

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

**Pórusos anyagok alkalmazása hőszigetelésre**

Készítette:

**Csanádi Laura**

Budapest, 2019.11.11.

**Tartalomjegyzék**

**1. Hőszigetelő anyagok** 3

***1.1. A hőszigetelő anyagok szerkezete*** 3

***1.2. A hőszigetelő anyagokkal szemben támasztott követelmények*** 4

**2. A hőszigetelő anyagok csoportosítása** 5

 ***2.1. Mesterséges hőszigetelő anyagok*** 8

 *2.1.1. Szálas hőszigetelő anyagok* 8

 *2.1.1.1. Kőzetgyapot* 8

 *2.1.1.2. Üveggyapot* 9

*2.1.2. Habosított hőszigetelő anyagok* 10

 *2.1.2.1. Polisztirolhab* 11

 *2.1.2.2. Poliuretánhab* 12

 *2.1.2.3. Habüveg* 13

  *2.1.3. Ömlesztett hőszigetelő anyagok* 14

 *2.1.3.1. Duzzasztott agyagkavics* 14

 *2.1.3.2. Duzzasztott perlit* 15

 *2.1.4. Nanotechnológiás hőszigetelő anyagok – vákuumszigetelés* 16

**3. Irodalomjegyzék** 19

1. **Hőszigetelő anyagok**

 A *hőszigetelés* két eltérő hőmérsékletű tér között fellépő [hőátadás](https://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91%C3%A1tad%C3%A1s) gátlása, melynek lényege, hogy a hő terjedését megakadályozzuk és a hőmérséklet-különbséget hosszú ideig fenntartsuk. Ezt jellemzően nagy hőellenállással rendelkező szerkezettel valósíthatjuk meg. A hőszigetelés célja általában az energiatakarékosság, ami a költségmegtakarítás és a környezetvédelem szempontjából is fontos.

 A hőátbocsátás egy komplex folyamat eredménye, ahol hőátadás és hővezetés is történik. A hővezetés szilárd anyagban történik, a hőátadás pedig felület és levegő között. A hőátbocsátási tényező megmutatja az átáramló hőmennyiséget egységnyi felületen, egységnyi idő alatt, egységnyi hőmérséklet-különbség mellett, jele: U, mértékegysége: $\frac{W}{m^{2} K} .$ Az a jó, ha ennek értéke minél kisebb, mert annál jobb a szerkezet hőszigetelő képessége. A hővezetési tényező az anyagra jellemző, az egységnyi idő alatt átjutó hő mennyiségét mutatja, jele: $λ$, mértékegysége: $\frac{W}{mK}$ . Az anyagok hővezetési tényezőjük alapján lehetnek:

* rossz hőszigetelő anyagok (0,15 $\frac{W}{mK}$ < $λ$),
* közepes hőszigetelő anyagok (0,06 $\frac{W}{mK} $< $λ$ < 0,15 $\frac{W}{mK}$),
* jó hőszigetelő anyagok ($λ$ < 0,06 $\frac{W}{mK}$).

 Az a jó, ha a hővezetési tényező értéke minél kisebb, mert annál jobb az anyag hőszigetelő képessége. Kiváló hőszigetelő tulajdonsággal a laza szerkezetű anyagok rendelkeznek. Mivel minden anyag rendelkezik hővezetési tényezővel (ami nem lehet nulla), rendelkezik hővezetési ellenállással is, így akár az összes anyagot tekinthetnénk hőszigetelő anyagnak. Hőszigetelő anyagok általában valamilyen *természetes* vagy *mesterségesen* előállított alapanyagból készült, *porózus* vagy *üreges szerkezetű*, *kis testsűrűségű* termékek, amelyek *hővezetési tényezője* 10 °C középhőmérsékleten mérve nem haladja meg a 0,15 $\frac{W}{mK} $értéket. [1-5]

* 1. ***A hőszigetelő anyagok szerkezete***

 A hőszigetelő anyagok *szilárd vázból*, valamint *levegővel* *vagy más gázokkal telt* *pórusokból, kapillárisokból* épülnek fel. Az anyagokat *nagyfokú porozitás*, és ennek követ­keztében *alacsony testsűrűség* jellemzi. A testsűrűség a hőszigetelő anyagok olyan anyagjellemzője, mely egyes termékek esetében tág határok közt változhat és általában kihat az anyag egyéb tulajdonságaira. Az anyagok hőszigetelő képessége szoros kapcsolatban áll a pórustartalommal, ezért a hővezetési tényező és a testsűrűség is összefüggésben vannak.

 Az álló levegő jó hőszigetelő, így a hőszigetelő anyagok pórusaiban jelen lévő levegő jó hőszigetelést biztosít, tehát nem maga az anyag szigetel, hanem a számos apró légbuborék, amelyet az anyag magában foglal. A megfelelő porozitás érdekében vagy már eleve porózus anyagokat alkalmaznak vagy a pórusokat mesterségesen alakítják ki az anyagban. A pórusok számának növelé­se viszont nemcsak a testsűrűséget, ha­nem az anyag szilárdságát is csökkenti, ezért a jó hőszigetelő képesség kis szilárdsággal jár együtt.

 A hőszigetelő anyagok hőszigetelő képessége nemcsak a bennük lévő pó­rusok mennyiségétől, hanem azok alakjától, méretétől és egymáshoz való kap­csolódásuk módjától is függ. Túl nagy pórusok esetén a pórusok szemben lévő oldalain a hőmérsékletkülönbség mi­att felhajtóerő jön létre, amely a lyuk­ban lévő levegőt áramlásba hozza, ez pedig a hőszigetelő képességet csökkenti. Ezért hőszigetelő képesség szempontjából a kisebb lyukak előnyösebbek (a hőszigetelő anyagokban lévő lyukak átmérője lehetőleg ne haladja meg az 1 mm-t). A pórusok vagy egymástól elzárva helyezkednek el az anyagban, vagy pe­dig egymással összefüggő vékony cső, illetve csatornahálózatot alkotnak. A nyitott pórusú anyagok hőszigetelő ké­pessége a zárt pórusúakéhoz képest lényege­sen rosszabb, mert az összefüggő csa­tornákon a levegő az anyag egyik olda­láról a másik oldalára juthat, ezen felül pedig a nyitott pórusú anyagok vízfelve­vő képessége is igen nagy. (Ha a póru­sokat részben vagy egészben a levegő­nél 24-szer jobb hővezető víz tölti ki, ez az anyag hőszigetelő képességét roha­mosan csökkenti.) [6]

* 1. ***A hőszigetelő anyagokkal szemben támasztott követelmények***

 A hőszigetelő anyagoknak számos követelménynek kell megfelelniük, melyek közül a legfontosabbak a következők:

* Megfelelően kicsi hővezetési tényezővel rendelkezzenek.
* Mechanikai hatásokkal szemben nagy ellenálló képességük legyen, speciális alkalmazási területeken a szigetelőanyagok­nak terhelhetőnek kell lenniük.
* Megfelelően jó térfogat- és mérettartás jellemezze őket.
* Fizikai és kémiai stabilitásuk megfelelő legyen abban a hőmérsékleti tarto­mányban, amelyben az anyagot alkalmazzák.
* Legyenek tűz-, hő- és fagyállóak.
* A hőszigetelő anyagok és a velük érintkező anyagok között nem léphet fel korrózió.
* A hőszigetelő anyagoknak kártevőkkel szemben ellenállónak kell lenniük (közömbösek legyenek a különböző rágcsálókkal, gombákkal szemben).
* Ne legyenek higroszkopikus tulajdonságúak, lehetőleg közömbösen viselkedjenek a nedvességgel szemben.
* Megfelelő páraáteresztő képesség jellemezze őket. [1], [3]
1. **A hőszigetelő anyagok csoportosítása**

 Számos hőszigetelő anyag létezik, amelyeket elsősorban *előállítás* és *kémiai összetétel* szerint csoportosíthatunk.

Előállítás szerint megkülönböztetünk:

* természetes (pótolható, ökológiai vagy természetközeli) hőszigetelő anyagokat és
* mesterséges (hagyományos, szintetikus) hőszigetelő anyagokat.

 A *természetes hőszigetelő* anyagokat általában tovább már nem csoportosítjuk. A legfontosabb természetes eredetű hőszigetelő anyagok a következők:

* parafa (parafatáblák, páratechnológiai szempontból nem előnyös),
* fagyapot (apró darabokra forgácsolt faanyag cement kötőanyaggal),
* farostlemez (faipari hulladékból préselt lemezek, hidrofób adalékot adnak hozzá),
* faforgács lap (papírrétegek közé csomagolt faforgács, nagy mennyiségben áll rendelkezésre, olcsó, viszont tűz- és vízállósága nem megfelelő),
* cellulózszigetelés (lehet ömlesztett vagy szórt, erdőgazdálkodási melléktermékből vagy újságpapírból, egyszerűen kivitelezhető és környezetbarát, nedvességre érzékeny)
* nádlemez,
* szalmabála (száraz és üreges szárának köszönhetően jó hőszigetelő, olcsó és könnyen hozzáférhető),
* kukoricablokk,
* lenrost,
* kenderrost,
* pamut,
* gyapjú (hőszigetelő paplanok, melyek jó hőszigetelő és páraáteresztő képességgel rendelkeznek, tűzvédelmi szempontból is előnyösek, mivel gyulladási hőmérsékletük 560-600°C között van és magas nitrogéntartalmuk miatt jó égésgátló hatásúak),
* egyéb különleges anyagok (pl. kókuszszál, szárított tengeri fű stb.).

A mesterséges hőszigetelő anyagokat azonban tovább csoportosíthatjuk:

* szálas hőszigetelő anyagokra,
* habosított hőszigetelő anyagokra,
* ömlesztett hőszigetelő anyagokra,
* hőszigetelő falazóelemekre és
* nanotechnológiás hőszigetelő anyagokra.

A *szálas hőszigetelő anyagok* közé tartozik az azbeszt, a kőzetgyapot és az üveggyapot. A *habosított hőszigetelő anyagok* közé soroljuk a különféle műanyaghabokat, mint pl. az expandált polisztirolhabot, az extrudált polisztirolhabot, a poliuretánhabot, a fenolhabot, a karbamid-formaldehidhabot, a bakelithabot és a melaminhabot, de idetartozik a habüveg is. *Ömlesztett hőszigetelő anyagok* közé tartozik a duzzasztott agyagkavics, a duzzasztott perlit, a duzzasztott verkimulit, a duzzasztott üvegkavics (habüveg-granulátum). A mesterséges anyagok közé sorolhatók a *hőszigetelő falazóelemek* is, ezen belül a kerámiaanyagú, az agyagkötésű porszénhamu, a kovaföldalapú és a magnézium-karbonát-alapú gyártmányok, valamint a pórusbeton termékek.

 **Mind a természetes, mind a mesterséges szigetelő anyagoknak vannak *előnyei* és *hátrányai*. Ökológiai szempontból** a legfontosabb az előállításuk és az ártalmatlanításuk. E téren a mesterséges szigetelőanyagok hátrányban vannak. A hosszú előállítási folyamatláncolatok közvetlen összefüggésben állnak a klór- és petrolkémiával; ózonréteg-károsító hajtógázok, üvegházhatást okozó gázok és rákkeltő anyagok szabadulnak fel ezek előállítása során. Egyes nyersanyagok (pl. a kőolaj) korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre, ezért az újrahasznosításuk fontos. A természetes szigetelőanyagoknak is vannak hátrányaik: problémát okoznak a monokultúrák és a növényvédő szerek, amelyek a tömegtermelést jellemzik (pl. a gyapot és a len esetében), a magas szállítási költségek (pl. az új-zélandi gyapot, portugál parafa és ázsiai gyapjú esetében), vagy az előállítás során keletkező környezeti terhelés (pl. a cellulóz előállítása során keletkező szennyvíz, vagy a puhafarost előállításához szükséges rendkívül magas energiamennyiség). **Mivel tűzvédelmi okokból**valamennyi természetes szigetelőanyag mintegy 20%-nyi impregnáló-anyaggal van átitatva, az ártalmatlanítás során ezeket is lerakóhelyekre kell gyűjteni, és maradéktalanul el kell égetni. A fizikai jellemzők és a költségek tekintetében viszont mesterséges szigetelőanyagok előnyben vannak. Az egyik legfontosabb jellemzőjüket, a hővezető képességet tekintve is a mesterséges szigetelőanyagok bizonyulnak jobbnak, mivel meglehetősen alacsony hővezető képességgel bírnak, melynek értéke 0,025-0,040 $\frac{W}{mK}$ (ez alapján a jó hőszigetelő anyagok közé sorolhatók), ehhez képest a természetes szigetelőanyagok hővezető képessége magasabb, 0,040-0,093 $\frac{W}{mK} $(eszerint a jó, illetve a közepes hőszigetelő anyagok közé tartoznak).

**A hőszigetelő anyagok kémiai összetétel** szerint **csoportosíthatók**:

* szerves alapanyagból előállított (pl. természetes anyagok, műanyaghabok) és
* szervetlen eredetű (pl. szálas hőszigetelő anyagok, üveghab, duzzasztott agyagkavics, duzzasztott perlit, vákuumpanel hőszigetelés, aerogél, nanokerámiás hőszigetelő festékek) anyagokra is.

 A két anyagcsoport tulajdonságai­ is jelentősen eltérnek egy­mástól. A szervetlen alapanyagból készült hőszigetelő anyagok a szerves eredetűekkel szemben általában:

* nagyobb hővezetési tényezővel rendelkeznek,
* nagyobb a testsűrűségük,
* nyomószilárdságuk nagyobb, de hú­zószilárdságuk kisebb,
* a kis húzószilárdság miatt kisebb da­rabokban készíthetők,
* ütésre érzékenyebbek, könnyen tör­nek,
* a nedvesség hatására hőszigetelő ké­pességük gyorsabban csökken, rom­lik,
* viszont a nedvesség hatására nem gombásodnak, nem rothadnak,
* a rovarok nem, vagy csak nehezen tudnak bennük megtelepedni,
* tűzállók, nem éghetők. [3-4], [6-11]
	1. ***Mesterséges hőszigetelő anyagok***

 *2.1.1. Szálas hőszigetelő anyagok*

 A szálas hőszigetelő anyagok esetén vattaszerűen össze­sűrített elemi szálak közé szorul be a levegő. Ezeket üveg, különböző kőzetek és salak olvadékából lehet előállítani. A kapott szálakat különböző méretű lemezekké, filcek­ké alakítják. A csekély szervesanyag-tartalom következté­ben a csupasz termékek nem éghető anyagok. A termékek szervetlen anyaga rovarok, rágcsálók számára élelmet nem nyújt, gombásodásra, penészedésre nem hajlamosak. A nagy légtartalmú szálas hőszigetelő anyagokban a levegő gyakorlatilag nem tud mozogni, jó hőszigetelő tulajdonsá­ga előnyösen kihasználható. [3]

*2.1.1.1. Kőzetgyapot*

 A *kőzetgyapot* a természetben talál­ható kőzetek (bazalt, mészkő, dolomit stb.) megolvasztásával és szálazásával előállított szálhalmaz, amely kiváló hő- és hangszigetelő tulajdonságokkal ren­delkezik. Az alapanyagokat koksz segítségével megolvasztják és szálakká foszlatják. A szálak vastagsága általában 4-7 μm, hosszúsága pedig 1-10 mm. A további feldolgozás során a szálak sűrítésével például lemezeket, paplanokat készítenek.



1. ábra: Kőzetgyapot tömbök [12]

 A kőzetgyapot lemezek testsűrűsége 60 $\frac{kg}{m^{3}}$, hővezetési tényezője 0,040 $\frac{W}{mK} $. **A**[kőzetgyapot finom szálszerkezetének](https://kreativlakas.com/hoszigeteles-tudastar/szalas-hoszigetelo-anyagok-kozetgyapot/) és viszony­lag magas testsűrűségének köszönhetően a szálak közötti levegő megközelítőleg nyugalomban van. A kőzetgyapot termékekre jellemző az üreges szálszerkezet és a nagyfokú stabilitás. A nyílt pórusú szerkezet miatt alacsony páradiffúziós ellenállású. Ez a tulajdonsága különösen alkalmassá teszi külső térelhatáro­ló szerkezetek hőszigetelésére. A kőzetgyapot a nagy hőmérséklet-különbséget alakvál­tozás és feszültség nélkül viseli el. Nincs hőtágulása, mert az az anyagon belül, a szálak egymás közötti mozgásában valósul meg. A kőzetgyapot gyakorlatilag nem öregszik. A szálhalmaz nem korrodál­ja a vele érintkező építészeti anyagokat (betont, téglát, vakolatot, fát, szerkeze­ti acélokat, különféle fémeket stb.), inaktív a nedvességgel, párával és szá­mos korróziós hatású anyaggal szem­ben. Az elemi szálak hajlékonyak, ezért a szálhalmaz rugalmas, nem töredezik, összenyomható, rázkódásnak ellenáll. A kötőanyagot tar­talmazó termékek 250°C-ig, a kötőa­nyagot nem tartalmazó termékek 750°C-ig használhatók. Nem éghetők, nem esnek tűzrendészeti korlátozás alá. [3], [7-8], [11]

 *2.1.1.2. Üveggyapot*

 Az *üveggyapot* maximálisan 23 µm átmérőjű, 10-60 cm hosszú szálak halmaza, finom, rugalmas szálszerkezet, alacsony test­sűrűség és nagy nyitott porozitás jellemzi.



2. ábra: Üveggyapotból készült hőszigetelő anyag [13]

 Az [üveggyapotot rendszerint üvegipari](https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/uveggyapot-tulajdonsagai-es-alkalmazasa/) nyersanyag keve­rékéből készítik. Az üvegszálakat hőre keményedő gyanta kötőanyaggal permetezik be, majd a polimerizációs kemencében a szálhalmazt a terméktípus sze­rinti, kívánt testsűrűségnek megfelelő vastagságúra nyom­ják össze, majd hőkezeléssel a kötőanyagot kikeményítik. Párafékező tulajdonsága csekély, **fagyálló.** Mi­vel azonban nagy porozitású, nyílt pórusú anyagról van szó, a nedvesedéstől és a közvetlen áztatástól óvni kell. [3], [7-8], [10]

 *2.1.2. Habosított hőszigetelő anyagok*

 A habosított hőszigetelők kétkomponensű anyagok: egy mátrixból és diszpergált gázból, rendszerint levegőből állnak. Nagyrészt polimer habok alkotják ezt a csoportot. Szerkezet szerint megkülönböztetünk nyílt pórusú habokat, amelyekben a cellák többsége egymással érintkezik és zárt pórusú habokat, ahol a cellák egymástól függetlenek. A zárt szerkezetűeknek gyakorlatilag nincs vízfelvételük. A nyitott pórusszerkezetű haboknak a hőszigetelés mellet jó a hangelnyelésük is. A habok tulajdonságaik, viselkedésük szerint három csoportra oszthatók: hajlékony vagy rugalmas habok, kemény habok és szerkezeti-, vagy integrál habok. Az első két csoport közötti átmenet folytonos. A kemény és lágy habok közös jellemzője, hogy sűrűségük nagyon kicsi, általában 0,02 és 0,2 $\frac{g}{cm^{3}}$ között van. A szerkezeti habok minden esetben kemények és sűrűségük nagyobb, mint 0,3 $\frac{g}{cm^{3}}$. Jellemző még rájuk, hogy tömör héjszerkezettel és habosított maggal rendelkeznek és általában szerkezeti anyagként használják fel őket.

 A habszerkezetű polimereket többféle eljárással állítják elő. A legfontosabb módszer alapja egy gáz egyenletes diszpergálása a polimer fázisban és a diszperzió stabilizálása. A habokat a cellák közé beszorított levegő teszi jó hőszigetelővé. A habosodás három részfolyamatra osztható. A buborék kialakulása**,** iniciálásaaz első lépés. A buboréknak több forrása lehet, a leggyakoribb iniciálási módszerek a következők:

* a polimerben oldott gáz a hőmérséklet emelésével vagy a nyomás csökkenésével kioldódik és létrehozza a buborékot,
* alacsony forráspontú folyadékot oldanak a polimerben és a fenti módszerek egyikével viszik gázfázisba,
* kémiai reakcióból származó gáz viselkedik habosítószerként,
* hőmérséklet hatására elbomló vegyületet kevernek a polimerbe és a fejlődött gáz, rendszerint nitrogén vagy szén-dioxid, szolgál habosítóanyagként.

 A kialakult habszerkezet a habosítóanyag mennyiségétől, a polimer tulajdonságaitól és a habosítási technológiától függ. A buborék növekedéséttermodinamikai és kinetikai tényezők határozzák meg. A termodinamikai tényezők közül a legfontosabbak a cella belsejében és azon kívül uralkodó nyomás különbsége, a határfelületi feszültség és a cella mérete, illetve a határfelület nagysága. A kinetikai tényezők közül a polimer oldat vagy ömledék viszkozitása a legmeghatározóbb. A buborék stabilizálásánakkét fontosabb módszere van: a polimer viszkozitásának növelése hűtéssel vagy térhálósítási reakciókkal. Túl nagy habosítóanyag koncentráció, illetve a polimer viszkozitásának túlságosan kis értéke a cellák egyesüléséhez, a hab összeeséséhez vezet. [14]

 Műanyagok közül szinte mindegyiket lehet habosítani, a gyakorlat szempontjából azonban a polisztirolnak és a poliuretánnak van kiemelt jelentősége.

 *2.1.2.1. Polisztirolhab*

 A [polisztirolhab](https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/polisztirolhab/) az egyik legelterjedtebb hőszigetelő anyag. Alapanyaga az előhabosított polisztirolgyöngy. A po­lisztirolból két, lényegesen eltérő tulajdonságú habanyagot állítanak elő:

* az expandált polisztirolt (EPS) a polimergyöngy zárt térben végzett vízgőzös vagy forró levegős, szakaszos duz­zasztásával gyártják,
* az extrudált polisztirolhabot (XPS) folyamatos technológi­ával habosítják.

 Az *expandált polisztirol* hővezetési tényezője 0,030-0,040 $\frac{W}{mK}$, testsűrűsége 12-40 $\frac{kg}{m^{3}} $között van. A habosított blokkokat alacsony forrpontú folyadékot, általában pentánt tartalmazó polisztirol gyöngyből állítják elő. A pentánt a polimerizáció során oldják a polisztirolban. A habosítást két lépésben végzik. Első lépésben az 5-8% pentánt tartalmazó gyöngyöket melegítéssel, általában gőzzel előhabosítják, majd érlelik. Ezt követően a habosítás az előhabosított szemcséket alumínium szerszámba töltik, majd gőzzel felmelegítik. A melegítés hatására a szemcsék tovább habosodnak és összeolvadnak. Az előállított blokkokat izzószálakkal vágják méretre. Ez a hőszigetelő anyag nem áll ellen a különböző savaknak, szerves oldószereknek, ásványolajoknak stb. A polisztirol habok nehezen éghetők.



3. ábra: Az expandált polisztirolhab szerkezete [15]

 Az *extrudált polisztirol* hővezetési tényezője 0,025-0,027 $\frac{W}{mK}$, testsűrűsége pedig 25-45 $\frac{kg}{m^{3}}$ között van. A terméket extrúzióval állítják elő, mely során a habosítást végző gázt nagy nyomáson juttatják az ömledékbe, ahova az beoldódik. A szerszámban a nyomás csökken, emiatt a gáz kioldódik és felhabosítja az ömledéket. A hab szerkezetére jellemző, hogy a termék tömör kéreggel és habos maggal rendelkezik. A kéreg vastagsága a gyártási körülményektől és a polimer tulajdonságaitól függ. Az anyag finom, teljesen zárt cellákból épül fel, sima felületű és mé­rettartó. Az extrudált termékek hőszigetelő képessége jobb, szilárdsága nagyobb, vízfelvétele pedig kisebb, mint az ex­pandált terméké. Felhasználása elsősorban hűtőházak teher­hordó födémeinek, fordított tetőszerkezetek, illetve nagyobb terhelésnek kitett szerkezetek hőszigetelésekor történhet. Ez a hőszigetelő anyag nem áll ellen a különböző savaknak, szerves oldószereknek, ásványolajoknak stb. A legújabb polisztirollapok perforáltak, lyuka­csos szerkezetűek. A szemcsék tehát pontszerűen kapcsolódnak egymáshoz, így a páraáteresztő képesség jelentősen megnő. [3], [7-8], [10], [14]

 *2.1.2.2. Poliuretánhab*

 A habosított polimer termékek egy jelentős részét a *poliuretán habok* teszik ki. Hajlékony és kemény habok is előállíthatók belőlük. A poliuretán habok két fő komponensből készülnek: izocianátból és poliolból, melyek a következő során hozzák létre a polimert:



4. ábra: Az izocianát és a poliol reakciója, mely során poliuretán keletkezik [14]

 A feleslegben levő izocianát csoportok és víz reakciója során szén-dioxid képződik, melynek hatására végbemegy a habosodás.



5. ábra: Az izocianát és a víz reakciója, mely során a habosodást előidéző széndioxid képződik [14]



6. ábra: A kemény poliuretánhab szerkezete [16]

 A poliuretán habot a poliuretán fizikai, vagy kémiai és fizikai habosításával állítják elő, félkemény és kemény kivi­telben. A kemény poliuretán pórusszerkezete 95 V%-ban zárt. A jó hőszigetelő képességet a pórusok közé zárt gőzök biz­tosítják. Habosítás közben a poliuretán hab jól tapad a papírhoz, kerámiához, fához, ezért szendvicsszer­kezetek gyártására ragasztóanyag nélkül is felhasználható. Lehetőség van a helyszíni habosításra is. Testsűrűsége 30-40 $\frac{kg}{m^{3}} $közötti, hő­vezetési tényezője 0,030 $\frac{W}{mK}$. 100 °C-ig hőálló, nyomó­szilárdsága 0,14-0,25 MPa. Könnyen éghető anyag, de a lúgok, savak, szerves oldósze­rek nem támadják. [3], [7-8], [10], [14]

 *2.1.2.3. Habüveg*

 A 20. századi ipari fejlődés eredménye volt a habüveg, mint új hőszigetelő anyag megjelenése. A [*habüveget* speciális összetételű](https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/habuveg-gyartasa-hoszigeteles-tulajdonsagai-es-alkalmazasa/) üvegből állítják elő, az alapanyagok az üveggyártás alapanyagaival egyeznek meg (kvarchomok, földpát, mész, szóda és újrahasznosított üveg).



7. ábra: A habüveg szerkezet [17]

 Az üveget az előkészítés során megolvasztják, extrudálják és finomra őrlik, majd alapo­san összekeverik a pórusképző anyaggal (mészkő, dolomit, szénpor, kálium-nitrát stb.) és a granulálási segédanyagokkal (pl. agyagásványokkal). Ezután a keveréket hőálló sablonban, kb. 830-860°C-os hőmérsékletre hevítik. A hevítés hatására pórusképző gáz termelődik (pl. szénporból CO2). A gázkép­ződés miatt az üveg megduzzad, 12-15-szörösére növeli térfogatát. Az üvegben többnyire zárt, 0,2-1 mm átmérőjű pórusok keletkeznek, amelytől a termék jó hőszigetelő tu­lajdonságú lesz. A habüveg tehát apró golyócskák halmaza, olyan kis gömböké, amelyekben hajszálvékony üveghártya zár körül egy kis gázbuborékot. A habüveg testsűrűsége 125-135 $\frac{kg}{m^{3}}$, hővezetési tényezője 0,048 $\frac{W}{mK}$, nyomószilárdsága pedig 0,7-0,8 $\frac{N}{mm^{2}}$. Vizet egyáltalán nem vesz fel, teljesen párazáró. A klasszikus eljárásban a habüveg tömböt lehűlés után táblákra vágják. Általában vegyipari tartályoknál, hűtőházaknál, tűz­biztos épületszerkezeteknél használják. **Leginkább a nedvességre** érzékeny épületrészek szigetelésére alkalmas, pl. lapostetők, vagy a talajjal érintkező épületrészek esetében. A szigetelőanyag megmunkálása problémamentes. [7-8], [10-11]

 *2.1.3. Ömlesztett szigetelő anyagok*

 Az ömlesztett hőszigetelő anyag szerkezetében a szemcsék között kialakult pórusok, illetve a szemcsék porozitása okozza a jó hőszigetelő képes­séget.

 *2.1.3.1. Duzzasztott agyagkavics*

 A *duzzasztott agyagkavics* készítési technológiáját 1917-ben Stephen John Hayde fejlesztette ki. Megfigyelte, hogy egy bizonyos fajta agyagból készült téglák égetés közben túlzott módon megduzzadnak. Ez adta az ötletet a duzzasztott agyagkavics gyártásához. 1918 februárjában szabadalmaztatta a máig használt eljárást.

|  |  |
| --- | --- |
| A képen gyümölcs látható  Automatikusan generált leírás | A képen beltéri látható  Automatikusan generált leírás |

8. ábra: A duzzasztott agyagkavics szerkezete [19-20]

 Alapanyagként mészben szegény agyagot használnak, amit megőrölnek, majd 1000-1200°C-on egy forgódobos kemencében felhevítenek (kalcinálás). A hevítés következtében az alapanyag külső felülete megolvad, a benne lévő különféle szerves anyagok pedig elégnek. Az égés folyamán gázok fejlődnek, melynek hatására a granulátum szemcséi eredeti térfogatuk 4-5-szörösére duzzadnak. A szemcsék belsejében az eltávozó gázok hatására finom pórusok keletkeznek, ezeknek köszönheti a késztermék kiváló hőszigetelő tulajdonságát. Az így keletkezett 4 mm átmérőjű szemcséket elsősorban könnyűbetonok adalékanyagaként használják a hőszigetelő képesség javítása érdekében. A duzzasztott agyagkavics testsűrűsége 260-500 $\frac{kg}{m^{3}}$, hővezetési tényezője pedig 0,085-1,100 $\frac{W}{mK}$. A duzzasztott agyagkavics gyöngy könnyű, nagy szilárdságú, savnak, lúgnak ellenáll, fagyálló, tűzálló, környezetbarát (idegen anyagot az agyagon kívül nem tartalmaz) és tartós, stabil, nem bomlik. [3], [10]

 *2.1.3.2. Duzzasztott perlit*

 A perlit természetes körülmények között előforduló vulkanikus üvegkőzet, egy viszonylag magas víztartalmú riolitváltozat. A perlit kémiailag semleges, vizes oldatban pH-értéke 7, keménysége 5,5-7 között (Mohs-skála) változik. A perlit kőzetszíne az áttetsző világosszürkétől az üveges feketéig változik, duzzasztás után hófehér, esetleg szürke-fehér lehet. A perlit tipikus összetétele: 70-75% szilícium-dioxid, 12-15% alumínium-oxid, 3-4% nátrium-oxid, 3-5% kálium-oxid, 0,5-2% vas-oxid, 0,2-1,7% magnézium-oxid, 0,5-1,5% kalcium-oxid, 3-5% kémiailag kötött víz. A nyers perlit testsűrűsége 1100 $\frac{kg}{m^{3}}$, míg a duzzasztott perlité 90-490 $\frac{kg}{m^{3}}$, hővezetési tényezője pedig 0,045-1,070 $\frac{W}{mK}$.



9. ábra: A duzzasztott perlit [22]

 1938-ban az amerikai *L. Lee Boyer* az Arizona államban található Superior városának vizsgálólaboratóriumában azon dolgozott, hogy különféle szilikátok keverékéből új szigetelőanyagot állítson elő. Egyik kísérlete során a közeli hegyekből származó vulkanikus kőzet (perlit) őrleményét szórta a 850-900°C-ra felhevített kemencébe, s arra lett figyelmes, hogy a perlit szemcséi a kemencében pattogni kezdtek (a pattogatott kukoricához hasonlóan). Alaposan megvizsgálta a keletkezett duzzasztott perlitet és rájött, hogy az eredeti szemcsék 2-5%-ban vizet tartalmaztak. Hevítés során a perlit felülete meglágyult, és miközben a magas hőmérsékleten gőzzé váló nedvesség távozott a perlit szemcséiből, azok az eredeti méretük 7-16-szorosára duzzadtak. Napjainkban a gyártása során a nyers, bányanedves perlitkőzetet 0,2-2,5 mm szemcseátmérőjűre zúzzák, majd osztályozzák és szárítják. Ezt követően kerül a duzzasztóműbe, ahol a perlitszemcséket hirtelen 840-1200 °C közötti hőmérsékletre hevítik. Ilyenkor a szemcsék külső felülete meglágyul (ún. piroplasztikus állapotba kerül), a 3-5% kristályvíz elgőzölög, miközben a szemcséket az eredeti térfogatuk 4-20-szorosára duzzasztja.

 A duzzasztott perlit rossz hővezető képességű, ezért kiváló a hőszigetelő képessége, kicsi a testsűrűsége, nem éghető, hőálló (900 °C-ig) és jó a páraáteresztő képessége. Rovar és rágcsáló nem károsítja, pH-értéke semleges, nem oldódik savakban és lúgokban, egészségre nem ártalmas (nem tartalmaz nehézfémeket, valamint más anyagokat, amelyek károsan hatnak az emberre és a környezetre), megakadályozza a mikroorganizmusok keletkezését, és kedvezőtlen körülményeket jelent ezek szaporodására.

 Az 1950-es évekre hőszigetelő anyagként történő alkalmazása világszerte elterjedt. Használható ömlesztett szigetelésként, de elterjedt habarcsok és könnyűbetonok adalékanyagaként történő felhasználása is, mivel azok szerkezeti önsúlyát csökkenti és hőszigetelő képességüket javítja. [3], [7-8], [10]

 *2.1.4. Nanotechnológiás hőszigetelő anyagok – vákuumszigetelés*

 A *vákuumpaneles hőszigetelő termékeket* elsőként a hűtőgépek és járművek szigetelésére fejlesztették ki, mára azonban az építőiparban is megjelentek. Az első, nanostruktúrájú anyaggal töltött vákuumpanelt 1963-ban állították elő. A következő évtizedek kísérleteinek célja az volt, hogy megtalálják a megfelelő maganyagot és légzárási technológiát.



10. ábra: Egy vákkumszigetelő panel felépítése [24]

 A VIP lemezekmaganyagból és az azt borító, légmentesen leragasztott burkolóanyagból állnak. A maganyag kis hővezetési képességű, nyomásálló és evakuálható. A különböző töltőanyagok közül a leghatékonyabb alapanyag a pirogén kovasavpor, ami nanoméretű pórusokat tartalmaz. Ezen nanopórusos anyag pórusszerkezete ugyanis azonos nagyságrendbe esik az atmoszferikus nyomás alatti levegőmolekula méretével. A préselés során a nanogolyók közötti pórusok olyan kicsikké válnak, hogy a levegőmolekulák mozgását jelentősen gátolják. Hővezetési tényezője így evakuálás nélkül is kétszer kisebb, mint a hagyományos hőszigetelő anyagoké ($λ$ = 0,019 $\frac{W}{mK}$). Azzal, hogy a nanokristályok közti térben vákuumhoz közeli állapotot hoznak létre (0,05 bar), a levegőrészecskék nagy százalékát eliminálják. Mivel a közel légüres térben nagyon kevés levegőmolekula marad, nem tudják ütközés révén a mozgási energiát átadni, így a konvekció által történő hőenergia szállítás is minimálisra csökken. Az így keletkezett hőszigetelő panel hővezetési tényezője egy nagyságrenddel kevesebb, mint a többi, általánosságban használt hőszigetelő anyagé. A teljes rendszer működésében nagy szerepet játszik a szigetelőfólia is, amely a töltőanyagot körbeveszi és légmentesen van lezárva. Nem csak a vákuum megtartását biztosítja, hanem ez jelenti a kapcsolatot a környezet és a panel között is. A külső membránborítás, egy többrétegű műanyag – polietilén-tereftalát (PET) vagy polietilén – fóliából álló mechanikai védőréteg, amelyre általában 2-3 rétegben 30 nm vastagságú pára- és légzáró alumíniumfólia kerül. A nagyvákuum minél hosszabb ideig való megtartása érdekében bizonyos termékeknél „getter” anyagot is elhelyeztek a panel belsejében, hogy az időközben bejutó molekulákat (főként vízgőzt, oxigént és nitrogént) megkössék. A VIP panelek testsűrűsége 150-300 $\frac{kg}{m^{3}}$, hővezetési tényezőjük pedig 0,005-1,010 $\frac{W}{mK}$ között változik, amely függ az anyagban lévő vákuum mértékétől (a panel belsejében lévő nyomás növekszik az idővel, ami növeli a hővezetési tényezőt). Alkalmazás: olyan esetekben, amikor az épületszerkezet hőszigetelő képességének fokozására a hőszigetelés vastagságának növelése nem alkalmas (pl. helyhiány miatt). Felhasználási területtől függően a vákuumpanel hőszigetelések készülhetnek vákuum hőszigetelő panel, vákuum szendvicspanel vagy vákuumüvegezés formájában. [10-11], [25]

1. **Irodalomjegyzék**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | <https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/a-hoszigetelo-anyagok-fogalma-es-csoportositasa/>, 2019.11.11. |
| [2] | <http://thermodam.hu/hoszigeteles-nehany-fontos-fogalom/>, 2019.11.11. |
| [3] | <https://kreativlakas.com/magasepiteszet/hoszigetelo-anyagok-fajtai-tulajdonsagaik/>, 2019.11.11. |
| [4] | Dr. M. S. Al-Homoud, Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials, *Building and Environment* 40 (2005) 353–366 |
| [5] | BYNUM, R. T., Insulation Handbook, *The McGraw-Hill Companies*, New York(USA), 2001 |
| [6] | <https://kreativlakas.com/haz/hoszigetelo-anyagok-szerves-es-szervetlen/>, 2019.11.11. |
| [7] | D. Bozsaky, The development of thermal insulation materials from the beginnings to the appearance of plastic foams,*XXXVII IAHS*, Santander, Spain, Octobre 26-28, 2010 |
| [8] | D. Bozsaky, The historical development of thermal insulation materials, *Periodica Polytechnica Architecture* 41/2 (2010) 49–56 |
| [9] | L. Aditya, T. M. I. Mahlia, B. Rismanchi, H. M. Ng, M. H. Hasan, H. S. C. Metselaar,O. Muraza, H. B. Aditiya, A review on insulation materials for energy conservation in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017) 1352–1365 |
| [10] | Bozsaky D., Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, c. doktori értekezés, Széchenyi István Egyetem, Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése, Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Győr, 2011 |
| [11] | <https://kreativlakas.com/epitkezes/milyen-hoszigetelo-anyagok-vannak/>, 2019.11.11. |
| [12] | <https://termolan.lape.it/prodotto/383/Pannello-Power-teK-BD-660.html>, 2019.11.11. |
| [13] | <http://szigatech.hu/termekek/szigeteloanyag/uveggyapot-szigeteles/>, 2019.11.11. |
| [14] | Pukánszky B., Móczó J., Műanyagok, BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék, 2011 |
| [15] | <http://nagyformatumu.hu/de/habvagoval-vaghato-anyagok>, 2019.11.11. |
| [16] | <https://iso-thermo.hu/termek/bauder-pir-sds-magasteto-hoszigetelo-tabla/>, 2019.11.11. |
| [17] | <http://strport.ru/izolyatsionnye-materialy/utepliteli/uteplenie-penosteklom-poshagovaya-instruktsiya>, 2019.11.11. |
| [18] | <https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/duzzasztott-agyagkavics-gyartasa-felhasznalasa-es-tulajdonsagai/>, 2019.11.11. |
| [19] | <https://thegreenlove.com/Hedera-agyagkavics-5L>, 2019.11.11. |
| [20] | <https://ezermester.hu/cikk-5781/Liapor_duzzasztott_agyagkavics_a_tetoterbeepitesben>, 2019.11.11. |
| [21] | <https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/duzzasztott-perlit-gyartasa-tulajdonsagai-es-felhasznalasa/>, 2019.11.11. |
| [22] | <https://ageduverre.com/Perlite>, 2019.11.11. |
| [23] | <https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/vakuumpanel-hoszigeteles-tulajdonsagai-alkalmazasa/>, 2019.11.11. |
| [24] | <https://www.csaladihaztervezes.hu/Nyito/vakuumpanel>, 2019.11.11. |
| [25] | 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 |