ $t = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

Padlásfödém hővesztesége: 175 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 437 W

Külső fal(szigeteléssel): 461 W

Külső ablak ($1,8 \times 1,4$): 109 W

Hőhidak veszteségei: 106 W

Belső hőtranszmisszió: 88 W

Filtráció általi veszteség: 308 W ($0,5 \text{ h}^{-1}$)

Összesen: 1680 W

Nappali: alapterület: 12 m^2 belmagasság: $2,8\text{ m}$ térfogat: $33,6\text{ m}^3$ $t = 21\text{ °C}$

Padlásfödém hővesztesége: 120 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 365 W

Külső fal(szigeteléssel): 388 W

Külső ablak ($1,8*1,4$): 109 W

Hőhidak veszteségei: 100 W

Filtráció általi veszteség: 212 W ($0,5\text{ h}^{-1}$)

Összesen: 1294 W

Fürdőszoba: alapterület: 5 m^2 belmagasság: $2,8\text{ m}$ térfogat: 14 m^3 $t = 24\text{ °C}$

Padlásfödém hővesztesége: 57 W

Talajra fektetett padló hővesztesége: 261 W

Külső fal(szigeteléssel): 308 W

Külső ablak ($0,6*0,6$): 17 W

Hőhidak veszteségei: 65 W

Belső hőtranszmisszió: 172 W

Filtráció általi veszteség: 98 W ($0,5\text{ h}^{-1}$)

Összesen: 1017 W

Ezzel a szigeteléssel az épület téli hőszükséglete összesen: 5520 W . vagyis $5,52\text{ kW}$.

Tehát látható, hogy a hőszigeteléssel $1,375\text{ kW}$ -tal csökken a ház hőszükséglete.

5.5 Szigetelés megtérülése az egyes szigetelőanyagokkal

A téli hőszükséglet kielégítésére az épületet csak gázzal fűtik. Visszamenőleg a gázfogyasztás két éves átlaga 1497 m^3 volt, mely mai árak szerint beleesik még a rezsicsökkentett értékbe, ami Magyarországon 102 Ft/m^3 . Így az épület leszigetelése nélkül az éves gázszámla kerekítve 152700 Ft volt. Ha ezt az épületet leszigeteljük az eddig vizsgált anyagokkal, akkor azt kapjuk, hogy a kezdeti hőszükséglet 80%-ára csökken. Ez a 20%-os javulás azt jelenti, hogy az új gázfogyasztás is 20%-kal csökken, így 1198 m^3 lesz az új fogyasztás. Ezt a különbséget, ami 299 m^3 kapjuk azt, hogy éves szinten a megtakarítás 30500 forint.

A ház szigetelni kívánt felületét úgy kapjuk, ha az épület külső falainak felületeiből kivonjuk az ablakok felületét. Így az égtájak szerinti felületek a következő méretekkal rendelkeznek:

$$\text{Nyugat: } 8,01 \cdot 2,8 - 0,6 \cdot 0,6 = 22,068 \text{ m}^2 \quad (5.8)$$

$$\text{Kelet: } 8,01 \cdot 2,8 - 1,1 \cdot 2,3 = 19,898 \text{ m}^2 \quad (5.9)$$

$$\text{Észak: } 8,38 \cdot 2,8 - 2 \cdot 1,8 \cdot 1,4 = 18,424 \text{ m}^2 \quad (5.10)$$

$$\text{Dél: } 8,38 \cdot 2,8 - 1,2 \cdot 1,5 = 21,664 \text{ m}^2 \quad (5.11)$$

Az ablakkávák mélysége 10 cm, így ezeknek összes felülete: $2,06 \text{ m}^2$

A szükséges szigetelést tehát összesen: $84,114 \text{ m}^2$

Ennél az értéknél viszont a valóságba több szigetelőanyagot kell venni, hiszen a vágások során lesznek olyan darabok, melyeket nem lehet felhasználni. Így a kapott értéktől körülbelül 7,5%-kal többlet fogok számolni. Ez az érték 90 m^2 . A továbbiakban a hőszigetelések megtérülésének számításánál feltételezem, hogy a hőszigetelő anyagok alkalmazása során ugyan olyan segédanyagokat (például: ragasztót, hálót) használunk, Így azoknak az anyagoknak költségével és a munkadíjjal sem számolok.

Szigetelés megtérülése EPS hőszigetelő anyagra:

Választott EPS adatai[38]:

Név: Izostir EPS 80 1000 mm x 500 mm x 30 mm

Hővezetési tényező: 0,0393 W/mK

Sűrűség: 15 kg/m³

Beszerzési ár: 711 Ft/m²

A szigetelés költsége:

$$711 \text{ Ft/m}^2 \cdot 90 \text{ m}^2 = 63990 \text{ Ft} \quad (5.12)$$

Mivel éves szinten 30500 forintot takaríthatunk meg a mintaépületnél, így a szigetelőanyag költségének megtérülése a jelenlegi kedvezményes földgáz és szigetelőanyag ár mellett 2,12 év.

Szigetelés megtérülése kőzetgyapot hőszigetelő anyagra:

Választott közetgyapot adatai [35]:

Név: Rockwool Steprock HD 1000 x 600 x 30 mm

Hővezetési tényező: 0,039 W/mK

Sűrűség: 140 kg/m³

Beszerzési ár: 2 337 Ft/m²

A szigetelés költsége:

$$2337 \text{ Ft/m}^2 * 90 \text{ m}^2 = 210330 \text{ Ft} \quad (5.13)$$

Mivel éves szinten 30500 forintot takaríthatunk meg a mintaépületnél, így a szigetelőanyag költségének megtérülése a jelenlegi kedvezményes földgáz és szigetelőanyag ár mellett 6,89 év. Hozzá kell tennünk, hogy az EPS-hez képest, ennek a szigetelőanyagnak a páraáteresztő képessége, amit igenis figyelembe kell vennünk egy vályogból épült háznál. Hiszen a vályog épület természetesen tartja a ház páratartalmát. Így egy komfortosabb házat kaphatunk abban az esetben, ha légáteresztő szigetelést választunk.

Szigetelés megtérülése aerogél hőszigetelő anyagra:

Választott aerogél adatai[40]:

Név: Spaceloft 10mm

Hővezetési tényező: 0,0135 W/mK

Sűrűség: 150 kg/m³

Beszerzési ár: 23475 Ft/m²

A szigetelés költsége:

$$23475 \text{ Ft/m}^2 * 90 \text{ m}^2 = 2112750 \text{ Ft} \quad (5.14)$$

Mivel éves szinten 30500 forintot takaríthatunk meg a mintaépületnél, így a szigetelőanyag költségének megtérülése a jelenlegi kedvezményes földgáz és szigetelőanyag ár mellett 69,27 év. Ez az érték meglehetősen magas, hiszen jelenleg az drága az előállítási költsége az aerogéleknek. Egyes szakirodalmak szerint [40], ez a jelenlegi ár akár 70-90%-os csökkenésen is áteshet az elkövetkezendő években. Ez forintosítva azt jelenti, hogy egy négyzetméter aerogél szigetelőanyag 7043 Ft-tól egészen 2348 Ft-ig csökkenhet. Pozitív tulajdonságaként megemlíteném, hogy ezeknek az aerogéleknek jelentős része kapható folyóméterben, amivel így kevesebb lesz a hőhíd. Képesek egyedi aerogéleket is gyártani, ami nyilvánvalóan nem olcsóbb, viszont a hőhidak számát minimálisra csökkentheti.

Mivel így nagyobb felületekben lehet a szigetelőanyagot a ház falára tenni, így a szigetelés e módusa lerövidül, mely a munkadíj csökkenését eredményezi.

A városokban egyre kisebb telkeket, házhelyeket lehet találni, tehát egyre kisebb nettó alapterületű házakat lehet építeni a megszabott beépítési törvények miatt, amelyek maximalizálják az építendő ház magasságát és alapterületét is. Probléma lehet olyan esetekben is, amikor egy felújítandó épületnek a homlokzata az utca felőli telekhatárra esik, hiszen, meg van határozva az utca két oldalán lévő házak minimum távolsága, így lehet, hogy nem tudják azt a homlokzatot kellően leszigetelni emiatt.

Ez a szigetelésekre úgy hat ki, hogy egyre kisebb vastagságú, de szuper alacsony lambda értékkel rendelkező anyagokat próbálnak létrehozni. Ennek tökéletes példája ez az aerogél is. Így nem szabad azt sem figyelmen kívül hagyni, hogy az aerogél ebben az esetben is háromszor kisebb vastagsággal rendelkezik a másik két hagyományos szigetelőanyagnál.

Szeretném szemléltetni, egy egyszerű számítás útján, mennyi területet lehet megtakarítani, ha EPS és közetgyapot helyett az aerogélt választjuk. Ehhez tudnunk kell a mintaépület kerületét, ami $2 \cdot 8,38 \text{ méter} + 2 \cdot 8,01 \text{ méter} = 32,78 \text{ méter}$. Ha a Spaceloft aerogélt alkalmazzunk, ami 10 mm vastagsággal rendelkezik, akkor a ház új kerülete: 32,82 méter. Ha a hagyományos szigetelőanyagokkal szigeteljük, akkor a ház kerülete (mivel ezeknek az anyagoknak 30 mm vastagságú típusa lesz egyenértékű 10 mm aerogélnak a hőátbocsátási ellenállásával) tehát: 32,9 méter. Mivel 20 mm-rel vastagabb lesz így a szigetelés, ebből számolhatunk egy felületet, ami:

$$2 \cdot 0,02 \cdot (8,38 + 8,01) = 0,6556 \text{ m}^2 . \quad (5.15)$$

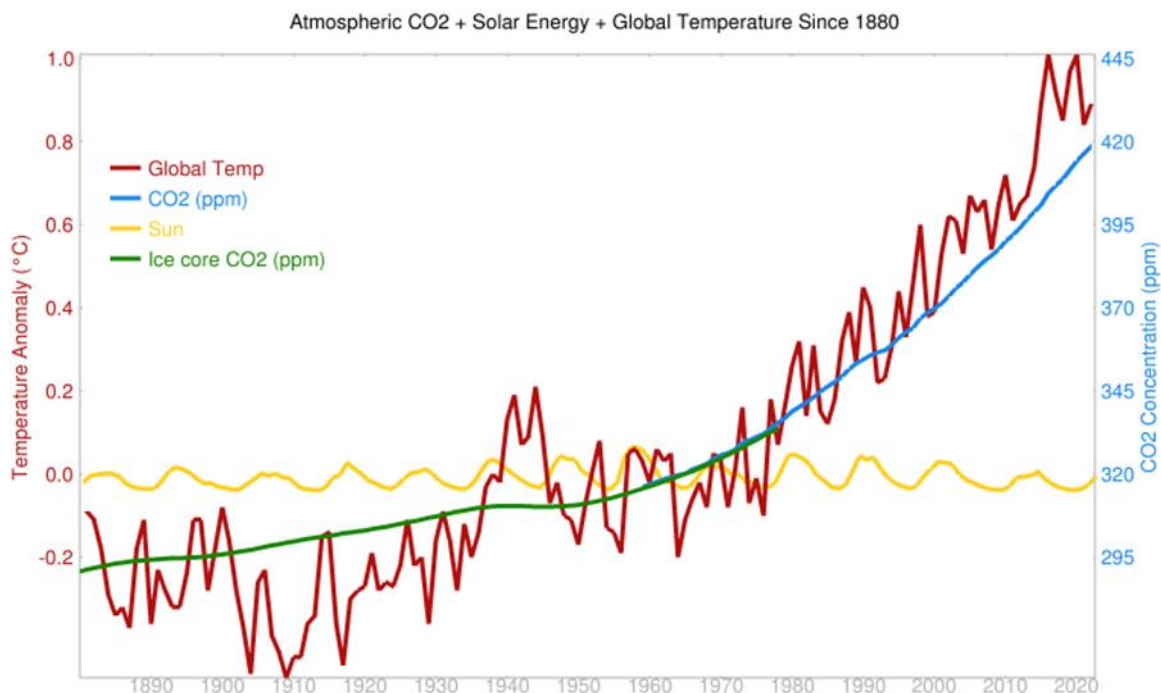
Azon a környéken, ahol a vizsgált épület található, számolhatjuk úgy, hogy egy új építésű lakás egy millió forint négyzetméterenként. Így azt kapjuk, hogy Spaceloft anyaggal szigetelve a megtakarított négyzetmétereket forintosítva 655600 Ft-t kapunk [43]. Ha ezt figyelembe vesszük a megtérülés számításnál, akkor azt kapjuk a jelenlegi árak mellett, hogy 47,78 év alatt térül meg a befektetés, ami annak az időnek, mikor a négyzetméter megtakarítást nem vettük figyelembe, a 69%-a. Ha a hőszigetelőanyag jövőbeli vételi árával kalkulálunk, akkor már a 70%-os árcsökkenésnél is egyből megtérül a beruházás.

6. A vizsgált hőszigetelőanyagok CO_2 karbon lábnyomai

6.1. Általános tudnivalók a számolás menetéről

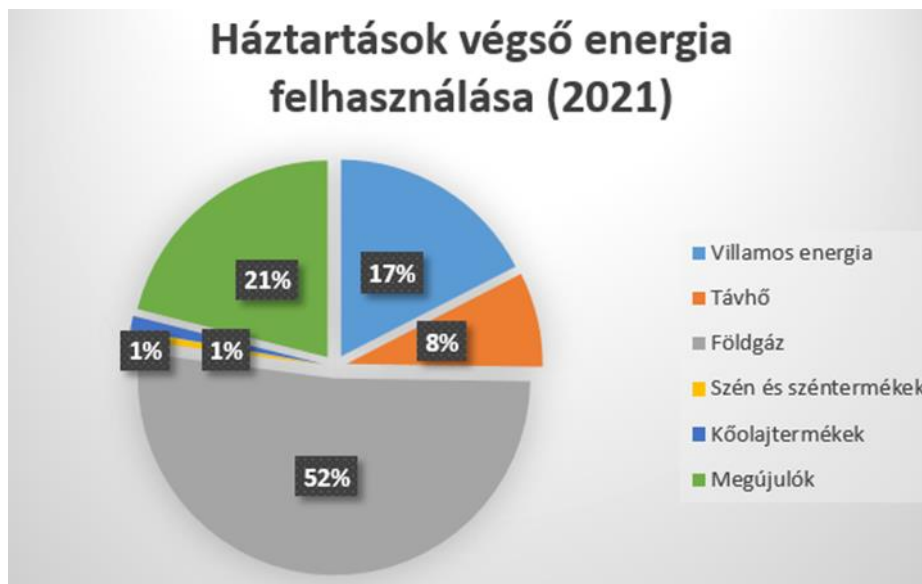
Napjainkban egyre többet lehet hallani a globális felmelegedéssel kapcsolatos aggodalmakról. Emiatt egyre többen keresik azt, hogyan is lehetne ezt az egész bolygót érintő problémát lelassítani, vagy legalább szinten tartani. Az egyre inkább növekvő népesség, illetve a megváltozott fogyasztói szokások miatt viszont ezeket a nehézségeket az idő múlásával egyre nehezebb lesz kezelni. Az emberiség az energiájának nagyrésztét még mindig szén-hidrogének elégetésével tudja fedezni, ami rengeteg szén-dioxid kibocsátást von maga után. Mint tudjuk, ez a levegőalkotó felelős leginkább a Föld légkörének felmelegedéshez.

A következő ábra szemlélteti, a levegőben mért szén-dioxid koncentráció és átlaghőmérséklet kapcsolata látható.[42]



17. ábra: Hőmérsékleti anomália és CO_2 levegőbeli koncentrációjának összefüggése[37]

Hazánk környezeti adottságai miatt, a szén-dioxid kibocsátás nélküli, megújuló forrásokra épülő energiatermelés meghatározó. Ha Magyarország energiafelhasználását vizsgáljuk, láthatjuk, hogy az ország energiatermelői szén-hidrogénből állítanak elő energiát. A következő ábrán ezeknek az arányai láthatók.



18.ábra: Háztartások végső energiafelhasználása Magyarországon [36]

A diagramról könnyen leolvasható, hogy éves szinten 54%-ban használnak a háztartások földgázt, széntermékeket és kőolajtermékeket. Ez felül viszont további fosszilis energiahordozókból is nyernek energiát. A teljesen zöld energiatermelésen kívül valamilyen mértékben mindegyik felsorolt csoport juttat valamennyi károsanyagot a levegőbe. Ezen belül fűtésre az energiafelhasználás 73%-ára fordítódik, így látható, hogy mennyire függenek a háztartások a nagyrészt importált földgáztól. Fontos megemlíteni, hogy egy olyan ház, ami nincs leszigetelve, ennek a fűtési energiának a 60%-át is elveszítheti. Ez a veszteség egy jól leszigetelt háznál a korábbi érték felére, tehát 30%-ra is eshet. Tehát az épületgépészeknek a szén-dioxid kibocsátás csökkentése érdekében nagy jelentőségük van. Hiszen nem csak az a feladat a szigeteléstechikában, hogy jobb szigetelőanyagokat hozzunk létre, hanem az is, hogy ezeknek az anyagoknak a karbonlábnyoma a lehető legalacsonyabb legyen. Persze az sem utolsó szempont, hogy ezek az új szigetelőanyagok megfizethetőek legyenek a háztartások számára is.[36]

A következő részben szeretném azt bemutatni, hogy mennyi az egyes hőszigetelő anyagok alapanyagainak előállításával, gyártásával és szállításával keletkező károsanyagok szén-dioxid egyenértéke. Ezt követően arra térek ki, hogy a jelenlegi hőtermelővel mennyi ideig lehet a ház szigetelése nélkül úgy fűteni, hogy annak károsanyagkibocsátása megegyezzen az alkalmazott szigetelőanyag károsanyag kibocsátásának szén-dioxid egyenértékével. A számítások során figyelembe veszem az egyes anyagok életciklus-elemzését (LCA-Life Cycle Assessment). Itt a gázok üvegházhatásának számszerűsítése érdekében előre meghatározott GWP (Global Warming Potential) értékekkel fogok számolni.

A ház külső felületének szigeteléséhez szükséges anyagmennyiség: 90 m^2

Így a házra kerülő szigetelőanyag térfogata EPS és kőzetgyapot esetében: $2,7 \text{ m}^3$ míg az aerogél esetén $0,9 \text{ m}^3$.

6.2. EPS karbonlábnyoma

A napjainkban gyártott EPS-ek nagyrésze szinte teljes mértékben újrahasznosíthatóak. Egyetlen problémája az, hogy rengeteg helyet foglal, így megfelelő tárolóhelyek kellenek, ahol össze lehet gyűjteni ezeket. A választott EPS GWP értékét több adat átlagolásával kaptam, ez az érték körülbelül $3,69 \text{ kgCO}_2\text{eq}$.

Ez azt jelenti, hogy $3,69 \text{ kg}$ szén-dioxid kibocsátásának a környezetre gyakorolt hatásával egyenlő az a károsanyag mennyiség, amelyet 1 m^2 és $R = 1 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ hőátbocsátási ellenállású EPS elkészítése során a környezetbe juttatunk.[31][32][33]

Ennek legnagyobb hányada, 70% az alapanyag gyártása során keletkezik. Esetünkben, hogy megfeleljünk az $R = 1 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ hőátbocsátási ellenállásnak, egy $39,3 \text{ mm}$ -es vastagságot kell válasszunk. Ez azt fogja eredményezni, hogy ebből az anyagból egy négyzetméter az $0,0393 \text{ m}^3$ lesz. Ha ezzel az értékkel osztjuk a hőszigetelőanyag szükséges térfogatát, akkor azt kapjuk, hogy: $2,7/0,0393 = 68,7$ egység kell a külső falra. Ezt a számot a GWP értékkel szorozva kapjuk a ház szigeteléséhez alkalmazott szigetelőanyag károsanyag kibocsátását, ami $68,7 * 3,69 = 249,813 \text{ kgCO}_2\text{eq}$. [31][38]

6.3. Kőzetgyapot karbonlábnyoma

Ezt a szigetelőanyagot is többször újra lehet hasznosítani, amellyel hosszabb távon lehet enyhíteni a környezet terhelésén. Az általam választott anyagnak a sűrűsége 140 kg/m^3 . A GWP értéke egy kilogrammra vetítve $0,9 \text{ kgCO}_2\text{eq}$. Esetünkben, hogy megfeleljünk az $R = 1 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ hőátbocsátási ellenállásnak, egy 39 mm -es vastagságot kell választani. A szigetelni kívánt mennyiség mivel $2,7 \text{ m}^3$, így a falra felhasznált szigetelőanyag tömege $140 * 2,7 = 378 \text{ kg}$. Így kapjuk, hogy az egy négyzetméterre eső tömeg $378/90 = 4,2$.

Mivel a GWP érték kilogrammra vetítve 0,9 kgCO₂eq így kapjuk, hogy négyzetméterre vetítve a GWP érték $4,2 * 0,9 = 3,78$ kgCO₂eq. A szigetelt felület értéke tehát: 340,2 kgCO₂eq.[31]

6.4. Spaceloft aerogél karbonlábnyoma

A legjobb tulajdonsággal bíró aerogéleket úgy tudják készíteni, ha szuperkritikus állapotban lévő szén-dioxiddal szárítják [41]. Ez már önmagába is magas szén-dioxid kibocsátást eredményez, de ehhez még hozzákapcsolódik egy másik magas kibocsátással járó folyamat, ez pedig a szilika kinyerése a kvarcból. Ezt ugyanis csak magas hőmérsékleten lehet megtisztítani a szennyeződésektől. Valamelyes szinten a szén-dioxidot vissza lehet nyerni egy megfelelő gép segítségével, így mint az előállítás költsége, mind a károsanyag kibocsátás is csökken.

Több forrásból átlagolva az egységnyi felületre vetített GWP értéke 12,5 kgCO₂eq. Észrevehető, hogy a három szigetelőanyag közül ennek a legmagasabb az értéke. Ennek értéke 90 négyzetméterre számítva: 1125 kgCO₂eq.[31][33]

6.5. A karbonlábnyomok megtérülése a tárgyalt szigetelőanyagoknál

A mintaépület a földgáz elégetése során bocsátja ki az üvegházhatású gázokat. Ez kWh-ként körülbelül 0,20 kg CO₂ egyenértéket jelent. A gáz fűtőértéke 34,71 MJ/m³, tehát egy m³ gáz 9,64 kWh energiát tárol. Így egy m³ földgáz elégetésével 1,928 kgCO₂eq terheli a környezetet. Ha visszatekintünk, láthatjuk, hogy a szigetelés után 299 m³ földgázzal kevesebbet kell éves szinten használni, amely azt jelenti, hogy $299 * 1,928 = 576,5$ kgCO₂eq.[39]

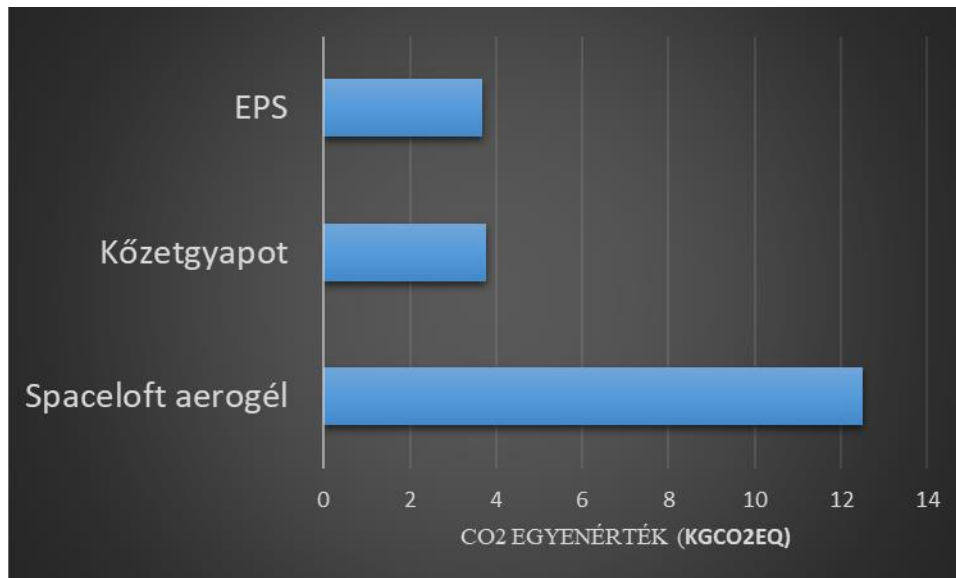
Megtérülés az egyes szigetelőanyagoknál:

Mivel egy év alatt 576,5 kgCO₂eq-kel többet bocsátanak ki, ha nem lenne leszigetelve az épület, így ezzel az értékkel beosztva kapjuk meg, mikor lesz egyenlő az előzetes kibocsátás a megtakarított kibocsátással.

$$\text{EPS: } 249,813/576,5 = 0,433 \text{ év.} \quad (6.1)$$

$$\text{Kőzetgyapot: } 340,2/576,5 = 0,59 \text{ év} \quad (6.2)$$

$$\text{Spaceloft: } 1125/576,5 = 1,95 \text{ év.} \quad (6.3)$$



19.ábra: A vizsgált anyagok négyzetméterre vetített CO2 egyenértéke [Saját ábra]

Ezekből az adatokból jól látható, hogy jelenleg a hagyományos szigetelőanyagok karbonlábnyoma 70-75%-kal alacsonyabb az aerogélek karbonlábnyomához képest. Így jelenleg a pénzübeli különbségek mellett, környezetvédelmi szempontból sem éri meg a jelenlegi szigetelőanyagok helyett aerogéleket alkalmazni lakossági célra. Pozitívuma viszont az, hogy vastagsága miatt a szállításnál helytakarékosabb, így a transzportálás során kibocsájtott károsanyagok jobban eloszlanak egységnyi szigetelőanyagra. A jövőben, ha egy költséghatékony eljárási módot sikerül létrehozni, mind a két vizsgált szempontból más eredményt fogunk kapni.

Összegzés

Dolgozatom megírásának fő célja az volt, hogy bizonyítsam, hogy az aerogélek levákuumozása után azok hővezetési tényezői csökkenni fognak. És ennek érdekében saját készítésű vákuumpaneleket állítottam elő.

A dolgozatomban bemutatott legfőbb eredmények a következők:

A Microtherm hőszigetelőanyag hővezetési tényezőjére számított százalékos csökkenés a megadott hibaszázalékkal:

- 0 °C-on 18,7 %
- 10 °C-on 17,6 %
- 20 °C-on 16,2 %

A Slentex hőszigetelőanyag hővezetési tényezőjére számított százalékos csökkenés a megadott hibaszázalékkal:

- 0 °C-on 3,4 %
- 10 °C-on 2,5 %
- 20 °C-on 1,25 %

A Spaceloft hőszigetelőanyag hővezetési tényezőjére számított százalékos csökkenés a megadott hibaszázalékkal:

- 0 °C-on 9,1 %
- 10 °C-on 8,4 %
- 20 °C-on 7,6 %

A Pyrogel hőszigetelőanyag hővezetési tényezőjére számított százalékos csökkenés a megadott hibaszázalékkal:

- 0 °C-on 16,3 %
- 10 °C-on 15,4 %
- 20 °C-on 14,3 %

Az értékekből nagyon jól látszik, melyek azok a hőszigetelőanyagok amelyeknek a vákuumozással látványosan csökkenthető a hővezetési tényezőjük.

Ezeknek a hővezetési tényezője magasabb volt a vákuumozás előtt, így nagyobb hővezetési tényező csökkenést lehetett ezeknél észrevenni, mint egy alapból is elég alacsony hővezetési tényezővel bíró Spaceloft anyagnál.

A dolgozatom folytatásában, arra kerestem a választ, hogy egy Magyarországon gyakori épületet mennyibe kerül egy egységgel leszigetelni a kiválasztott anyagokból.

Itt a következő eredmények születtek:

Az épület gázszámláinak ismeretében meg tudtam határozni, milyen gázmegtakarítást érhetünk el éves szinten. Pénzben kifejezve, ez körülbelül 30500 Ft.

A ház leszigeteléséhez szükséges szigetelőanyagok árának megtérülése:

- EPS anyagnál: 2,12 év
- Kőzetgyapot anyagnál: 6,89 év
- Spaceloft aerogélnél: 69,27 év

Abban az esetben, ha a Spaceloft anyagnál számolunk azzal, hogy kisebb térfogat is elég ugyan ahhoz azt a hőátbocsátási ellenállást elérni akkor annnyival nagyobb nettó alapterületet kapunk. Amit ha forintosítunk, akkor a szigetelésre szánt szigetelőanyag megtérülése 47,78 évre csökken. Figyelembe vettem olyan jövőbeli esetet is, amikor az aerogélek gyártásuk végett 70-90%-kal olcsóbban kaphatók majd meg. Ebben az esetben, ha számolunk a megtakarított területtel, akkor a szigetelőanyag ára, a szigetelés alkalmazása esetén azonnal megtérül.

Ezután kiszámoltam az egyes hőszigetelő anyagok karbonlábnyomának megtérülését. Számításom alapját a megtérült földgáz mennyiségéből számolt, ki nem bocsájtott szén-dioxid ekvivalens mennyisége képezte, melynek értéke 576,5 kgCO₂eq

- EPS: 0,433 év
- Kőzetgyapot: 0,59 év
- Spaceloft: 1,95 év

A Spaceloft aerogél anyag megtérülése telik a legtöbb időbe, melyet a technika fejlődésével lehet majd csökkenteni. A kiváló tulajdonságokkal rendelkező aerogélek lakossági felhasználásra jelenleg nem kifizetődő mindkét vizsgált szempontból.

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] D. Bozsaky , Építési hőszigetelő anyagok, Budapest: TERC Kft., 2017.
- [2] I. I. Marhoon, A. K. Rasheed, Mechanical and Physical Properties of Glass Wool-Rigid Polyurethane Foam Composites, 2015
https://www.researchgate.net/publication/297217653_Mechanical_and_Physical_Properties_of_Glass_Wool-Rigid_Polyurethane_Foam_Composites
(Letöltés időpontja: 2023.05.25 15 óra 7 perc)
- [3] Minden, amit a szórt hőszigetelésekről tudni érdemes
<http://www.wevik.hu/curiosity.html> (Letöltés időpontja: 2023.05.25 15 óra 15 perc)
- [4] ÉMI Lakossági Információ-Hőszigetelés
<https://www.emi.hu/emili/segedletek.html> (Letöltés időpontja: 2023.05.25 15 óra 25 perc)
- [5] Á. Dr. Lakatos, Funkcionális rendszerek és működésük, Budapest: TERC Kft., 2013.
- [6] Home info-Mindent a hőszigetelésről
<https://www.homeinfo.hu/epitkezes-felujitas/szigeteles/2235-mindent-a-hoszigetelesrol>
(Letöltés időpontja: 2023.05.25 15 óra 25 perc)
- [7] A. Mitró, Hőszigetelő anyagok: fajták, tulajdonságok, árak, eredmények, KontaktBau, 2021
<https://kontaktbau.hu/hoszigetelo-anyagok/> (Letöltés időpontja: 2023.05.26 10 óra 17 perc)
- [8] A hőszigetelő anyagok fogalma és csoportosítása
<https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/a-hoszigetelo-anyagok-fogalma-es-csoportositasa/> (Letöltés időpontja: 2023.05.26 10 óra 40 perc)
- [9] Expandált polisztirolhab és tulajdonságai
<https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/expandalt-polisztirolhab-es-tulajdonsagai/>
(Letöltés időpontja: 2023.05.26 11 óra 1 perc)
- [10] EPS 80 homlokzati hőszigetelő lemez 100mm
<https://webshop.bau92.hu/eps-80-homlokzati-hoszigetelo-lemez-100mm>
(Letöltés időpontja: 2023.05.26 11 óra 7 perc)
- [11] Mit érdemes tudni a legnépszerűbb szigetelőanyagokról?
<https://www.rockwool.com/hu/inspiralo-ismeretek/tudasbazis/mit-erdemes-tudni-a-legnepsezerubb-szigeteloanyagokrol/> (Letöltés időpontja: 2023.05.26 11 óra 23 perc)
- [12] F. Kalmár, Épületfizika, Nyíregyháza: Studium Kiadó, 2003.
- [13] F. Schifter és B. Dr. Tolvaj , Épületenergetika, Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011.
- [14] Bozsaky Dávid: Vákuumpanel hőszigetelések, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2018

- [15] Bereczki, Helga Fruzsina, Funkcionalizált szilika aerogélek előállítása és lehetséges alkalmazási területeik felderítése, Egyetemi doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, 2017 (Letöltés időpontja: 2023.05.28 9 óra 29 perc)
- [16] Aerogél szigetelő paplanok
<https://www.aerogelszigeteles.hu/termek> (Letöltés időpontja: 2023.05.28 10 óra 21 perc)
- [17] Spaceloft ismertető, aspen aerogels
<https://www.aerogel.com/product/spaceloft/> (Letöltés időpontja: 2023.05.29 9 óra 17 perc)
- [18] Spaceloft technikai utasítások
http://www.aerogel.uk.com/Spaceloft_Technical_Guide_1%20.pdf
(Letöltés időpontja: 2023.05.29 9 óra 30 perc)
- [19] Slentex ismertető
<https://enviroform-insulation.com/product/slentex-non-combustible/>
(Letöltés időpontja: 2023.05.29 9 óra 36 perc)
- [20] Á. Lakatos, Thermal insulation capability of nanostructured insulations and their combination as hybrid insulation systems, Elsevier, 2023
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X2200867X>
(Letöltés időpontja: 2023.05.29 9 óra 54 perc)
- [21] Pyrogél ismertető-General Insulation Company, Inc
<https://www.generalinsulation.com/products/mechanical-insulation-products/insulation-types/aerogel-commercial-insulation/pyrogel/> (Letöltés időpontja: 2023.05.29 9 óra 36 perc)
- [22] Pyrogél ismertető- aspen aerogels
<https://www.aerogel.com/resources-library/pyrogel-xte-hps-specification-guide/>
(Letöltés időpontja: 2023.05.29 9 óra 54 perc)
- [23] Bachl vákuum panel hirdetés
<https://szigeteloanyag-kereskedelem.hu/termek/bachl-vacuboard-vakuumpanel-hoszigeles>
(Letöltés időpontja: 2023.05.29 10 óra 34 perc)
- [24] Venticell 111 szárítógép gépkönyv
<https://www.mmm-medcenter.com/venticell-61-venticell-111---ecoline18>
(Letöltés időpontja: 2023.05.29 10 óra 43 perc)

- [25] Netzsch HFM 446 Lambda gépkönyv
<https://analyzing-testing.netzsch.com/en/products/thermal-conductivity/hfm-446-lambda-eco-line> (Letöltés időpontja: 2023.05.29 11 óra 3 perc)
- [26] Hőtechnikai fogalmak- Tudásbázis
<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/epiteszet/epitoanyagok/hotechnikai-fogalmak-altalanos-fogalmak-anyagjellemzok-szerkezeti-jellemzok-zart-terre-vonatkozoz-jellemzok/hovezetesi-tenyezo-hovezetesi-ellenallas-hoatadasi-tenyezo>
(Letöltés időpontja: 2023.05.30 19 óra 10 perc)
- [27] Aerogél hőszigetelés, gyártása és alkalmazása
<https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/aerogel-hoszigeteles-gyartasa-es-alkalmazasa/>
(Letöltés időpontja: 2023.05.30 19 óra 10 perc)
- [28] Baetens, B. P. Jelle, A. Gustavsen: Aerogel Insulation for Building Applications – A State-of-the-Art Review, Energy and Buildings, Vol. 43, 2011, pp. 761–769.
(Letöltés időpontja: 2023.06.02 18 óra 10 perc)
- [29] Hőszigetelések
<https://www.igylakunk.hu/pincetol-a-padlasig/epuletszerkezetek/hoszigetelesek>
(Letöltés időpontja: 2023.06.02 19 óra 15 perc)
- [30] Microtherm ismertető - Promat
<https://www.promat.com/en/industry/technologies/microporous-materials/high-temperature-insulation/>
(Letöltés időpontja: 2023.06.03 19 óra 33 perc)
- [31] Mateja Dovjak, Jernej Markelj, Roman Kunič, Embodied global warming potential of different thermal insulation material for industrial products, 2018
http://www.arnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0318_6920.pdf
(Letöltés időpontja: 2023.09.27 20 óra 36 perc)
- [32] EPS Industry Alliance
<http://epsindustry.org/> (Letöltés időpontja: 2023.09.07 12 óra 17 perc)
- [33] G. Grazieschi. and et. al. Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789421000246>
(Letöltés időpontja: 2023.09.03 14 óra 54 perc)

- [34] P. Meti, and et. al., Overview of organic–inorganic hybrid silica aerogels: Progress and perspectives
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127522007134>
(Letöltés időpontja: 2023.09.03 15 óra 14 perc)
- [35] Kőzetgyapot termék ár
<https://kozetgyapot-arak.hu/termek/68/rockwool-steprock-hd-1000-x-600-x-30-mm>
(Letöltés időpontja: 2023.09.27 20 óra 36 perc)
- [36] Éves statisztikák- MEKH
<https://www.mekh.hu/eves-adatok>
(Letöltés időpontja: 2023.09.28 21 óra 10 perc)
- [37] CO2 koncentráció követése
<https://www.co2.earth/> (Letöltés időpontja: 2023.10.15 18 óra 25 perc)
- [38] Isostir EPS ára
https://mesterekfutara.hu/webshop/fim-charvat-izostir-eps-80-lemez-homlokzati-hoszigetelo-rendszerekhez?itemcode=CH_0126
(Letöltés időpontja: 2023.09.28 21 óra 10 perc)
- [39] How much CO2 does my home emit?
<https://www.energuide.be/en/questions-answers/how-much-co2-does-my-home-emit/68/>
(Letöltés időpontja: 2023.10.26 11 óra 12 perc)
- [40] Market uptake of the world's first low cost aerogel-type nano-material
<https://cordis.europa.eu/project/id/718823> (Letöltés időpontja: 2023.10.26 12 óra 41 perc)
- [41] Artem Lebedev, Ekaterina Suslova, Aleksander Troyankin, Daria Lovskaya,
Investigation of Aerogel Production Processes: Solvent Exchange under High Pressure
Combined with Supercritical Drying in One Apparatus , 2021
<https://doi.org/10.3390/gels7010004> (Letöltés időpontja: 2023.10.28 21 óra 55 perc)
- [42] Klímaváltozás: a globális felmelegedést okozó üvegházhatású gázok
<https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20230316STO77629/klimavaltozas-a-globalis-felmelegedest-okozo-uveghazhatasu-gazok>
(Letöltés időpontja: 2023.10.20 13 óra 55 perc)
- [44] Ingatlan árak Debrecen
<https://www.ingatlanet.hu/statisztika/debrecen>
(Letöltés időpontja: 2023.10.21 22 óra 5 perc)
- [45] Zhu, L., Wang, Y., Cui, S., Yang, F., Nie, Z., Li, Q., Wei, Q. Preparation of Silica Aerogels by Ambient Pressure Drying without Causing Equipment Corrosion. Mol. 2018, 23, 1935.

- [46] Zhou, T., Gong, L., Cheng, X., Pan, Y., Li, C., Zhang, H. Preparation and characterization of silica aerogels from by-product silicon tetrachloride under ambient pressure drying. *J. of Non-Cryst. Sol.* 2018, 499, 387–393.
- [47] Hasan, M.A., Rashmi, S., Esther, A.C.M., Bhavanisankar, P.Y., Sherikar, B., Sridhara, N., Dey, A. 329 Evaluations of Silica Aerogel-Based Flexible Blanket as Passive Thermal Control Element for 330 Spacecraft Applications. *Jou. of Mat. Eng. and Perf.* 2018, 27, 1265–1273
- [48] Nikpourian, H., Bahramian, R., Thermo-physical properties of multilayer super insulation: The role of aerogel blanket, *Thermal Science and Engineering Progress* Volume 20, 1 December 2020, 100751
- [49] Chakraborty, S., Pisal, A. A., Kothari, V. K., Rao, A. V. Synthesis and Characterization of Fibre Reinforced Silica, Aerogel Blankets for Thermal . *Adv. in Mat. Sci. and Eng.* 2016, Article ID 2495623.
- [50] Yang, X., Sun, Y., Shi, D. Liu, J. Experimental investigation on mechanical properties of a fiber-reinforced silica aerogel composite. *Mat. Sci. and Eng. A* 2011, 528, 4830–4836.
- [51] Ebert, H.P., Thermal Properties of Aerogels. In *Aerogels Handbook*; Aegerter, A., Leventis, N., Koebel, M., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2011; pp. 537-564. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7589-8_23
- [52] Ghazi Wakili, K., Stahl, Th., Heiduk, E., Schuss, M., Vonbank, R., Pont, U., Sustr, C., Wolosiuk, D., Mahdavi, D. High Performance Aerogel Containing Plaster for Historic Buildings with Structured Façades. *En. Proc.* 2015, 78, 949-954.
- [53] Galliano, R.; Wakili, K.G.; Stahl Th Binder, B.; Daniotti, B. Performance evaluation of aerogel-based and perlite-based prototyped insulations for internal thermal retrofitting: HMT model validation by monitoring at demo scale. *Energy Build.* 2016, 12, 275–286.
- [54] Danaci, H.M., Akin, N. Thermal insulation materials in architecture: a comparative test study with aerogel and rock wool. *Environ Sci Pollut Res* 29, 72979-72990 (2022).
- [55] Kaynakli, O., Economic thermal insulation thickness for pipes and ducts: A review study *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 30, February 2014, Pages 184-194
- [56] M. Alam, H. Singh, M.C. Limbachiya, Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry—A review of the contemporary developments and future directions, *Applied Energy* 88 (2011) 3592–3602.
- [57] C. Sprengard, A.H. Holm. The thermal bridging effects are only reduced by covering layers made of insulating materials on the surfaces of the VIP, *Energy and Buildings*, 85 (2014) 638-643.

- [58] S. Fantucci, S. Garbaccio, A. Lorenzati, M. Perino, Thermo-economic analysis of building energy retrofits using VIP - Vacuum Insulation Panels, *Energy and Buildings*, 196, (2019), 269-279.
- [59] K. Biswas, A. Desjarlais, D. Smith, J. Letts, J. Yao. T. Jiang, Development and thermal performance verification of composite insulation boards containing foam-encapsulated vacuum insulation panels, *Applied Energy* 228 (2018) 1159–1172.
- [60] S. Verma, H. Singh, Vacuum insulation in cold chain equipment: A review, *Energy procedia*. 16 (2019) 232-241.
- [61] S. Fantucci, S. Garbaccio, A. Lorenzati, M. Perino. Thermo-economic analysis of building energy retrofits using VIP - Vacuum Insulation Panels. *Energy and Buildings* Volume 196, 1 August 2019, Pages 269-279
- [62] S. Brunner, H. Simmler. In situ performance assessment of vacuum insulation panels in a flat roof construction. *Vacuum*. Volume 82, Issue 7, 14 March 2008, Pages 700-707
- [63] S. Brunner, K. Ghazi Wakili, Hints for an additional aging factor regarding the thermal performance of vacuum insulation panels with pyrogenic silica core, *Vacuum* 2014; 100:4-6

Appendix



20. ábra: általam készített vákuumpanelek. Felső sor (balról jobbra): Slentex, Spaceloft, alsó sor (balról jobbra): Microtherm, Pyrogel [saját fénykép]