



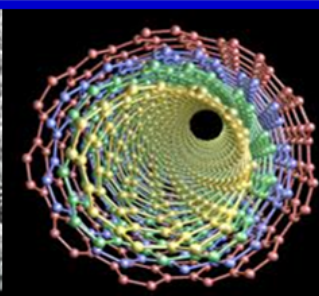
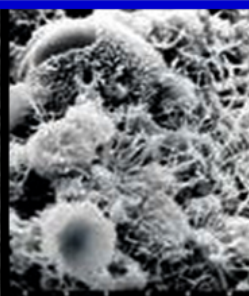
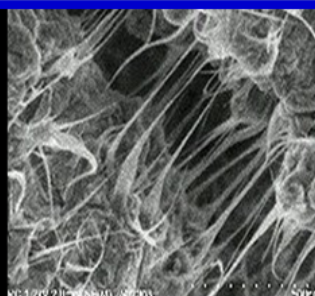
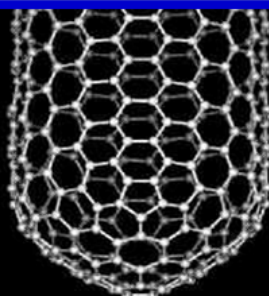
PTE PM Műszaki és Informatikai Kar
Anyagtan és Geotechnika Tanszék
Betontechnológia TDK

Nanotechnológia az építőiparban építészeti alkalmazások

Nagy Tamás

I. évf. építészmérnök BSc szakos hallgató

Konzulens: Dr. Orbán József f. tanár



Tudományos Diákköri Konferencia

PTE Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar Pécs, 2011. december 01.

TDK DOLGOZAT

A tudományos diákkör tagjai:

Nagy Tamás	építészmérnök BSc. szakos I. évf. hallgató
Kiszel Erzsébet	építészmérnök BSc. szakos I. évf. hallgató
Molnár Péter	építészmérnök BSc. szakos I. évf. hallgató
Nagy Gergely	építészmérnök BSc. szakos I. évf. hallgató
Halmos Fruzsina	építészmérnök BSc. szakos I. évf. hallgató

Konzulens: Dr. Orbán József főiskolai tanár

PTE PMMIK Anyagtan és Geotechnika Tanszék

Pécs, 2011. december

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés és a téma aktualitása
2. Nano anyagok és nanotechnológiák
 - 2.1 Nanoméretű anyagok
 - 2.2 A nanotechnológia anyagai
3. Nanotechnológia alkalmazási területei az építőanyagiparban
4. A fotokatalízis öntisztító hatásmechanizmusa
5. Öntisztuló falfelületek és épülethomlokzatok
 - 5.1 A fotokatalízis reakcióval öntisztuló betonfelületek
 - 5.2 Titándioxid felületkezeléssel létrehozott védőbevonatok
 - 5.3 Fotokatalitikus cementbevonat környezetvédelmi alkalmazása
 - 5.4 Fotokatalízis reakcióval öntisztuló kerámiafelületek
 - 5.5 A fotokatalízis reakcióval öntisztuló vakolt falfelületek
 - 5.6 A fotokatalízis reakcióval öntisztuló festék felületek
 - 5.7 Lótusz-effektus elvén működő öntisztuló homlokzatvédelem
 - 5.8 Nanotechnológiás felületkezelések és bevonatok
 - 5.9 Nanotechnológiás antigraffiti bevonatok
6. Nanotechnológiával kezelt üvegfelületek és bevonatok
 - 6.1 UV sugárzás szűrése nano- bevonatos üvegfóliával
 - 6.2 Nano réteggel bevont üvegfelületek
7. Nanotechnológia a betoniparban
 - 7.1 Nanotechnológia a beton-adalékszerek alkalmazásában
 - 7.2 Betonok tömörségének fokozása nano- adalékanyagokkal
 - 7.3 Betonok szilárdságának és repedésállóságának növelése nanocsövekkel
 - 7.4 Habarcsok tulajdonságának javítása nanotechnológiával
 - 7.5 Nanotechnológia a szálalagok gyártásában
 - 7.6 Nanocement építőipari alkalmazása
8. Nanotechnológiás hőszigetelő anyagok és bevonatok
 - 8.1 Grafitadalékos expandált polisztirol (EPS) lemezek
 - 8.2 Nanopórusos aerogél hőszigetelő anyagok
 - 8.3 Nanopórusos hőszigetelő vékonybevonatok
 - 8.4 Nanoporózus vákuum hőszigetelés

Felhasznált irodalom

Nanotechnológia építőipari és betontechnológiai alkalmazásai

1. Bevezetés és a téma aktualitása

A nanotechnológia, mint az elkövetkező évtizedek legfontosabb tudományterülete és az ipari fejlődés hajtóereje, az építőanyagipar területén is fejlődési lehetőséget biztosít a különleges paraméterű építőanyagok kifejlesztéséhez és ezek hatékony építőipari alkalmazásához. Ma már mindenki számára ismertek a nanotechnológia sikeres alkalmazásai a mikroelektronika a mikrobiológia és az anyagtudományok területén. Ugyanakkor az építőiparban való alkalmazási eredményekről és lehetőségekről csak elszórtan, a különböző termékismertető reklámjellegű katalógusaiból szerezhetnek ismereteket az iparág mérnökei és szakemberei.

A hazai szakirodalom nagyon szerényen foglalkozik a nanotechnológia építőipari alkalmazásával, pedig más iparágakat is megelőzve, feltehetően a betonok cement kötőanyagának kolloid rendszerébe való vegyszeres beavatkozás volt egyike, az első tömegesen alkalmazott nanotechnológiának. Ezt az ismeretterjesztési hiányosságot kívánja pótolni az tanulmány, számos alkalmazási példán bemutatva a nanoanyagok nem mindennapos tulajdonságait, és az alkalmazásukkal elérhető különleges hatásokat, valamint a jelenlegi és jövőbeni alkalmazási lehetőségeiket az építőipar területén.

A tanulmány anyagának összeállításakor nehézséget jelentett az, hogy az építőipar elsősorban K+F eredményeket hasznosító iparág, és az építőanyagipar cementtel kapcsolatos kutatásain kívül igen kevés az a terület hazánkban, ahol nanoanyagokat fejlesztenének, és nanotechnológia alkalmazásukat kutatnák. A termékfejlesztő cégek pedig szabadalmi védelemre hivatkozva nem, vagy csak „ködösítve” ismertetik a nanoanyagok működési elvét és alkalmazástechnológiájukat. Továbbnehezíti a dolgot, hogy az építőipar számára, ami szabad szemmel már nem látható és mikroméretű, azt a manapság divatos „nanotechnológiai” alkalmazásként kezelik. Mára a „nano” szó egy márkává nőtte ki magát a köztudatban, így a „nano” kifejezést arra használják, hogy kiemeljék a termékek kiváló műszaki teljesítményét.

A nanotechnológia korunk egyik legdinamikusabban fejlődő iparága. Kutatási és fejlesztési eredményei a mindennapi életünk egyre szélesebb területeit szövi át az építő- és építőanyagipar számos területén is.

2. Nano anyagok és nanotechnológiák

2.1 Nanoméretű anyagok

A "nano" görög eredetű szó, jelentése törpe. 1 nanométer = 10^{-9} méter, azaz a nanométer a méter egymilliárdod része. További mértékegység átszámítások:

$$1 \text{ mm} = 1.000 \text{ } \mu\text{m} = 1.000.000 \text{ nm, azaz } 1 \mu\text{m} = 1.000 \text{ nm}$$

Az igen kicsi nano méret viszonyításához, néhány példa:

- egy hajszál vastagsága $\approx 200 \text{ } \mu\text{m} = 200.000 \text{ nm}$
- egy cementszemcse átmérője $\approx 30 \text{ } \mu\text{m} = 30.000 \text{ nm}$
- a H_2O vízmolekula átmérője $\approx 0,27 \text{ nm}$

Nanoméretű anyagoknak olyan objektumokat tekintünk, amelyeknek legalább egyik mérete kisebb, mint 100 nanométer. Az ilyen kisméretű nanorészecskéket már más anyagnak kell tekinteni, mint a hétköznapi életünkben alkalmazott makroméretűeket. Ugyanis a nano mérettartományában igen lényeges, hogy az anyagokat alkotó atomok milyen arányban helyezkednek el a szemcsék felszínén. Például a 30 nm-es részecske esetében az atomjainak 5 % - a, míg a 3 nm-es részecske esetében atomjainak 50%-a van a felületen. Az ilyen méretű anyagok tulajdonságai elsősorban azon alapszanak, hogy a fajlagos felületük sokkal nagyobb, mint tömbi formában. Fő jellegzetességük, hogy a mérettartományuk csökkenésével igen jelentősen növekszik a kémiai reakcióképességük. Az építőiparban alkalmazott szerkezeti anyagok esetén pedig, a nanoméret tartományban megváltoznak (javulnak) az anyagok mechanikai tulajdonságai.

A kisméretű anyagok közönséges fénymikroszkóppal már nem figyelhetők meg, mivel a nanorészecskék mérete kisebb, mint a látható fény $400 \div 800 \text{ nm}$ tartományba eső hullámhossza. Az anyagrészecskék 50 nanométeres mérettartománya alatt pedig, az építőanyagokra egyáltalán nem jellemző kvantummechanikai effektusok is kezdenek meghatározóvá válni. Például a nanoméretű anyagok hőtechnikai tulajdonságai jelentősen eltérnek az iparban használatos hőszigetelő anyagokétól, mivel az elektromágneses infravörös hőszugárzás hullámhossza ($1 \mu\text{m} \div 1 \text{ mm}$) lényegesen nagyobb, mint a nano anyagok szemcsemérete és pórusszerkezete.

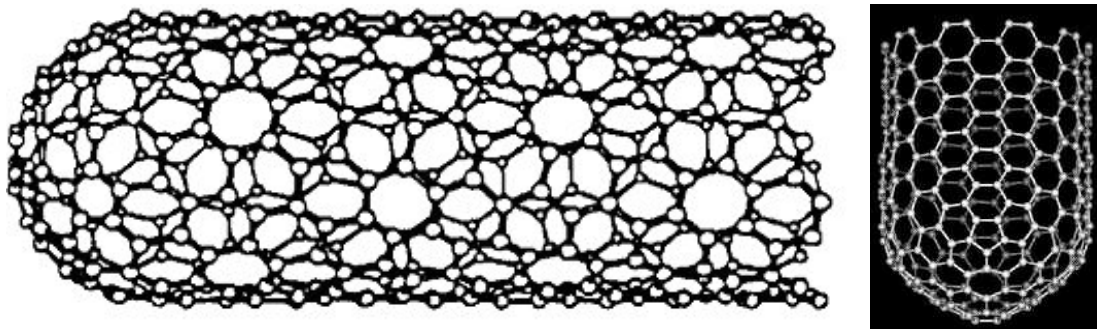
Az építőanyagiparban alkalmazott nanotechnológiák olyan eljárások, melyeknek segítségével 100 nm alatti mérettartományú különleges tulajdonságú anyagokat lehet előállítani és alkalmazni. A nanotechnológiát az különbözteti meg az építőanyagiparban alkalmazott más eljárásokról, hogy a nano mérettartományban végzett technológiai műveletek során, a szokásostól eltérő törvényszerűségek és új tulajdonságok érvényesülnek. Ezek a lejátszódó különleges fizikai és kémiai jelenségek nem mennének végbe, ha a kritikus méretük nagyobb lenne, mint 100 nm.

2.2 A nanotechnológia anyagai

Az építőanyagipari nanotechnológiában leggyakrabban alkalmazott anyagok:

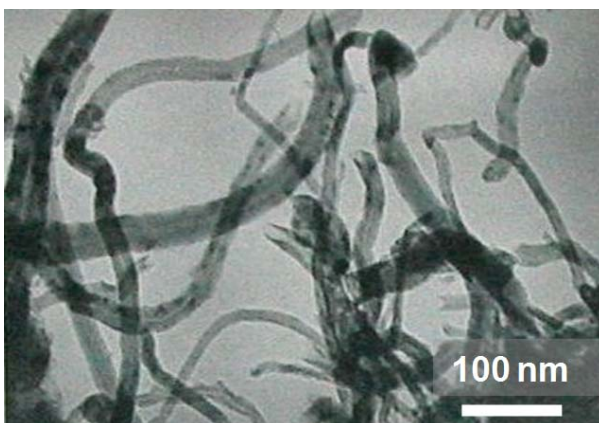
- TiO_2 titándioxid; (titanát nanocső)
- SiO_2 szilíciumdioxid; (szilika és nanoszilika)
- C szén, grafit (szén nanocső)
- nagy molekulájú polimerek

Nanotechnológiában a titándioxid és szén (grafit) alapanyagokat igen gyakran nanocsövek formájában alkalmazzák, melynek előállításához, pl. a szén nanocső esetén a réteges hatszög-szimmetriájú szerkezetben kristályosodó grafitot használják, amit „grafén” síknak nevezünk. Ezt az egyetlen szénatomnyi vastagságú síkot elvágva a nanocsövet hoznak létre, mely kitűnő mechanikai és elektrokémiai tulajdonságokkal rendelkezik. Az építő-anyagipar számára különlegesen előnyös, hogy a csövek szilárdsága meghaladja a gyémántét. Ezeket a viszonylag drága eljárással előállított szén nano csöveket, több iparilag fejlett országban, előnyösen alkalmazzák a különleges betonokhoz a beton szilárdságának és repedésállóságának növelésére.

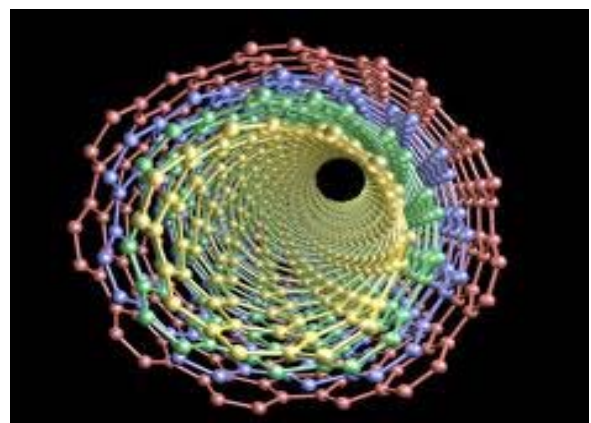


A szén nanocső szerkezete

A szén nanocsövek egy-, vagy többfalúak, hosszuk több ezer nanométer is lehet. A többfalú grafitcsövek koncentrikusan egymásban elhelyezkedő egyfalú nanocsövekből épülnek fel.



Szén nanocsövek ($d = 10\div 80\text{ nm}$)



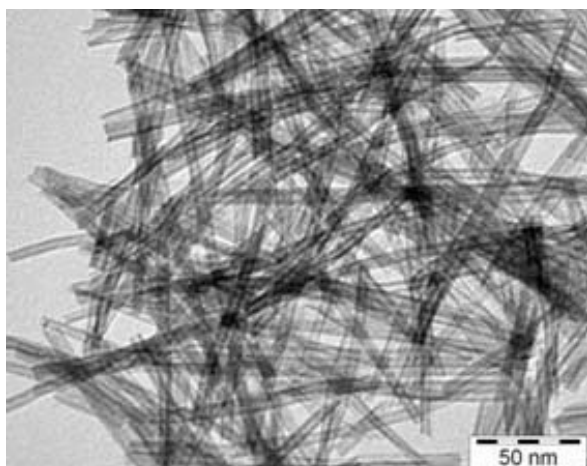
Többfalú szén nanocső



Szén nanocsövek a beton cementkő szerkezetében

A hazai építő-anyagiparban elsősorban a kedvező tulajdonságú titándioxidot alkalmazzák a nanotechnológia eljárások anyagaként, az olcsósága és az egyszerű előállíthatósága miatt. A TiO_2 -nak két különböző természetes előfordulási alakja van, az Anatáz és a Rutil. Az Anatáz fotokatalitikus aktivitása igen erős, ami számos felhasználási lehetőséget hordoz magában.

A titándioxidból előállított titanát nanocsövek és nanoszálak, félvezető tulajdonságaiknak köszönhetően jól használhatók az építőanyagiparban a katalizátorok alapanyagaként, valamint speciális módosításokkal szuper hidrofób anyagok előállítására. A speciálisan módosított titanát nanocsövekkel különböző víz- és szennyeződés lepergető épülethomlokzatok és borítások alakíthatóak ki



Titanát nanocsövek



Réteges szerkezetű titanát nanoszálak

3. Nanotechnológia alkalmazási területei az építőanyagiparban

Öntisztuló beton- és üvegfelületek, épülethomlokzatok

- Fotokatalizis reakcióval öntisztuló betonfelületek
- Titándioxid felületkezeléssel létesített védőbevonatok
- Kerámiafelületek öntisztuló nanobevonatos impregnálása
- Légszennyezettséget csökkentő nanotechnológiás betonfelületek
- Fotokatalizis reakcióval öntisztuló vakolt felületek
- Fotokatalizis reakcióval öntisztuló festékfelületek
- Öntisztuló nano- és mikro strukturált festékfelületek és bevonatok

Felületkezelő- és védőbevonatok

- Baktériumölő nano adalékos festékek és bevonatok
- Épülethomlokzatok és falfelületek graffiti elleni nanotechnológiás védelme
- Belső terek UV sugárzás elleni védelme nano bevonatos üvegfóliával

Betontechnológiai alkalmazások

- Nanotechnológiás plasztifikáló beton-adalékszerek alkalmazása
- Betonok vízzáróságának fokozása nano- adalékanyagok alkalmazásával
- Betonok szilárdságának és repedésállóságának növelése nanocsövekkel
- Betonok fagyállóságának növelése szén nanocsövekkel
- Nano szénecsövek alkalmazása a habbeton gyártásában
- Habarcsok tulajdonságainak javítása nanotechnológiával
- Nanotechnológia a szálal anyagok gyártásában
- Nanocement építőipari alkalmazása

Hatékony hőszigetelő anyagok előállítás

- Grafitadalékos expandált polisztirol (EPS) lemezek
- Nano- porózus aerogél hőszigetelő anyagok
- Nanotechnológiás hőszigetelő festékek és vékonybevonatok
- Nanotechnológiás vákuum hőszigetelés

4. A fotokatalízis öntisztító hatásmechanizmusa

A nanotechnológia építőiparban történő hasznosításának igen nagy területét fedi le a fotokatalízis elvén működő öntisztuló falfelületek alkalmazása. Az eljárás lényege, hogy a titándioxidot tartalmazó felületen (pl. beton, üveg) a TiO_2 fotokatalizátorként működve, elnyeli a napfény UV sugárzását. Ez az energia gerjeszti a titándioxid vegyértékelektronját, mely különböző reakciókon keresztül oxidációs közeget hoz létre, majd felbontja a falfelületre lerakódott szennyezőanyagokat. A falfelületek öntisztulását biztosító fotokatalízis hatásmechanizmusának megértéséhez természetesen elengedhetetlen a lejátszódó fizikai-kémiai folyamatok részletesebb elemzése.

A fotokatalízis mechanizmusa:

1. A titándioxidot tartalmazó cementtel gyártott falfelületen a TiO_2 fotokatalizátorként működve, elnyeli a napfény UV (ultrabolya) elektromágneses sugárzását.
2. Az elnyelt UV sugárzás energiája gerjeszti (aktiválja) a félvezető tulajdonságú TiO_2 vegyértékelektronját.
3. A gerjesztett vegyértékelektron magasabb energiaszintű pályára kerül, ez a folyamat a foto-gerjesztés. A foto-gerjesztéshez szükséges energia (E) a vegyértéksáv és vezető sáv közötti energiakülönbség (sávrés energia).

A félvezető titándioxid esetén: $E = h \times \nu = h \times 1/\lambda = 3,2 \text{ eV}$

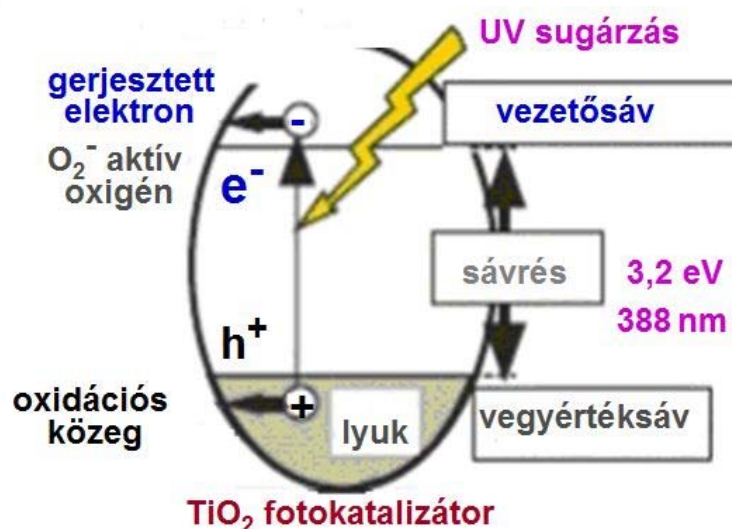
Ahol: h – Planck állandó 1240

ν – az elektromágneses fényenergia frekvenciája

λ - a foto-gerjesztéshez szükséges fény hullámhossza

Az összefüggésből kiszámítható a foto-gerjesztéshez szükséges

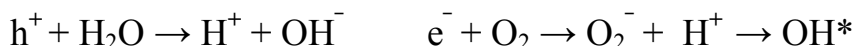
fény hullámhossza: $\lambda = h/E = 1240/3,2 \text{ eV} = 388 \text{ nm}$



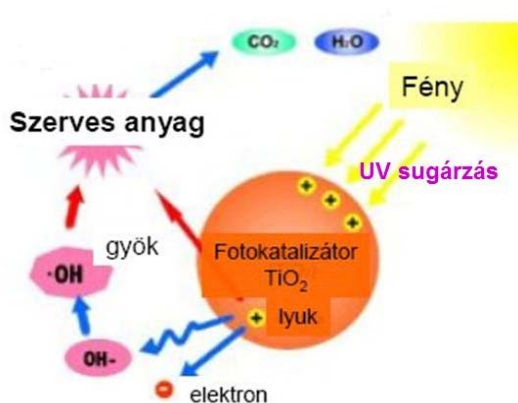
TiO₂ vegyérték elektronjainak foto-gerjesztése

Megjegyzés: A $\lambda=388$ nm hullámhosszúságú sugárzással és az ennek megfelelő energiával, a Nap széles spektrumú elektromágneses sugárzásából a lágy UV (Ultraibolya sugárzás $\lambda=200\div400$ nm) rendelkezik. Az ennél nagyobb energiával rendelkező sugárzást (kemény UV, röntgen) a Föld légköre már nem engedi át.

4. A gerjesztett vegyértékelektron feles energiája létrehozza a negatív elektron (e^-) és pozitív lyuk (h^+) párt, melyek oxidációs közeget teremtenek a titándioxid fotokatalizátor környezetében:

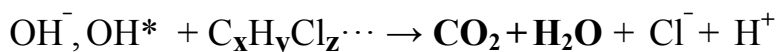
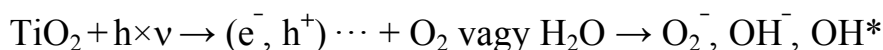


A titándioxid pozitív lyukja felbontja a vízmolekulát hidrogéngázra és hidroxil ionra. A negatív elektron reakcióba lép az oxigénmolekulával és aktív oxigén keletkezik, mely a hidrogénnel reagálva, hidroxil gyököt képez.



A fotokatalízis öntisztító hatásmechanizmusa

5. A reakciók során keletkező OH^- és OH^* hidroxil ionok és gyökök, mint oxidációs közegek, felbontják a beton felületére lerakódott szerves anyagokat, széndioxidra és vízre.



Ez a folyamat mindaddig működik, amíg a fényhatás tart.

5. Öntisztuló falfelületek és épülethomlokzatok

5.1 A fotokatalízis reakcióval öntisztuló betonfelületek

A nanotechnológia építőiparban már meghonosodott alkalmazási területe az öntisztuló betonfelület, melyet fotokatalitikus tulajdonságú titándioxid tartalmú cementtel készítenek, és mint öntisztuló felületet alkalmazzák az építészetben. Gazdasági okokból a betonszerkezetnek csak a külső vékony betonréteget készítik fotokatalitikus cementtel. Az UV sugárzás hatására a cement felületén lejátszódó fotokatalitikus folyamatok során szabad elektron és oxidációs közeg keletkezik, mely felbontja a betonfelületen lévő szerves szennyezőanyagokat széndioxidra és vízre.

Példa az öntisztuló betonfelület építészeti alkalmazására.



Richard Meier: Misericordia Templom Rómában



A jubileumi templom fotokatalitikus betonból előregyártott panelelemei

5.2 Titándioxid felületkezeléssel létrehozott védőbevonatok

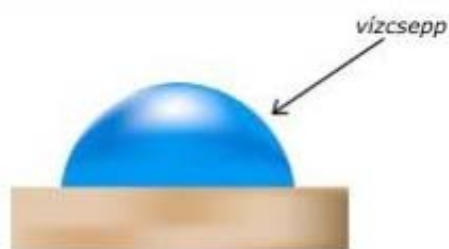
Öntisztuló beton- és üvegfelületet eredményez a titándioxiddal való felületkezelés, melynek lényege, hogy a légköri szennyeződés hatásának folyamatosan kitett épületszerkezetek felületét "nanoméretű" átlátszó titándioxid réteggel vonják be, ami fotokatalitikus úton kémiai módon lebontja és eltávolítja a felületre lerakódó szennyeződést. A TiO_2 felületkezeléssel létrehozott öntisztuló védőbevonat, a hordozófelülettel teljesen összeépül, átlátszó, rendkívül kopás- és UV sugárzás álló, a szennyeződés számára tapadás-gátló.

A **Titan Shield**[®] fotokatalitikus tulajdonságon alapuló öntisztuló bevonat, mely a titándioxid kisebb szemcseméretei mellett, plusz adalékokat és a nemesfémeket is tartalmaz, melyek segítségével megy végbe a fotokatalitikus reakció.

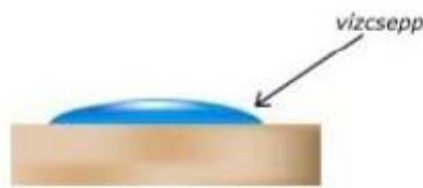
A Titan Shield[®] extra tulajdonságokkal rendelkező bevonat felhasználási területe széleskörű. Fény és nedvesség hatására teljesen öntisztuló felületet ad, elsősorban a nehezen hozzáférhető helyeken alkalmazzák, ahol a tisztítás nehézkes, illetve szükséges a tartósan higiénikus és tiszta felület. Előnyösen alkalmazható műtőkben és klímarendszerekben, mivel a baktériumok, vírusok, illetve vízkő nem tapad meg a kezelt felületen.

Az építőipar számára nehéz feladatot jelent a középületek üvegfelületének folyamatos karbantartása és tisztítása, különösen a magas épületeknél, üveg- és függönyfalaknál. Ez a feladat az üvegfelületek titándioxiddal való felületkezelésével megoldható. A felületre felhordott nanovékony TiO_2 bevonaton, a napfény UV sugárzása hatására lejátszódó fotokatalitikus reakciók, öntisztulóvá teszik az üvegfelületet.

- A fotokatalízis reakció során keletkező hidroxil ionok és gyökök (OH^- , OH^*) felbontják a beton felületére lerakódott szerves anyagokat széndioxidra és vízre.
- A reakció során keletkező aktív oxigén (O_2^-) a víz felületi feszültségét csökkenti, és szuper hidrofillé teszi az üvegfelületet. Az ilyen felületen a víz cseppek helyett szétfut és lemosa a szennyeződést.



*Vízcsepp a kezeletlen
üvegfelületen*



*Vízcsepp a fotokatalitikus
üvegfelületen*

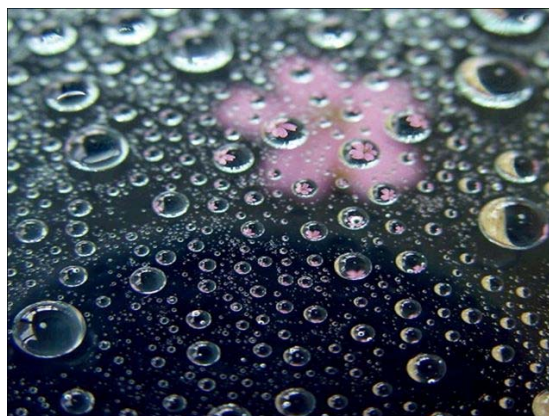


A víz vékony rétegben terül el az üvegfelületen



Öntisztuló üvegfelületek alkalmazása

Vízcseppek a kezeletlen üvegfelületen



Épülethomlokzat fotokatalitikusan öntisztuló üvegfelülete, átlátszó permetként felhordott, fém nanorészecskékből álló napelemekkel.

A **TiPE[®] nanobevonat**, egy fotokatalizátorral és nanotechnológiával kombinált öntisztuló bevonat. Amikor a titándioxid tartalmú fotokatalitikus réteg felszínét fény éri, a felszín szuper vízfelszívóvá válik (hidrofilitás), nem taszítja a vizet, így a víz nem cseppformában jelenik meg, hanem laposan elterül az alapon, lehetővé téve az öntisztulás és könnyű tisztítás lehetőségét.

A TiPE nanobevonat alkalmazásának előnyei:

- Szuper hidrofilitás. A felületet vízcseppmentesen tartja esőben.
- Fotokatalitikus tulajdonága révén, szervesanyag lebomlás fény hatására.
- A fotokatalizis reakciója révén, a levegő NO_x gázoktól való tisztítása.
- Antibakteriális és penészgátló tulajdonság.
- Anti UV jellemző. Megvédi a felületet az UV sugárzás káros hatásától.
- Antisztatikus jellemző. Meggátolja az apró szennyezőanyagok megkötését.

A nanobevonat felhasználási területei:

- építőipar, légáteresztő aktív bevonatok
- műemlékvédelem (antigraffiti bevonat)
- UV ellenállás, felületvédelem
- korrózió védelem
- nagyfokú ellenállás az időjárási hatásoknak
- antibakteriális és anti allergén bevonatok



Vízcseppmentesen tartott fürdőszobai berendezések

5.3 Fotokatalitikus cementbevonat környezetvédelmi alkalmazása

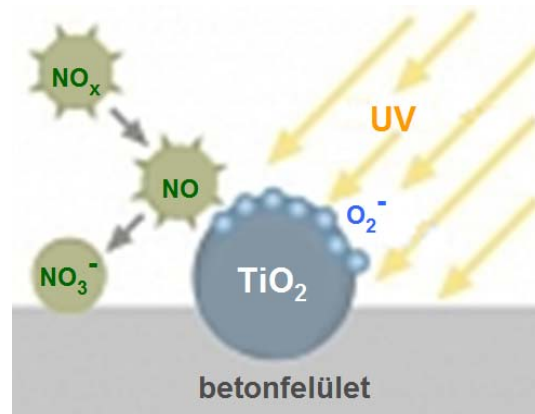
A nagyvárosok egyik fő problémája a kipufogó gázok okozta légszennyezés. Különösképpen a nitrogénoxidok (NO és NO₂) növelik az akut légzőszervi megbetegedések kockázatát.

A légszennyező anyagok mennyiségének csökkentésére titándioxidot tartalmazó cementet alkalmaznak, mely fotokatalitikus hatása révén, a betonfelület öntisztítása mellett, csökkenti a légszennyezés mértékét. A cement titándioxid tartalma az UV sugárzás által aktiválva, (O₂⁻) reagenst generál, mely a levegőben lévő és az egészségre veszélyes nitrogénoxidokat (NO_x) átalakítja ártalmatlan nitrátokká (NO₃⁻). Még alacsony UV sugárzás esetén is eltávolítja a szennyeződések több mint 70%-át.

A fotokatalitikus bevonat légszennyezettséget csökkentő reakciói:

- a titándioxid az UV sugárzás hatására elektronokat gerjeszt: $\text{TiO}_2 + h\nu \rightarrow e^-$
- az elektronok reakcióba lépnek a levegő oxigénjével, reagens oxigénionok keletkeznek: $e^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^-$
- az aktív oxigénionok reakcióba lépnek a hidrogénionokkal, hidroxil gyököt hozva létre: $\text{O}_2^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{OH}^*$ (szennyeződés eltávolítása)
- az oxigénionok reakcióba lépnek a nitrogénoxiddal és vízzel eltávolítható nitrát ionokat hoznak létre: $\text{O}_2^- + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_3^-$

*A levegőtisztítás
hatásmechanizmusa*



Fotokatalitikus cementtel készült betonfelületek levegőtisztítása

Referencia példák a fotokatalitikus cement környezetvédelmi alkalmazására:

- Bergamo: 8000 m² házgyári betonelem
- Milánó: 7000 m² út felületeti burkoltak fotokatalitikus betonnal



Önterülő betonnal készült, fotokatalitikus útfelület, Segrate (Olaszország)

Európában eredményesen alkalmazzák a légszennyezettség csökkentésére az **Ercole EcoActive**[®] márkanévű vékony védőbevonatot (rétegvastagság 1-3 mm), mely fotokatalízis reakciója révén elősegíti a szerves és szervetlen szennyező anyagok lebomlását, és azok több mint 60%-ának ártalmatlanítását.

A HeidelbergCement Group által gyártott **TioCem**[®] CEM II/A-S 42,5 R titándioxid tartalmú cement, *(forgalmazója a DDC)* mely fotokatalitikus hatása révén, csökkenti a légszennyezés mértékét.

TioCem[®] cement felhasználási területei és alkalmazásának előnyei:

- Beton termékek, térkő betonelemek, hangszigetelő elemek és falak, beton térburkolat, tetőcserepek, útburkolatok, járdaszegélyek, zajvédő falelemek.
- A termékek megkönnyítik a betonfelületek tisztítását és biztosítják a színek tartósságát, alkalmazásuk hozzájárul a levegőminőség javításához.

A TioCem[®] használatára jellemző a kétütemű kivitelezés. A cementréteget a magas a költségvonzata miatt, elsősorban csak a felszíni réteggként alkalmazzák.

Alkalmazási területek és referenciák:

- Németországban: TioCem[®] cementtel gyártott térburkoló betonkövek.
- Pécsen 2012. évben megújul a Kálvária-domb, a beton építményekhez környezetvédelmi megfontolásból, TioCem cementet fognak alkalmazni.



*TioCem cementtel készült
térburkoló-kő betonfelületek
(Németország, 2009)*



5.4 Fotokatalízis reakcióval öntisztuló kerámiafelületek

Az épületek kerámiaburkolatainak karbantartására és öntisztítására fejlesztették ki az **Active™ Clean Air** bevonatot, mely titándioxid (TiO_2), ezüst (Ag) és alumíniumoxid (Al_2O_3) nanorészecskéket tartalmaz. A kerámialapokra felhordott bevonati réteg fotokatalízis reakciói során keletkező aktív oxigén és hidroxidion a kerámia felületét szuper hidrofillé teszi, így a víz lefut a felületről, eltávolítva a szennyeződést. Az öntisztuló bevonat különösen alkalmas a szerves szennyezőanyagok lebontására és a városi levegő egészségkárosító nitrogénoxid tartalmának csökkentésére. Az ezüst nanorészecskék reakciójának köszönhetően pedig, antibakteriális és gombaölő tulajdonságokkal is rendelkezik.

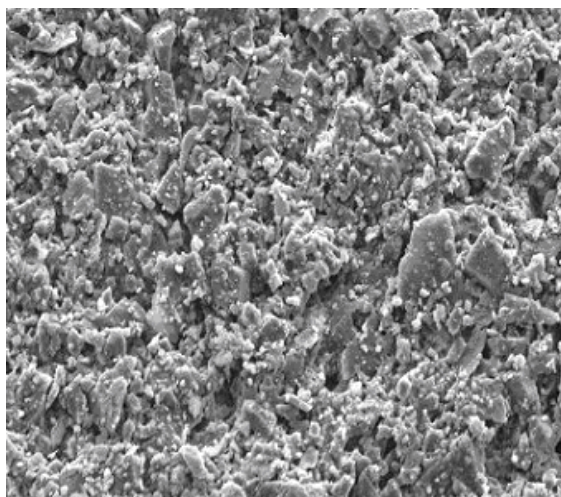


Active™ Clean Air & Antibacterial Ceramic felületkezelés

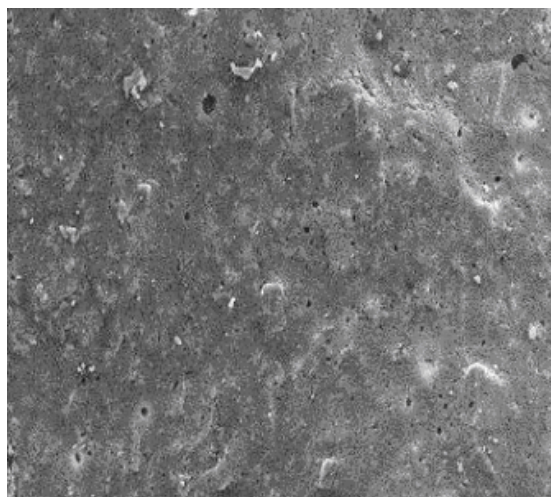
5.5 A fotokatalízis reakcióval öntisztuló vakolt falfelületek

Több éves kutatómunkával és nanotechnológia legújabb eredményeit is felhasználva, a Baunit kifejlesztette az öntisztuló **Baunit NanoporTop** vakolatot, mely egyesíti a szilikát vakolatok jó páraáteresztő képességét a fotokatalitikus öntisztulással.

Az UV sugárzás és az eső tisztító hatása mellett a NanoporTop vakolat sima felülete is nehezíti a szennyeződés megtapadását a felületen, ezért állandóan tiszta és szép a vakolt falfelület.



*Szilikon vakolat
makro strukturált felülete*



*NanoporTop vakolat
mikro strukturális felülete*

A NanoporTop nemes vékonyvakolat összetételét csak valószínűsíteni tudjuk, a szabadalmi oltalom miatt, de a habarcskeveréknek feltétlenül kell tartalmaznia fotokatalitikus tulajdonságú (TiO_2) titándioxidot, amit célszerűen a fehércement kötőanyaggal visznek a rendszerbe.

A habarcs összetételének további komponensei:

- káli vízüveg (káliumszilikát vizes oldata) kötőanyag
- mikroszilika, mint ásványi kitöltő anyag
- finom kvarchomok, mint ásványi adalékanyag
- szervesetlen színes- és fehér pigmentek, mint színező anyagok
- mikró és makró szálak, mint a vakolati réteg szerkezetereősítők
- kötőszabályozók, mint vegyi adalékszerek



NanoporTop vakolattal készült épülethomlokzatok

5.6 A fotokatalízis reakcióval öntisztuló festékfelületek

Építőiparban fotokatalitikus falfestékeket az öntisztuló- és baktériumölő hatásuk miatt alkalmaznak. Öntisztuló homlokzatfesték bevonat a szilikongyanta alapú **Caparol Amphi Silan**, melynek know-how megoldása szerint egy rendszeren belül érvényesül a titándioxid (TiO_2) tartalmú pigmentek fotokatalitikus hatása, valamint a festékbevonat nano részecskéiből képzett fraktált felületet hidrofób tulajdonsága.

A festékbevonat nanoméretű részecskéinek fraktált felülete



A festékbevonat minimális a vízfelvételét nem egy tömör és vízhatlan felületi réteg adja, hanem a festék pórusszerkezete és megfelelően tagolt felszínének hidrofób tulajdonsága, ezért a homlokzatfesték a szilikát ásványi anyagokhoz hasonló páraáteresztő képességgel rendelkezik. A festékréteg fotokatalitikus hatású pigmentjei biztosítják a szerves szennyeződések lebontását, a hidrofób tulajdonságú pórusszerkezete pedig a felületről való eltávolítását. Az öntisztuló falfesték felülete könnyen tisztítható, az ezüsttartalmú biocid hatóanyagoknak köszönhetően pedig baktériumölő hatással is rendelkezik.



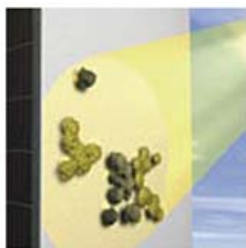
Caparol Amphi Silan baktériumölő falfesték alkalmazására

Caparol CapaSan fotokatalitikus hatású beltéri falfesték a belső higiénia javítására. A festék fotokatalitikus hatása a szerves vegyületeket lebontja és csökkenti a baktériumok és mikroorganizmusok számát a levegőben és a falakon.



Caparol CapaSan beltéri falfesték alkalmazása

StoPhotosan Color fotokatalitikus homlokzatfesték.



a.

b.

c.

d.

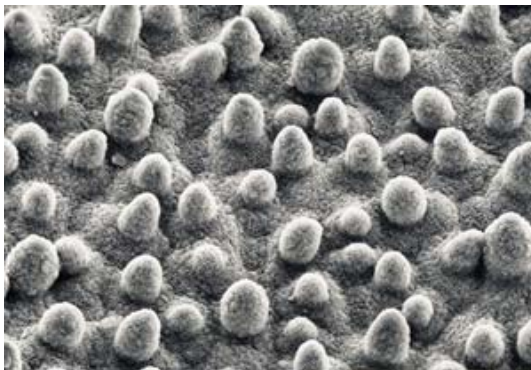
- a. - szervesanyag szennyeződés a homlokzati felületén
- b. - a fény aktiválja a festék TiO_2 fotokatalizátorát
- c. - a katalizátor a felületen közömbösíti a szennyeződést
- d. - a közömbösített koszolódás az esővel együtt távozik a felületről



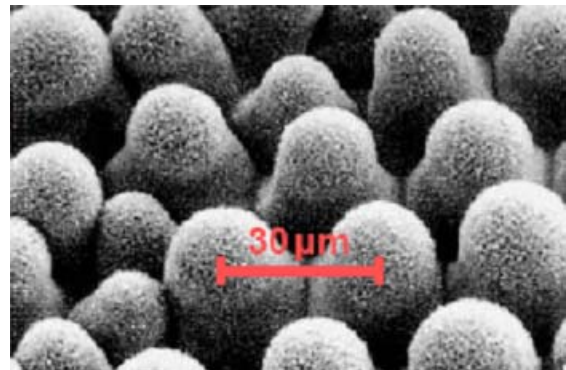
StoPhotosan Color fotokatalitikus homlokzatfesték alkalmazása

5.7 Lótusz- effektus elvén működő öntisztuló homlokzatvédelem

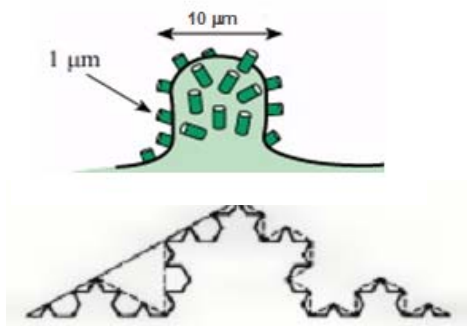
A lótuszvirág levelén megfigyelhető „lótusz-effektus” a mikro-strukturált, hidrofób (víztaszító) fraktált felületek „öntisztuló” képessége alapján működik. A levélfelületet mikroszkopikus cella kiemelkedések alkotják, amelyeken kisebb hegyes képződmények is elhelyezkednek szabályos elrendezésben. A kiemelkedések olyan távolságra vannak egymástól, hogy a por- és pizsokszemcsék megakadnak rajtuk, de nem érnek a levél felületéhez.



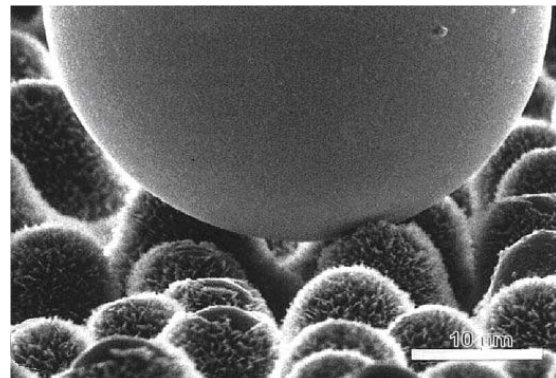
A lótuszlevél felületi struktúrája



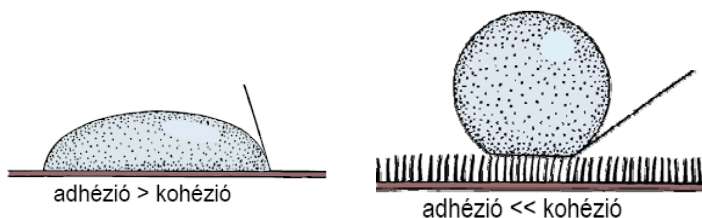
Mikroszkopikus cellakiemelkedések



Fraktált felület

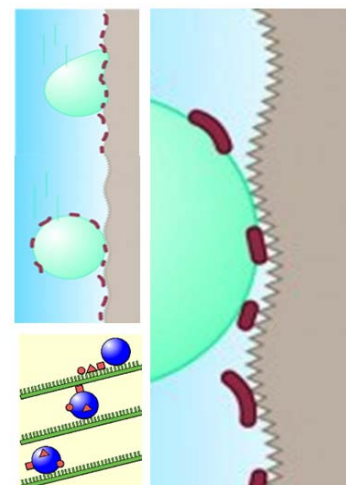


Vízcsepp a cellakiemelkedéseken



Vízcsepp a hidofil és hidrofób felületen

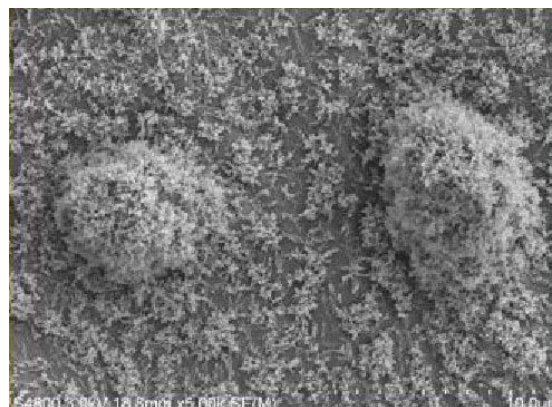
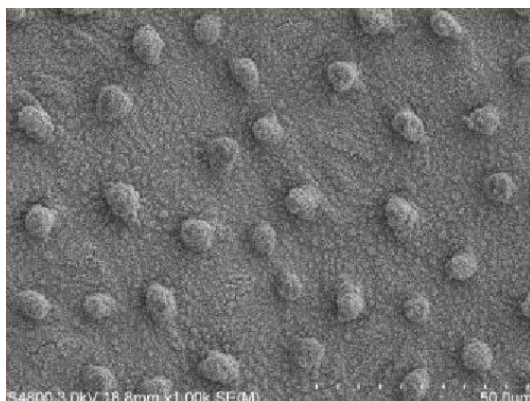
Szennyeződés eltávolítása a felületről:
Amikor eső éri a levelet, a víz felületi feszültsége révén cseppeket alkot, és könnyen lepereg, miközben magával ragadja a por- és pizsokszemcséket.



A „lótusz-effektus” elvén működő öntisztuló festékbevonatok, több rétegből épülnek fel, a felszínen az egymásra rendeződő nano részecskékből létrejövő fraktált felülettel, így alkotva egy egységes öntisztuló védőréteget.

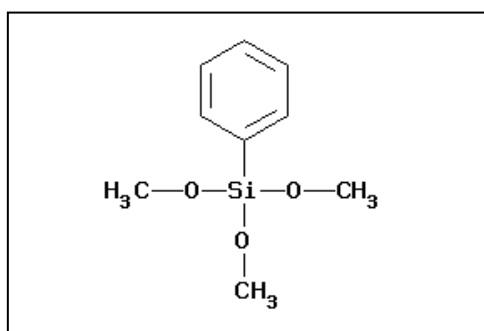
A felületre való felhordáskor a festékréteg alkotói egymásra rendeződnek:

1. A tapadást biztosító részecskék a felülettel szoros kötődést hoznak létre. Ezek a kapcsolódó komponensek képezik a tapadó hidat a bevonandó felülettel.
2. Erre épül egy ultravékony ($40\div130$ nm) TiO_2 -ot tartalmazó, üvegkeménységű védőréteg. Ennek köszönhető a bevonati réteg UV állósága és stabilitása, fagy- és hőállósága, valamint a mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállósága.
3. A felszíni réteggént, a fraktált-felületű nano- részecskék biztosítják a tapadásgátló tulajdonságot és a szuper hidrofób vízlepergető hatást.

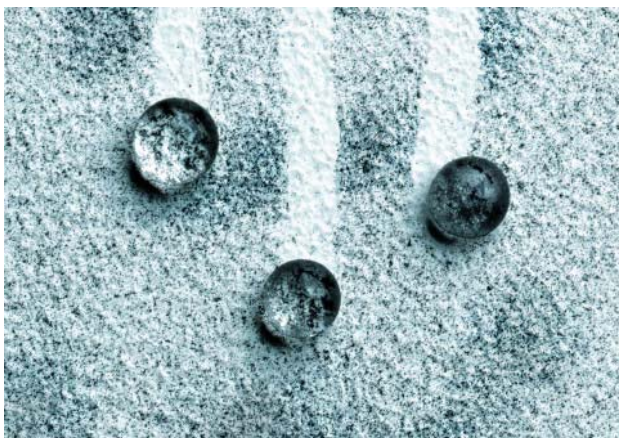


A St. Lotusan festékréteg felületének fraktált struktúrája

A fraktált-felületű bevonati réteget vegyi úton állítják elő, ehhez kb. 100 nm átmérőjű gyöngyöket gyártanak szilikátokból, majd a gyöngyök felületére trimetoxi-fenil-szilán folyadékot hordanak fel, mely réteg megszilárdulva fraktált felületet ad.



A hidrofób tulajdonságot biztosító trimetoxi-fenil-szilán



Öntisztulás, vízlepergető hatással

A **Sto Lotusan** és a **Caparol CarboSol** öntisztuló homlokzatfestékek esetén igen jelentős a festékbevonat szilárdsága és karcmentessége, nagyon erős a környezeti hatásokkal szembeni ellenállása. A megfelelő páraáteresztő képességgel rendelkező festékréteg felülete kefével, de akár magas nyomású folyadékkal is tisztítható. Alkalmazási területek az épülethomlokzatok, valamint az üveg- és textílfelületek képzése.



Épülethomlokzat StoLotusan öntisztuló festékbevonattal



Épülethomlokzat Caparol CarboSol öntisztuló festékbevonattal

5.8 Nanotechnológiás felületkezelések és bevonatok

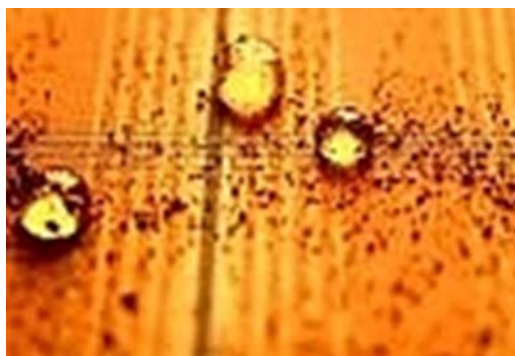
Az anyagok tulajdonságai széles körben módosíthatók nano anyagú impregnálásokkal és bevonatokkal, mely után fokozottabb ellenálló képességgel, UV állósággal és öntisztuló képességgel rendelkeznek. A leggyakrabban használt bevonati anyagok, a nano-TiO₂ és a nagy fajlagos felületű nano-SiO₂.

A Bramac **Római Protector Plus** betoncserepeket a gyártásuk utolsó fázisában, folyadékimpregnálással egy nanoméretű bevonati réteggel látják el. A szárítás után a cserepek felületére felhordott réteg véd a savas és lúgos kémhatás ellen, hidrofobizálva vízlepergető, és színtartást ad a betoncserép felületének.



Felületkezelt Bramac Római Protector Plus tetőcserepek

A fotokatalitikus anyaggal kezelt **Rollstar napárnyékoló ponyvák** jól tűrik a napot és az esőt, mivel a speciális anyagszerkezetű textílián, ha meg is tapad a szennyeződés, az nem képes behatolni a szövet elemi szálai közé, és az eső egyszerűen lemossa azt a felületről. A poliészter alapanyagú öntisztuló vászon felületén lévő fotokatalitikus nanomolekulák megakadályozzák a ponyva elszennyeződését, a napsugarak fakító erejétől sem károsodik.



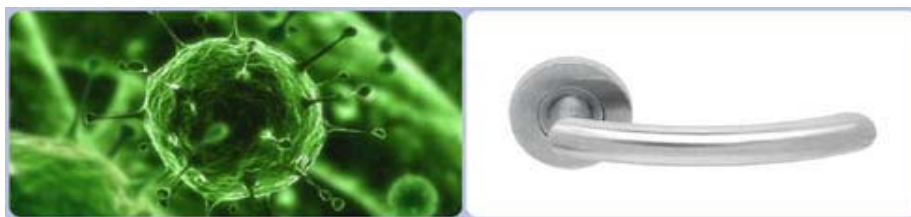
Fotokatalitikus anyaggal kezelt napárnyékoló ponyva

A porózus burkolóanyagok **Höpner homlokzati impregnáló** anyaggal kezelve, úgy válnak víztaszítóvá, hogy a falszerkezet megtartja páraáteresztő képességét. Az impregnáló anyag, nanoméretű szilícium alapú vegyület.



Impregnálással víztaszítóvá tett kerámiaburkolat

Az egészségügyi intézetekben a kilincsekre **antibakteriális bevonatként**, egy HC3 nevű titándioxidot tartalmazó nano bevonatot visznek fel. A titándioxid fotokatalizátor sterilizáló anyagként működve, el tudja pusztítani majdnem valamennyi baktériumfajtát. UV fény által történő besugárzás esetén a TiO_2 erős oxidációs közege reakcióba lép a baktériumok sejtalkotóival. Korábban erre a célra ezüstion bázist, vagy biocidokat alkalmaztak.



Antibakteriális kilincs

A Graboplast "**baktérium-ölő**" padlójában alkalmazott Grabo Silver Knight nevű speciális padlófertőtlenítő hatását a nano- ezüst és nano- titándioxid részecskék alkotta kettős védelmi rendszer biztosítja. Az antibakteriális hatás érhető el, azáltal, hogy az ezüstionok blokkolják a sejtcella osztódását, és megszakítják az enzimek tápanyag-továbbítását. A titándioxid pedig felgyorsítja a káros baktériumok és a szerves szennyeződések gyors lebontását.

5.9 Nanotechnológiás antigraffiti bevonatok

Nem kis feladatot jelent az építőipar számára az építmények falfelületén kéretlenül megjelenő graffitik folyamatos eltávolítása, illetve e „művészi” alkotások létesítésének megakadályozása.



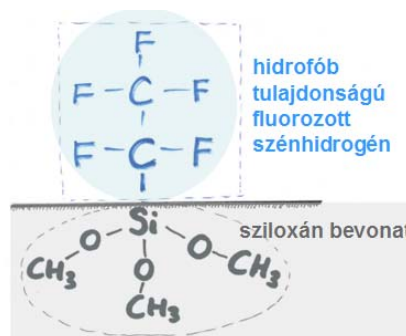
Graffiti „művészi” alkotás a falfelületen

Számos antigraffiti módszer létezik, melyeknek egy csoportja csak ideiglenes megoldást ad. Ezek az „áldozati” típusúak, például a paraffin bevonat, melyet a graffitival együtt eltávolítják, majd újra felhordják a védendő falfelületre. Az állandó és tartós antigraffiti bevonatok megakadályozzák a graffiti tapadását a falfelületre. Ezeket csak egyszer kell felhordani, és a festék a felületre nem kötődik, oldószerrel eltávolítható.

A **fluorozott szénhidrogén** antigraffiti nanobevonat működése azon alapszik, hogy a felületre felhordott fluor, mint elektronegatív elem, csökkenti a bevonat felületi energiáját és kapcsolatot a graffiti festékekkel. Taszítja a festéket, mint a teflonbevonat a vizet és az olajt.

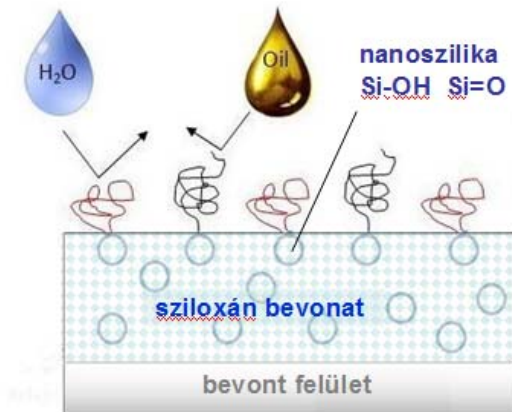


Graffiti alkotás a falfelületen



Fluorozott hidrofób felület

A **szilícium alapú sziloxán** antigraffiti nanobevonat működése azon alapszik, hogy a falfelületre sziloxán réteget visznek fel, melynek felszínén a kolloidális oldatban bevitt Si-OH és Si=O nanoméretű szilika részecskék hidrofóbbá (víztaszító) és oleofóbbá (olajtaszítóvá) teszik a bevonat felszínét. Sem a vizes-, sem az olajos alapú festékekkel nem festhető a sziloxán bevonati réteg.



Sziloxán antigraffiti bevonat

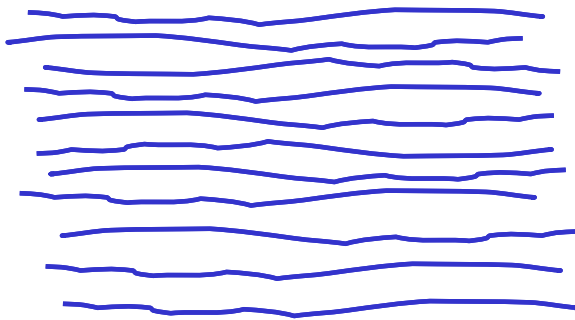
Graffiti alkotás eltávolítása



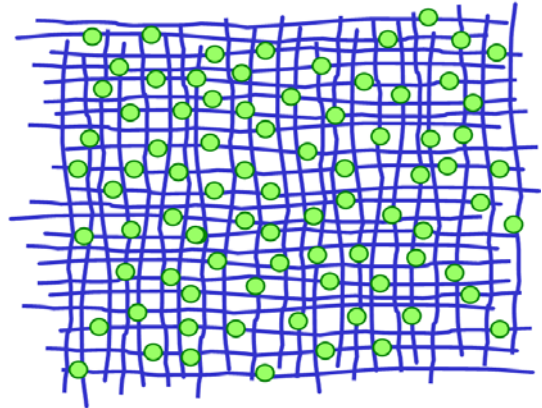
Graffiti eltávolítása vízsugárral

A **poliuretán antigraffiti védelem**, működésében egy oldószermentes, térhálósított poliuretán bevonati réteg, melynek térhálósodása nano - reagens anyagok adagolásával történik, létrehozva a víz- és olajtaszító falfelületet. A tömörfelületű polimer, nem fogadja be a festéket.

Az Emcephob NanoPerm bevonati réteg nem száradással keményedik, hanem kémiai úton térhálósodik, zárt sűrű térhálós szerkezetet hozva létre. A nano-reagens anyagok reagálnak térhálósodáskor a gyanta alkotóival a poliuretán bevonati rétegben, mely ez által víz- és szennyeződéstartóvá, valamint UV fény és időjárásállóvá válik.



Oldószermentes poliuretán gyanta



Nano-reagensekkel térhálósodott poliuretán bevonat



Graffiti alkotás a falfelületen



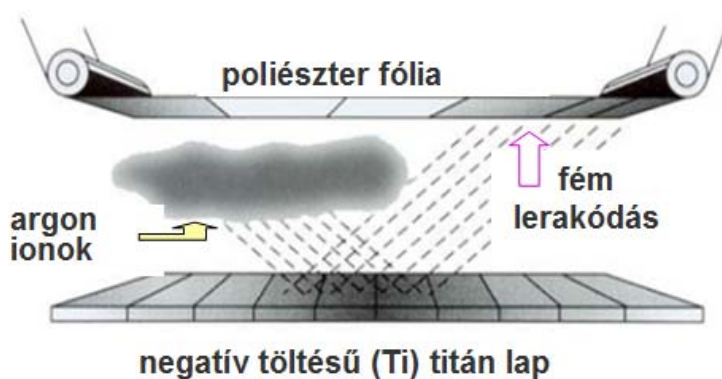
Graffiti eltávolítása a falfelületről

6. Nanotechnológiával kezelt üvegfelületek és bevonatok

6.1 UV sugárzás szűrése nano- bevonatos üvegfóliával

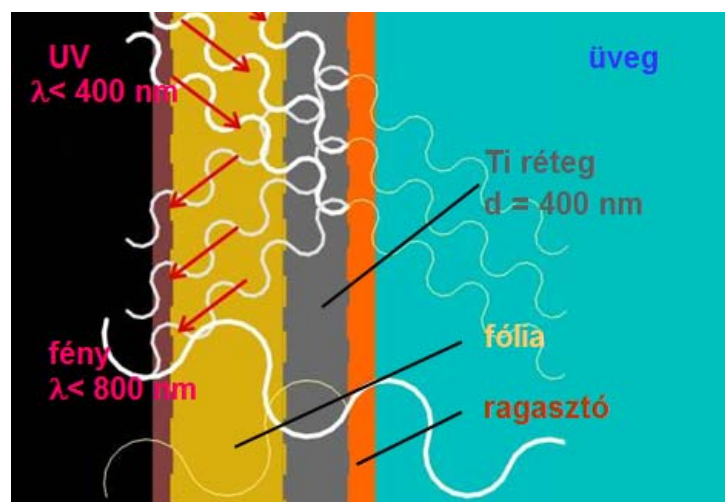
A napfény bőrünk barnításáért is felelős ultraibolya (UV) sugarai egyre agresszívebben károsítják a bőrszöveteinket. Az üvegfelületek mögötti anyagok kifakulnak, a berendezések pedig károsodnak a nagyenergiájú UV sugaraktól.

A **SolarGuard®** UV-védő fóliával bevont üveg, az ultraibolya sugárzás 99%-át kiszűri, így a lakásberendezések és kárpitok nem fakulnak ki. A fóliára egy speciális katódporlasztásos „Sputter Coating” eljárással néhány száz nanométer vastagságú, Ti és Cu atomokból álló fémréteget ágyaznak be, mely bevonattal szabályozható a fényáteresztés – anélkül, hogy a látható fényt kizárnák.



Molekuláris vastagságú fémréteg beágyazása a fóliába

A poliészter fóliára több rétegben felhordott (sputterezett) 200÷400 nm vastagságú (Ti) fémréteg bevonat, a látható fény akadálytalan átengedése mellett, hatásosan csillapítja a nagyfrekvenciás UV sugárzást. A védőfólia szűrőhatása a reflexió árnyékolási elvén alapszik.



Az UV sugárzás reflexiója a védőfólia titánfém rétegen

A nano vastagságú titánfém rétegben lejátszódó interferencia jelenségek, a fémtükrökre jellemző „csapdázódással”, csökkentik az UV sugárzás intenzitását. A védőfóliára felhordott fém nanoréteg paraméterei (pl. vastagsága ≈ 400 nm) az UV sugárzás $\lambda < 400$ nm hullámhosszára van hangolva (szelektív szűrés), de a szűrőrendszer más hullámhosszra is hangolható.



UV-védő fóliával bevont üvegfelületek

A sugárvédő fóliák további felhasználási területei:

A SolarGuard® sugárzásvédő üvegfóliák csökkentik az **elektromágneses sugárzás** hatását is, így megfelelő védelmet nyújtanak az elektromágneses lehallgatás, zavarás ellen és biztosítják a megfelelő adatvédelmet.

A SolarGuard® **Anti Graffiti** üvegfóliái védelmet nyújtanak az üveget ért festékes vagy savas támadások ellen. Az összefirkált vagy karcolt antigraffiti üvegfólia egyszerűen eltávolítható az üveglapról a felületek károsítása nélkül, és új antigraffiti üvegfólia szerelhető a helyére.

A **fényáteresztés** is szabályozható a TiO_2 nano réteggel bevont fóliával. Ugyanis, ha egy adott felületen néhány száz nanométeres titándioxid bevonatot képezünk, az UV sugárzást nem átengedő tulajdonságra tesz szert. Például a TiO_2 nano bevonatú fóliákkal védett kültéri reklámok, megőrzik élénk színüket, és öntisztuló tulajdonsággal is rendelkeznek.

6.2 Nano réteggel bevont üvegfelületek

A speciális réteggel bevont üvegfelületek alkalmazásával, olyan fény-árnyékhatások hozhatók létre, amelyeknek köszönhetően csökkenthető az épületek energiaköltsége. Az üvegfelületekre nano- rétegben felhordott fényvezető részecskékkel pedig a napfény azonnal villamos energiává alakítható.



Érdekes optikai hatást kínálnak azok az üvegek, amelyek vékony fémoxid rétegük segítségével vezetik az áramot. Ezek felületén apró világítódiodák helyezhetők el, amelyek a szemnek szinte láthatatlan módon, kisfeszültséggel üzemeltethetők, s akár számítógéppel vezérelhetők.



Esztétikus és díszítő üvegfelületek építészeti alkalmazása

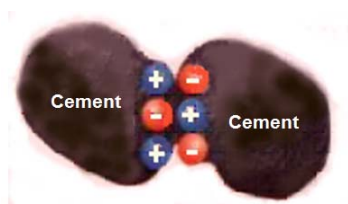
7. Nanotechnológia a betoniparban

7.1 Nanotechnológia a beton-adalékszerek alkalmazásában

A betonok cement kötőanyagának kolloid rendszerébe való vegyszeres beavatkozás az egyike, a tömegesen alkalmazott nanotechnológiáknak. Ugyanis a cementhidratáció során keletkező kolloidális cementgél képződmények, majd ezt követően a cementszemcsék felszínén kifejlődő ($C_3S_2H_3$) és (C_3AH_6) kristályszerkezetek nanoméretű rendszert alkotnak.

A betontechnológusok számára ismert jelenség, hogy a beton keverése közben a cementszemcsék, az elektrosztatikus feltöltöttségük miatt, hajlamosak az agglomerációra, mely előnytelenül befolyásolja a frissbeton keverhetőségét és bedolgozhatóságát, azaz a mobilitását.

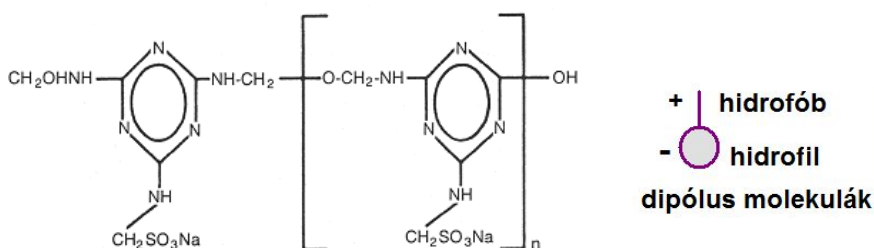
A cementszemcsék egymáshoz való vonzódását és tapadását, azaz az agglomerálódását, a szilikát anyagú szemcsék felületén, őrlés közben kialakuló egyenlőtlen eloszlású elektrosztatikus feltöltöttség okozza. Ennek a jelenségnek a megszüntetésére adagolnak a betonkeverékhez kiegyensúlyozatlan villamos töltéssel rendelkező képlékenyítő vegyi adalékszereket.



Képlékenyítő adalékszerek:

- modifikált ligninszulfonátok
- melamin-formaldehid szulfonátok
- naftalin-formaldehid szulfonátok

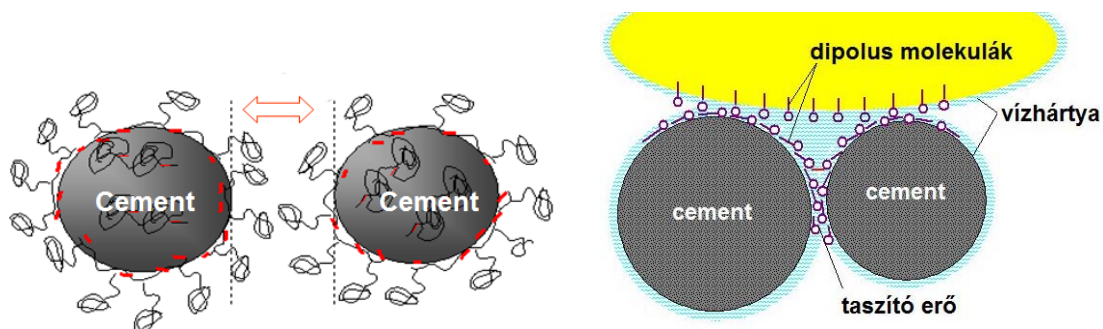
Cementszemcsék összetapadása



Szulfonált naftalin- formaldehid kondenzátum

A betonkeverékben ezek a dipólusos villamos töltésű részecskék a cementszemcséket körülvevő vízburok felületén helyezkednek el úgy, hogy negatív (hidrofil) végük a vízben van, (hidrofób) „farkuk” pedig a víztől elfordulva a cement felületére tapad, illetve légbuborékokat képez.

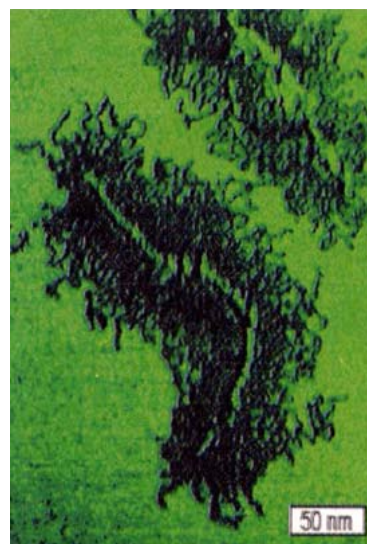
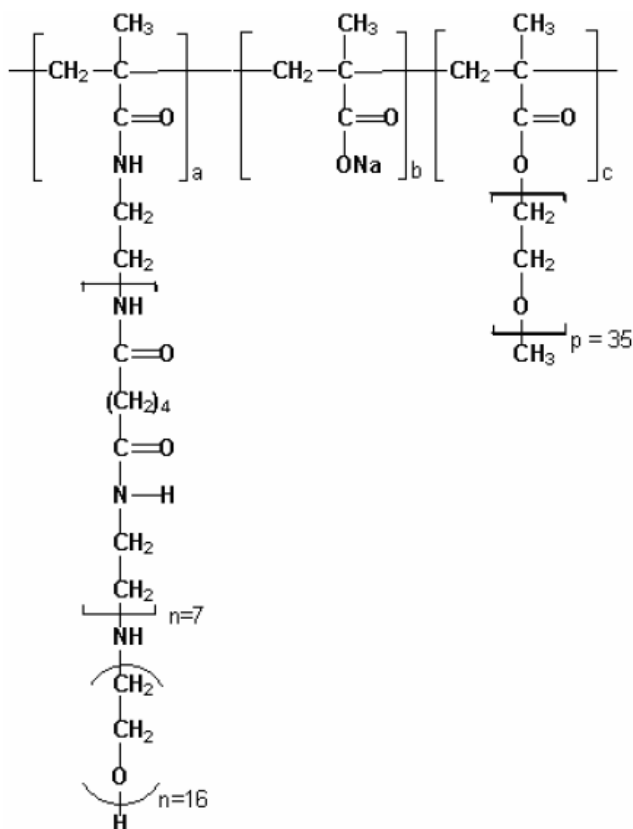
Az adalékszer, víz felszínén elhelyezkedő dipólusos molekulái csökkentik a víz felületi feszültségét, ezáltal vékonyabb lesz a cement- és adalékanyag szemcséket bevonó vízburok vastagsága. Csökkenthetővé válik a vízadagolás és a vízcement-tényező, illetve ugyan azon vízmennyiség esetén növekszik a frissbeton mobilitása.



Cementszemcsék egymástól való elválása és diszpergálódása

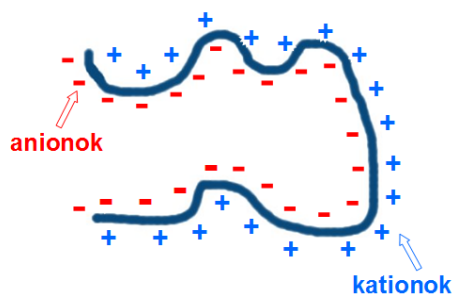
A dipólusos vegyi adalékszerek alkalmazásánál hatékonyan érvényesül a diszpergáló hatás is, az összetapadt cementszemcsék egymástól elválnak, és ennek következtében a cementszemcsék nem tudnak agglomerálódni. A diszpergált cementszemcsék javítják a frissbeton keverék mobilitását és ezen keresztül a beton bedolgozhatóságát.

Az új generációs polikarboxilat bázisú nanostrukturális adalékszerek, mint például a **Sika ViscoCrete**, folyósító hatásukat a szálak molekulák nanoméretű (50-100 nm hosszúságú) polimer oldalláncaik taszító hatású „térbeli gátlás” mechanizmusával fejtik ki.

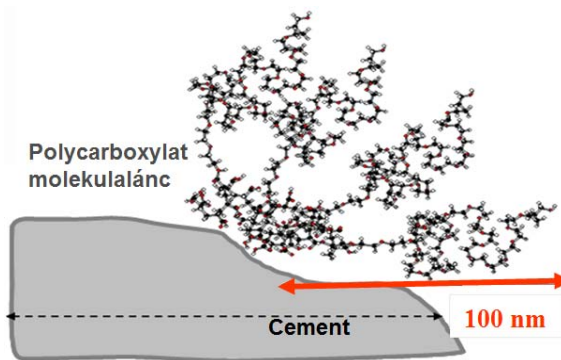


A polikarboxilat nanostrukturális molekulalánc mikroszkopikus képe

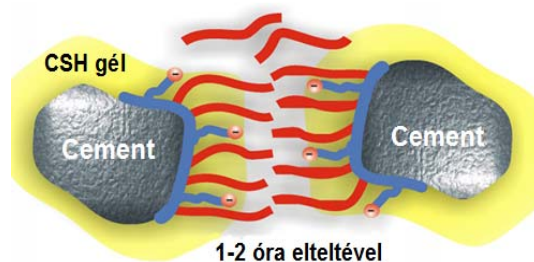
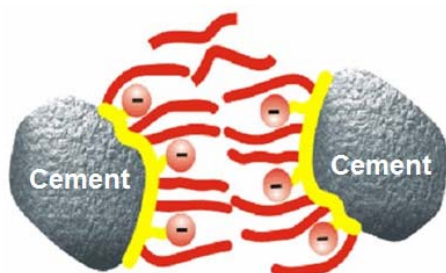
Polikarboxilat molekulalánc és oldalláncai



A molekulalánc töltöttsége



Molekulalánc a cement felszínén



A cementek felületén kialakuló szálak molekulák taszítóhatása

A nanostrukturális folyósítók a nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú és öntömörödő betonok adalékszeri. Vízcsökkentő hatásuk 20-35 %, így alkalmazásukkal a beton V/C tényezője 0,22 értéknél is kisebb lehet, ami megteremti az ultra nagy szilárdságú betonok készítésének lehetőségét.

A hagyományos folyósítók, de a modernebb hatású folyósítók is, negatív töltésű oldalláncokkal rendelkező polimerekből állnak, melyek már a hidratáció kezdeti stádiumában felpadnak a cementszemcsé felületére. A cementkötési folyamatok korai szakaszában keletkező ettringit kristályok azonban, ezeket az oldalláncokat benövik, ezáltal az adalékszer hatásossága lecsökken, a beton eltarthatósága és bedolgozhatósága lerövidül.

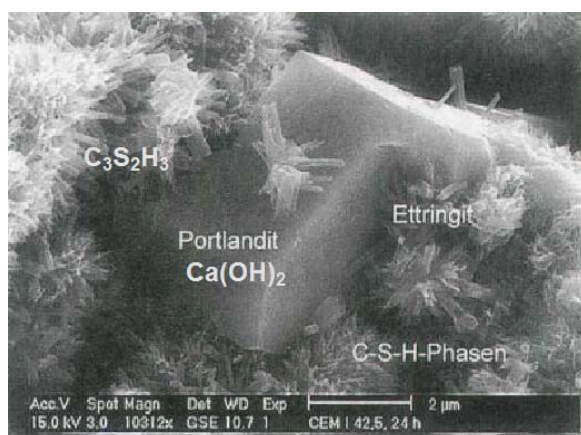
A nanostrukturális folyósítók (pl. Sika ViscoCrete), a polycarboxilat polimer hosszú oldalágainak köszönhetően, térben is akadályozzák a cementszemcsék összetapadását. Mellékhatásként egy darabig fékezik a cement hidratációját, meghosszabbítva ezzel a hígabb konzisztencia tartását, valamint a bedolgozhatóság időtartama is szabályozhatóvá válik.

Más elven működik a Mapei CHRONOS folyósító szer, melynek molekulalánc rendszerében, kezdetben nincsenek negatív töltésű-, csak viszonylag semleges oldalláncok, melyek töltése idővel negatívra változik, de ekkorra már az ettringit jelentős részben kialakul, így nem tudja benőni a polimert. Ennek köszönhetően a képlékenyítő szer képes a hatását igen hosszú időn át kifejteni, kötészéleltető alkalmazása nélkül is.

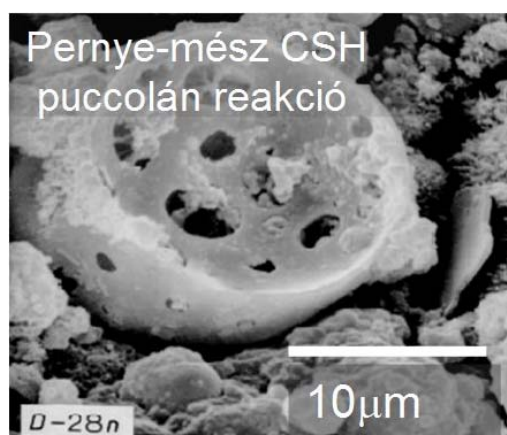
7.2 Betonok tömörségének fokozása nano- adalékanyagokkal

A betontechnológusok számára mindig kihívást jelent egy teljesen tömör (vízzáró és légzáró) beton készítése. A nem megfelelő betonösszetétel-, adalékanyag szemszerkezet-, vagy a nem megfelelő tömörítés alkalmazása, légpórusok kialakulását eredményezik a betonban, növelve annak vízáteresztő képességét. A nem megfelelő vízadagolás-, vagy az utókezelés hiánya pedig a cementkő kapillár- pórusainak mennyiségét növelik. Megfelelő adalékszerek és betontechnológiai eszközök alkalmazásával, viszonylag könnyen csökkenthető a beton lég- és kapilláris porozitása, elérve ezzel az elvárt tömörséget és vízzáróságot.

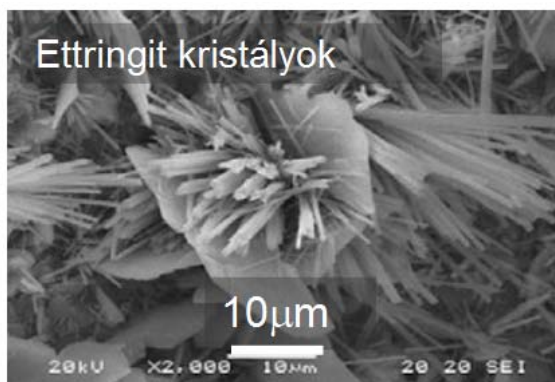
A nagy teljesítőképességű betonok (HPC) és a nagymértékben vízzáró (XV3) különleges betonok előállításához, igen nagy betontömörséget kell biztosítani, aminek eléréséhez már a beton gélpórusainak ($\varnothing \approx 1-100 \text{ nm}$) mennyiségét is csökkenteni szükséges. Ezt a hagyományos cement-kiegészítő anyagok, mint például a pernye és kőpor adagolásával, vagy a V/C csökkentésével már nem tudjuk biztosítani, ezért a gélpórusok mikro- és nanoméretű mérettartományával megegyező adalékanyagokat, mint például szilikaport, célszerű a betonhoz adagolni.



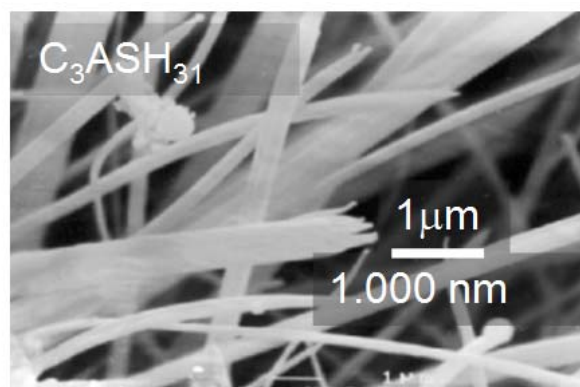
A hidratált cement reakciótermékei



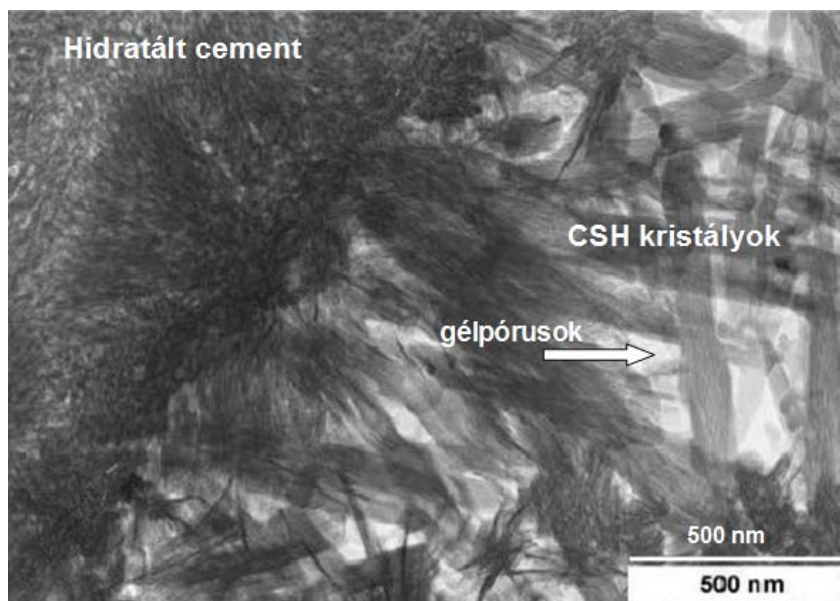
Kapillár- pórusok a cementkőben



Az ettringit kristályos szerkezete

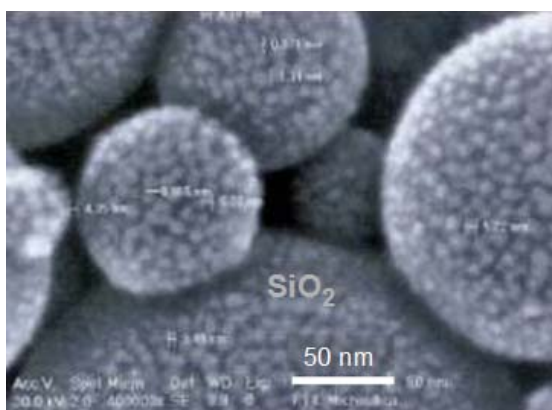


Gélpórusok a kristályos szerkezetben

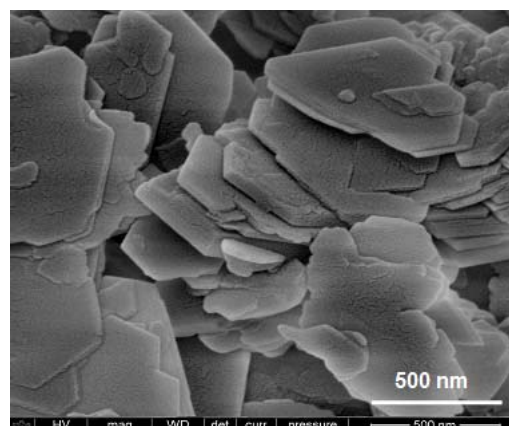


Nanométerű gélpórusok a cementkő kristályszerkezetében

A beton tömörsége növelhető szilikapor, vagy mikroszilika adagolásával. Ezek az amorf kvarc részecskék, a cementnél kb. tízszer kisebb méretűek ($\varnothing = 0,1 \div 0,3 \mu\text{m}$, fajlagos felületük $F = 20.000 \text{ m}^2/\text{kg}$) és elegendő hidraulikus aktivitással rendelkeznek ahhoz, hogy a cementszemcsék közötti teret kitöltve, a cementkő tömörségét nagymértékben növeljék.



A szilikapor amorf kvarc részecskéi

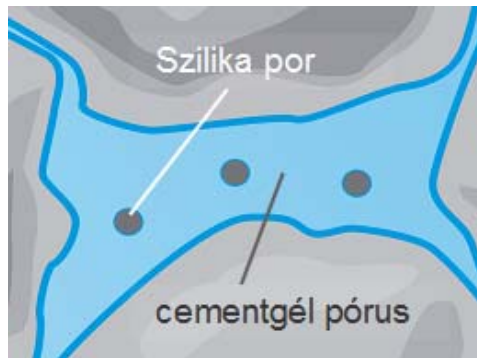


Az alumoszilikát réteges lemezei

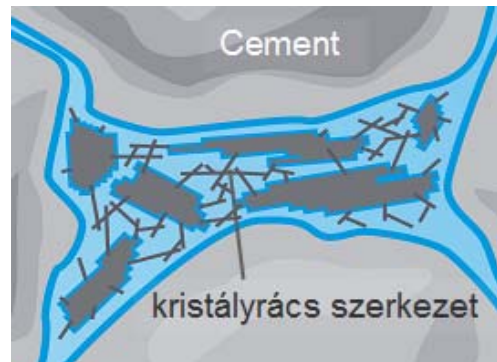
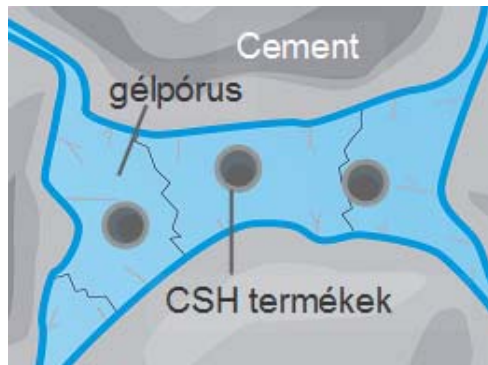
A beton tömörsége, és az ezzel együtt járó vízzárósága és korrózió állósága, igen nagymértékben fokozható nanoszilika és nano- méretű alumoszilikátok adagolásával.

Nanoszilika, a szilíciumdioxid (SiO₂) vizes kolloid oldata. Nanométerű részecskéinek átmérője $\varnothing = 15 \div 50 \text{ nm}$, fajlagos felülete $F \approx 200.000 \text{ m}^2/\text{kg}$, ami lényegesen nagyobb a szilikaporénál. Hidraulikus aktivitással rendelkező nano- anyagként, alkalmas a cementkő gélpórus rendszerének csökkentésére. Ezért adagolják az agresszív vizeknek ellenálló nagyszilárdságú vízzáró betonokhoz.

A betonok tömörségének, vízzáróságának és korrózióállóságának igen nagyfokú növelésére alkalmas a **Centrilic NC** dinamikus kristályosodó alumoszilikát. Ezt a nanoméretű adalékanyagot rétegszilikátokból hőkezeléssel állítják elő. Igen jelentős puccolán aktivitással rendelkeznek, így a cementkő gélpórusaiban kristályosodva, nagymértékben növeli a beton tömörségét. Az alumoszilikát adalékanyag különösen alkalmas az agresszív vizeknek ellenálló nagyszilárdságú és vízzáró betonok megfelelő tömörségének biztosítására.



Szilikapor és alumoszilikát adalékanyagok a cementkő pórusvizében



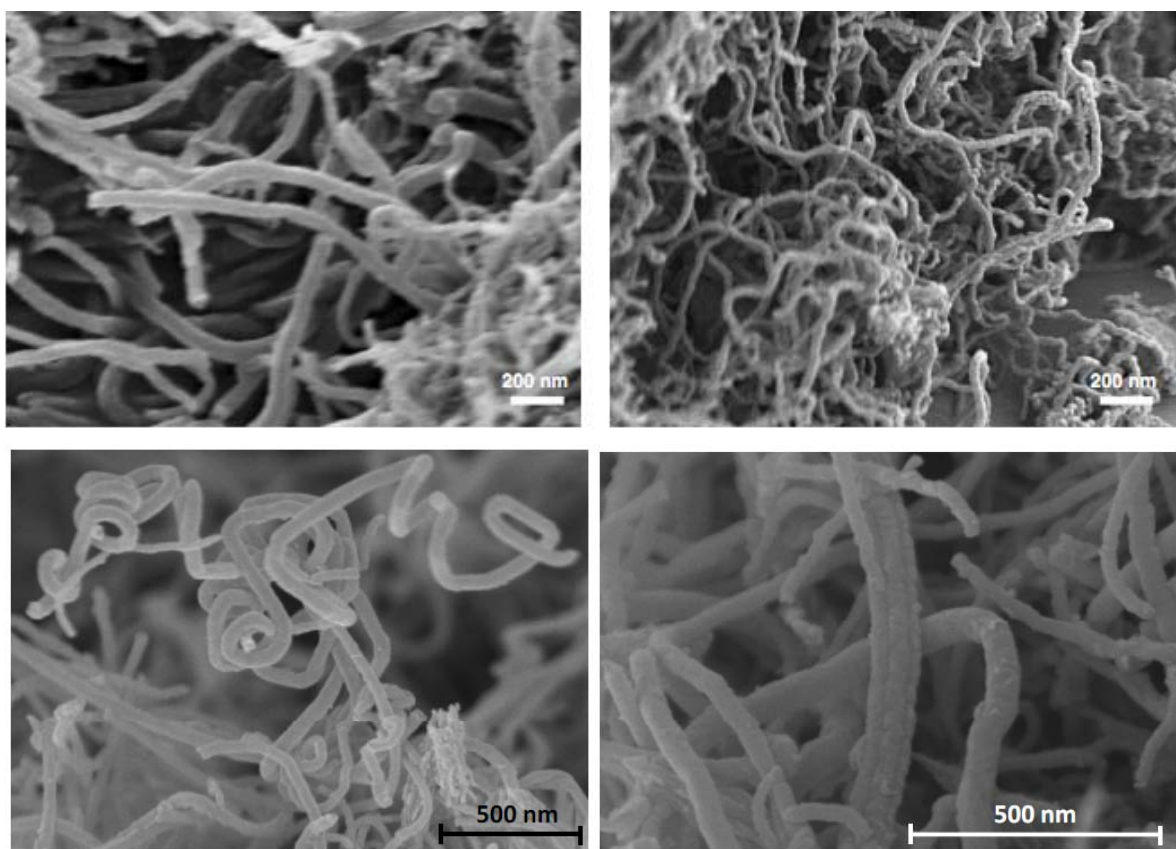
CSH termékek és nanokristályok a cement gélpórusában



Centrilic NC alumoszilikát alkalmazásával készült betonépítmény és termék

7.3 Betonok szilárdságának és repedésállóságának növelése nanocsövekkel

A dolgozat bevezető részében már ismertetésre került a szén- és titán nanocsövek szerkezete és előállítási módja, valamint az építő-anyagipar számára előnyös szilárdságnövelő tulajdonságuk. A világ számos intézetében folynak kutatások, és vizsgálják a nanocsövek betonszerkezetekben való felhasználási lehetőségeit. A szén nanocsöveket ma már eredményesen alkalmazzák a különlegesen nagy teljesítőképességű betonokhoz, elsősorban a cementkő szilárdságának és repedésállóságának növelésére. A nanocsövek alkalmazásával elérhető igen kedvező betontulajdonságok kihívást jelentenek a kutatók számára, alkalmazásuknak azonban nagymértékben korlátot szab a viszonylag drága eljárással történő nagyüzemi előállításuk.

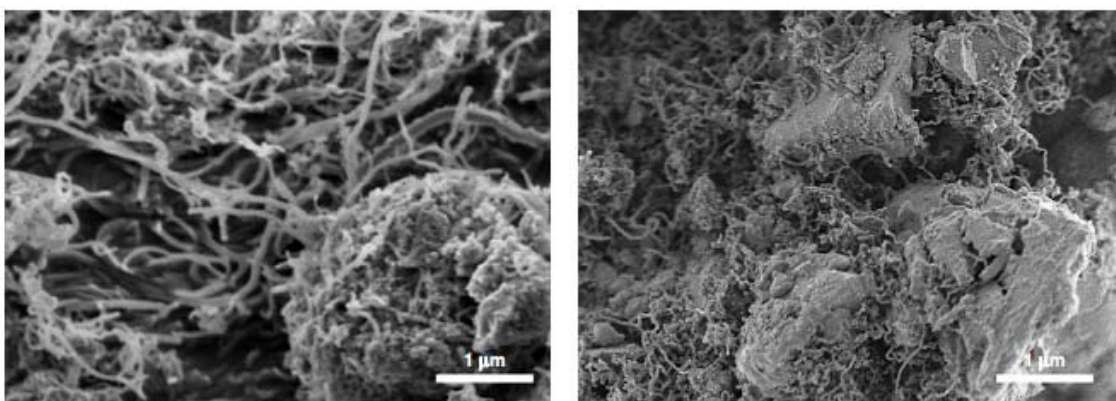


Betonokban és habarcsokban alkalmazott szén nanocsövek

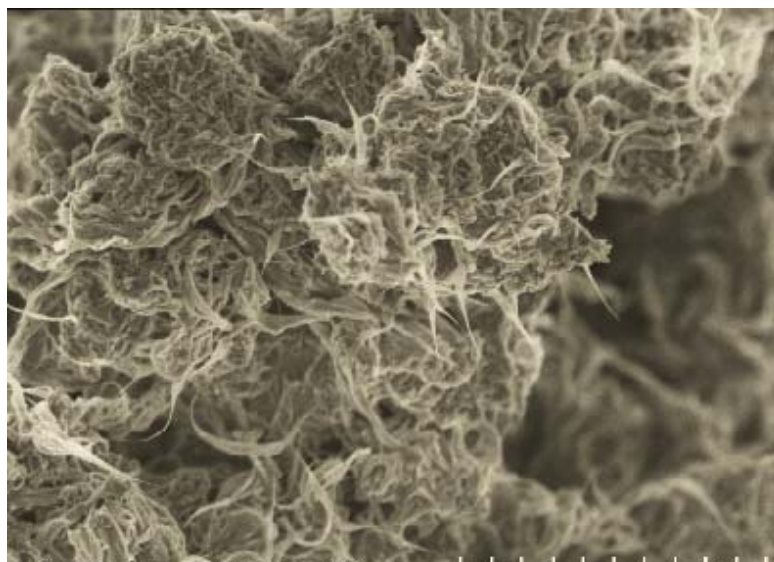
A betontechnológusok számára nem kis feladatot jelent ezeknek a parányi méretű nanocső anyagoknak a kezelése, mérlegelése, adagolása és a betonban való homogén elkeverése. Az 1 m³ betonhoz adagolandó mennyiség igen változó, a cement tömegére vetítve 0,001 - 0,08%, ami kb. 0,3 – 20 dkg nanocső adagolást jelent. Ezt a kis mennyiséget, diszpergálást fokozó és plasztifikáló adalékszerek hozzáadása után, változó mágneses térben és ultrahangos keveréssel szuszpenzióvá alakítják, mely a cementpépben már homogénen elkeverhető.

A szén nanocsöveknek betonban (cementkőben) való alkalmazásáról, számos közleményt találhatunk, elsősorban az Interneten, mivel a hazai kutatás helyzetéről gyakorlatilag nincs információ (legalább is jól titkolják) a szaksajtóban.

A nemzetközi szakirodalomban a nanocsövek építőanyagipari alkalmazásáról, igen széles spektrumban találhatunk közleményeket, melyekben a különböző kutatóintézetek számolnak be e területen elért eredményeikről. Ebből a széles skálából 3 intézmény (Institute for Research in Construction, National Research Council Canada; Politecnico di Torino, Department of Structural Engineering and Geotechnics, Italy; Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia) közleményeit felhasználva ismertetjük az eredményeket.

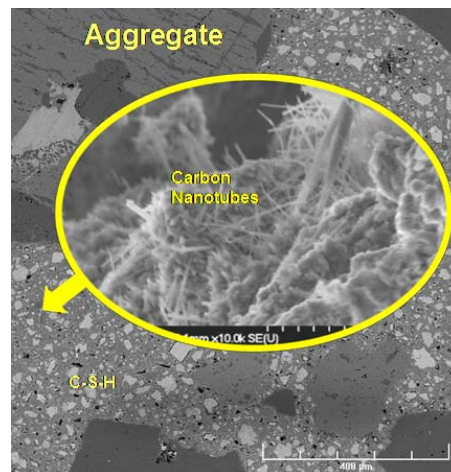
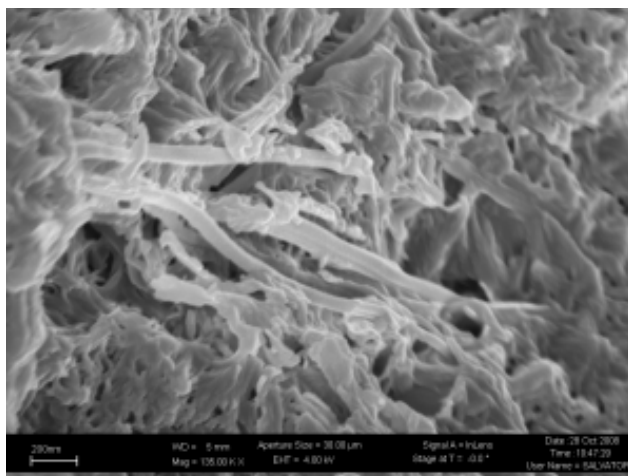


A szén nanocsövek elhelyezkedése a cement-hidratációs termékek között

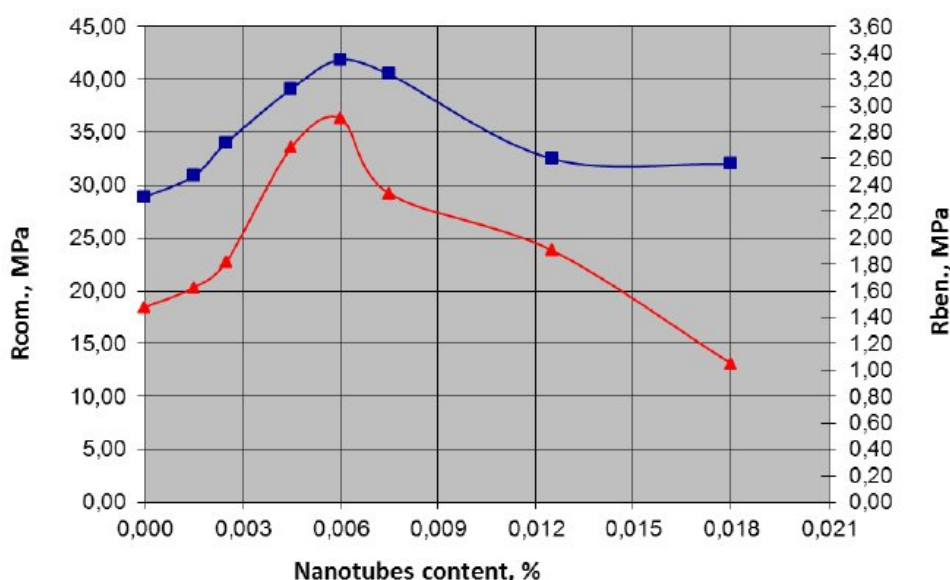


Szén nanocsövek a megszilárdult beton cementkővében

A kutatási beszámolók eredményei alapján megállapítható, hogy a szén nanocsövekkel modifikált nagy teljesítőképességű betonok nyomószilárdsága 50 % mértékben, míg a hajlító-húzószilárdsága közel kétszeresére növekszik, az etalon betonok szilárdságához képest. Az adagolandó szén nanocső mennyiségét optimalizálással határozzák meg.



Szén nanocsövekkel erősített beton cementkő szerkezete

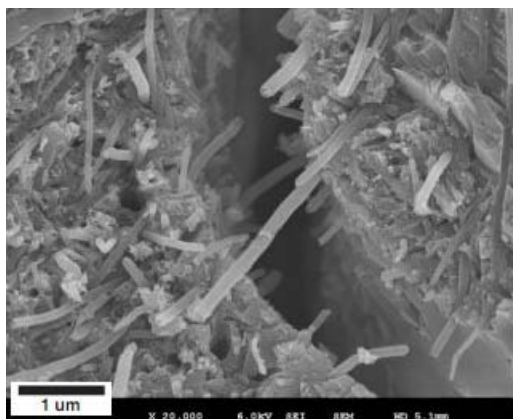


A nanocső adagolás optimalizálása a nyomó- és hajlító-húzószilárdság növekedésének függvényében

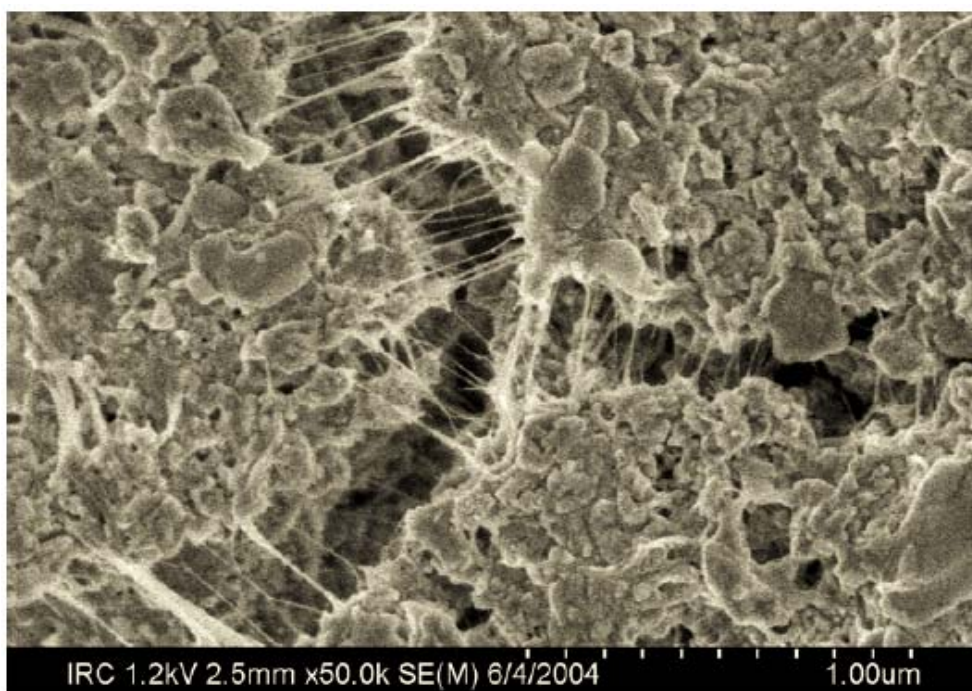
A nanocsövekkel erősített cementkő tulajdonságai:

- szén nanocső mennyisége: 0,06 % (cement tömeg)
- nyomószilárdság növekedés: 45 %
- hajlító- húzószilárdság növekedés: 96 %

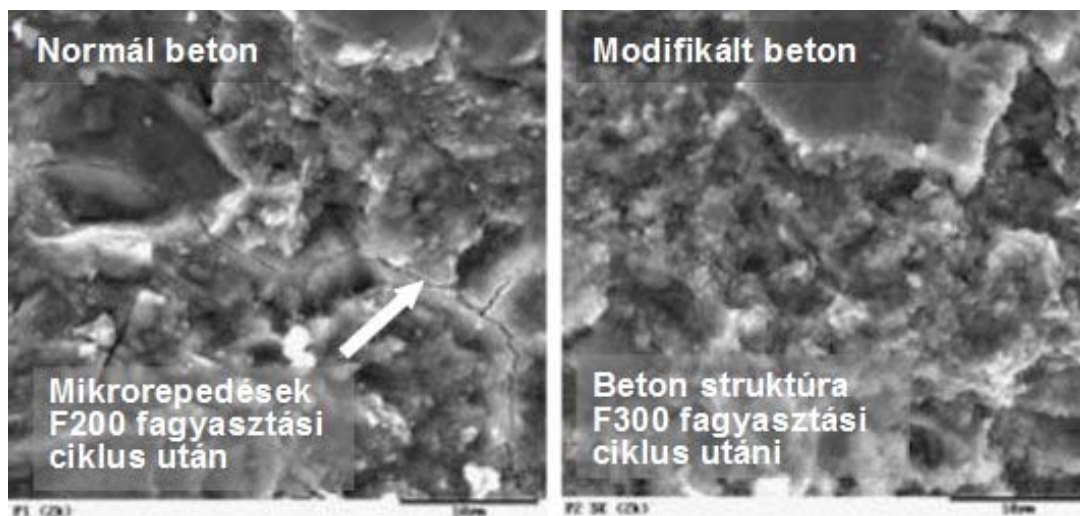
A szén nanocsövek alkalmazásával igen nagymértékben növelhető a betonok repedésállósága, különösen a betonok dilatációs hőmozgásából és a fagyás közben keletkező mikrorepedések tartományában. A szálerősített betonokhoz hasonlóan a nanocsövek, mint nano armatúrák működnek a cementkőben, növelve ezzel a beton, repedéssel szembeni ellenállását, húzószilárdságát és fagyállóságát.



Szén nanocsövek a beton repedéseiben



Szén nanocsövekkel szálerősített beton



Beton fagyállóságának növelése, szén nanocsövekkel

A cement kötőanyagú **hőszigetelő habbetonok** gyártása során, nem kis feladatot jelent a szilárdság és a hőszigetelő képesség összehangolása. Ugyanis az alkalmazott gyártástechnológiának egyrészt biztosítani kell a beton megfelelő szilárdságát (pl. lépésállóság), másrészt az elvárt hőszigetelő-képességet ($\lambda < 0,06 \text{ W/mK}$). Ezeket a követelményeket, csak egyenletes póruseloszlással és alacsony testsűrűséggel ($\rho_t < 300 \text{ kg/m}^3$) lehet biztosítani. A betonhoz adagolt nanocsövek, szálerősítésként működnek a levegőpórusokat elválasztó igen vékony cementhártyában, biztosítva ezzel a friss habbeton nagyfokú stabilitását, később pedig a sejtszerkezet szilárdságát.



A normál hőmérsékleten szilárduló habbeton pórusszerkezet

A Vilniusi Gediminas Műszaki Egyetemen kidolgozott technológia szerint, szén nanocsövekkel modifikált habbetont állítottak elő, mely 0,005 % nanocső adagolás mellett, az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik:

- kis átmérőjű, homogén és egyenletes póruseloszlás
- testsűrűség: $\rho_t < 300 \text{ kg/m}^3$
- hővezetési tényező: $\lambda < 0,05 \text{ W/mK}$
- nyomószilárdság: $f_{cm} > 0,3 \text{ MPa}$
- repedésérzékenység csökkenése, a nanocsövek adagolása miatt



Nanocsövekkel modifikált habbeton

A Vilniusi Műszaki Egyetemen **modifikált gipsz sejtbetont** állítottak elő, melyhez nanoméretű szénlemezeket adagoltak 0.001-0,005 % mennyiségben. A nanoméretű modifikátor adalékanyagok a gipsz kötőanyagban kristályosodási centrumként viselkedve stimulálták szilárdulási folyamatokat, és alacsony testsűrűség mellett is 19 % szilárdság növekedést eredményeztek.

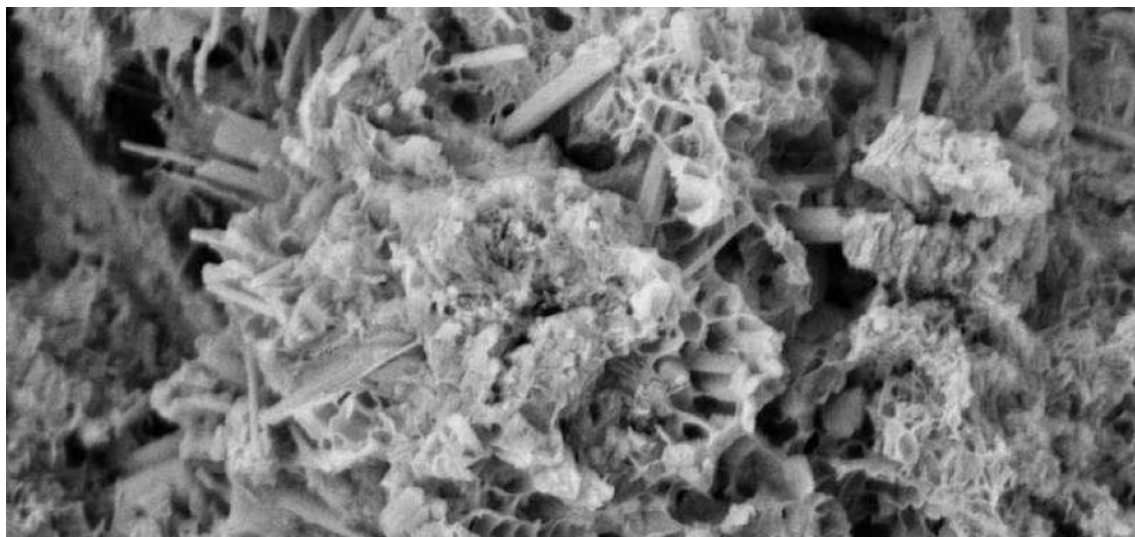
7.4 Habarcsok tulajdonságainak javítása nanotechnológiával

Építőiparban, a betonjavító és a csemperagasztó habarcsok tulajdonságainak javítására igen széles körben alkalmaznak nano adalékokat és szálerősítést. Ezeknél az anyagoknál igen lényeges az erős tapadószilárdság és mechanikai igénybevétellel szembeni ellenállás, amit a nanotechnológiával és szálerősítéssel lehet csak hatékonyan biztosítani.

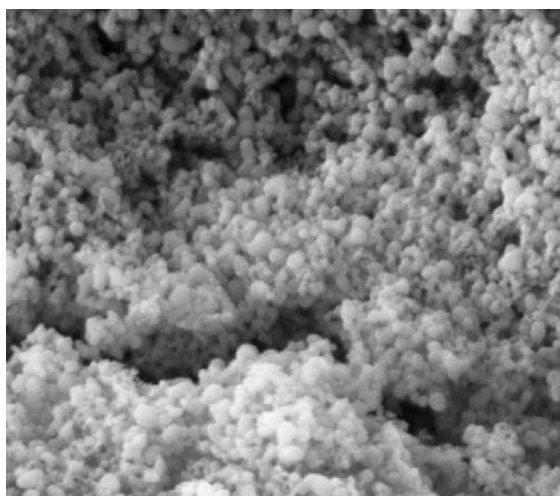
A BASF **Emaco NanoCrete** egy nanomodifikált, szálerősítéses, zsugorodás kompenzált, betonjavító habarcs, vasbetonszerkezetek javítására. Különösen alkalmas agresszív és magas szulfáttartalmú ipari környezetben, csővezetékek, hűtőtornyok és kémények, szennyvízkezelő létesítmények javítására.

A nanotechnológia alkalmazásával biztosított tulajdonságok:

- megnövelt és rendkívüli tapadószilárdság
- redukált zsugorodás
- megnövelt húzószilárdság és csökkentett repedésképződés

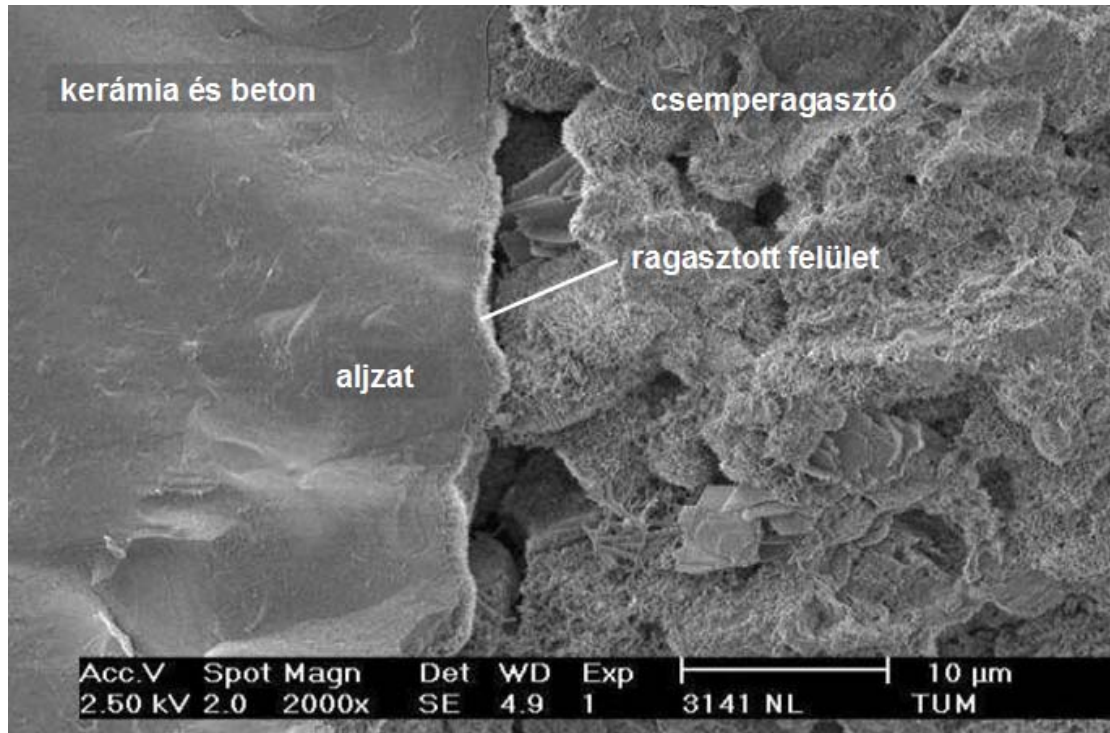


NanoCrete nanomodifikált betonjavító könnyített habarcs makrostruktúrája

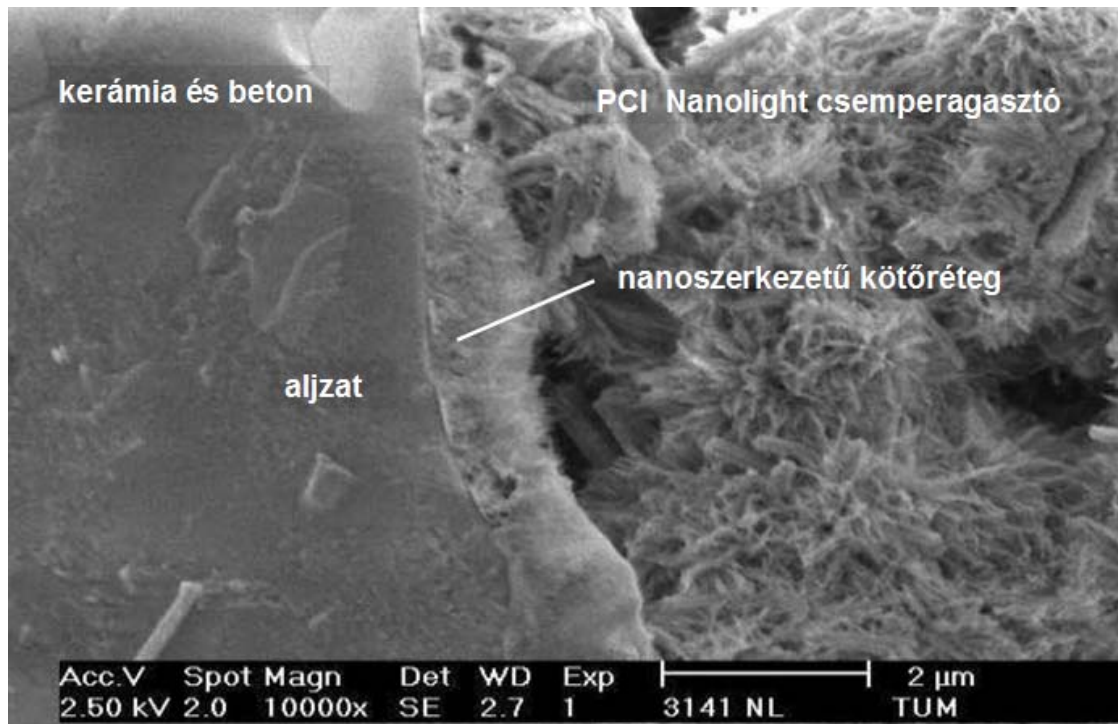


NanoCrete betonjavító habarcs és alkalmazása szerkezet megerősítésre

A BASF **PCI Nanolight** univerzális csemperagasztó, nanotechnológiás kialakítása révén egyedülálló tapadási tulajdonságokkal rendelkezik, és ez által különleges biztonságu és hosszú élettartamú kötést hoz létre az aljzat és a burkolat között. Az erős tapadást biztosító nanoszerkezetű kötőrétege, speciális töltő- és kötőanyagot tartalmaz.

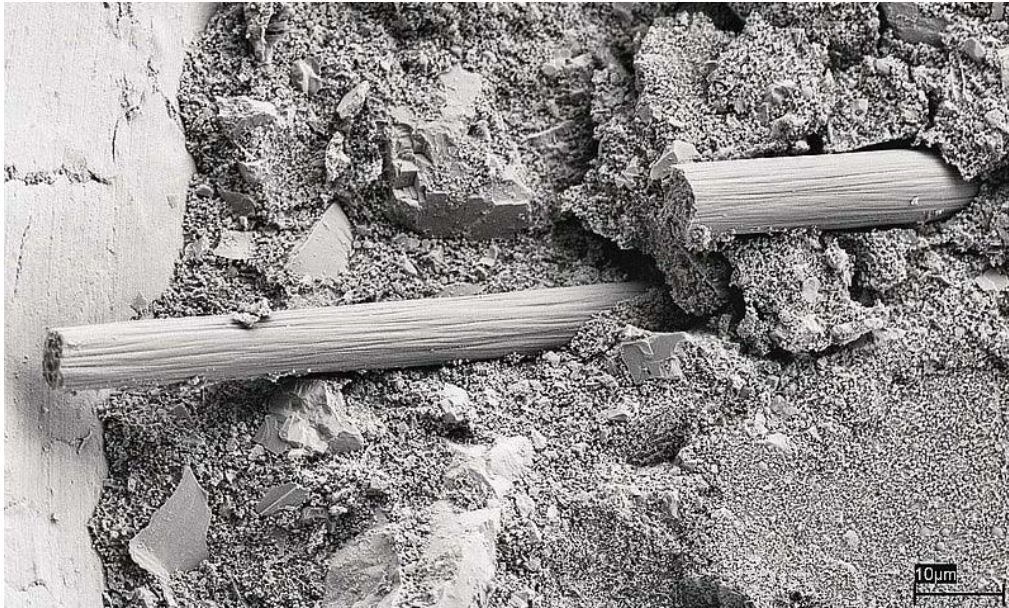


Csemperagasztó tapadása az aljzathoz

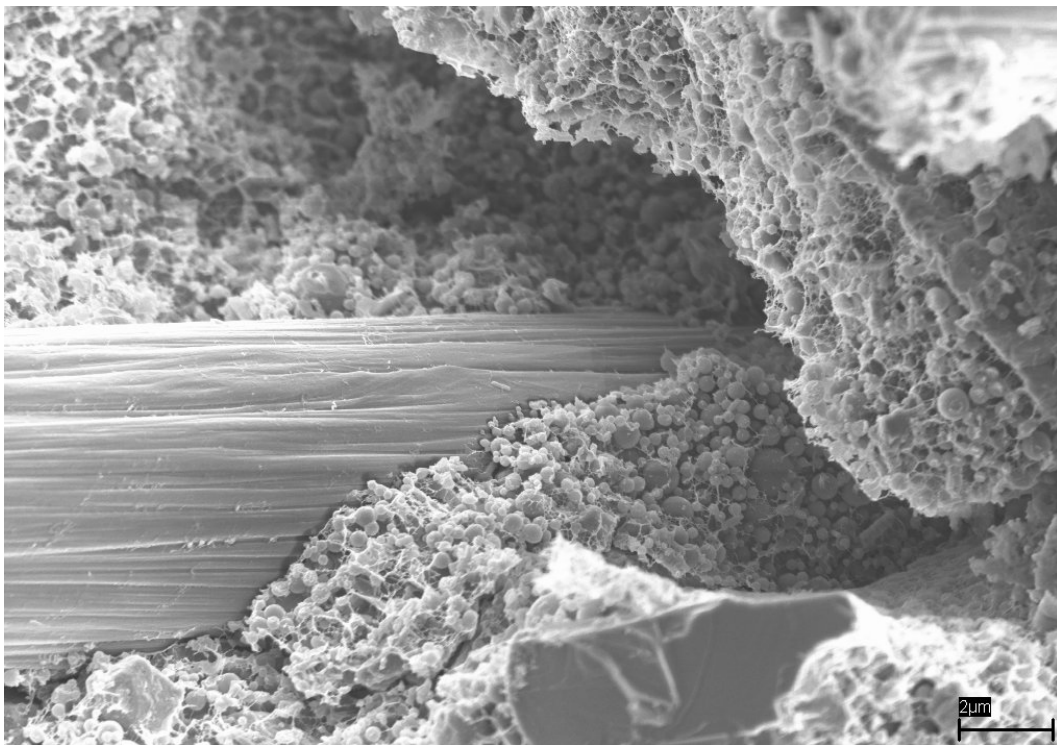


Nanolight csemperagasztó és a nanoszerkezetű kötőrétege

A Caparol cégcsoport az épülethomlokzatok hőszigetelési rendszereihez, több olyan vékonyvakolatot és habarcsot fejlesztett ki, amelyek nanokristályokkal beágyazott szénuszálakat is tartalmaznak. A szénuszálerősítés igen nagymértékben növeli a polisztirol alapú hőszigetelő rendszerek mechanikai hatásokkal szembeni ellenállását, mint például a jégverés. Capatect Carbon termékcsalád tagja a **CarboNit** szénuszál-erősítésű habarcs, valamint a szálerősített **CarboPor** vékonyvakolat, mely a fotokatalitikus hatása alapján öntisztuló és hidrofób.



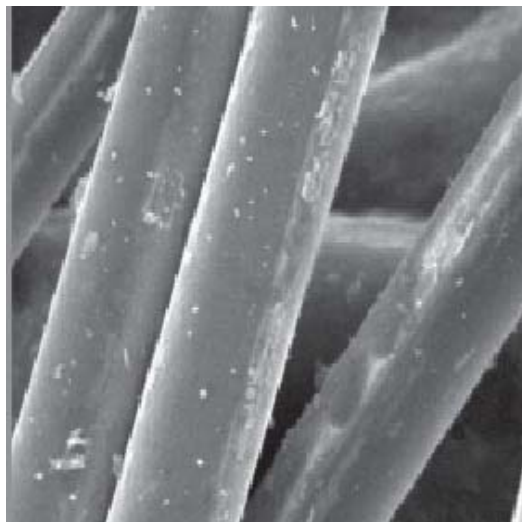
CarboNit szénuszál-erősítésű habarcs



A nanokristályokkal beágyazott szénuszál a habarcsban

7.5 Nanotechnológia a szálak anyagok gyártásában

A mikro- és makroszálak ásványgyapot hőszigetelőanyag műszaki jellemzői javíthatók nanocsövekkel erősített polimer kompozit bevonattal.



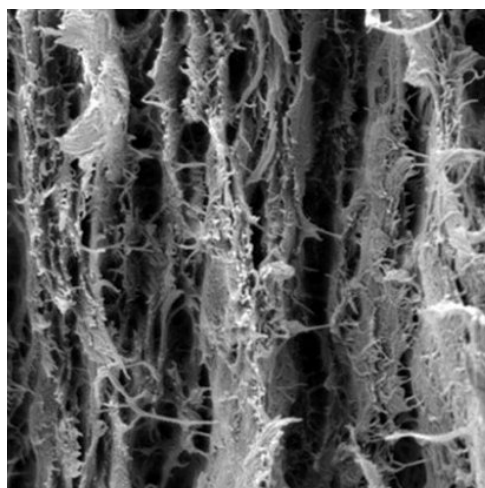
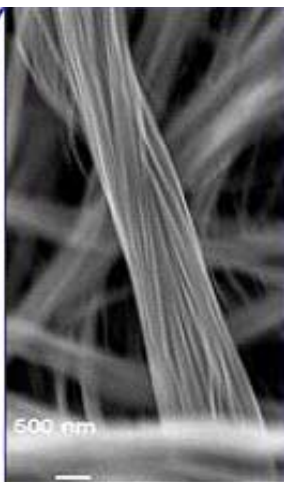
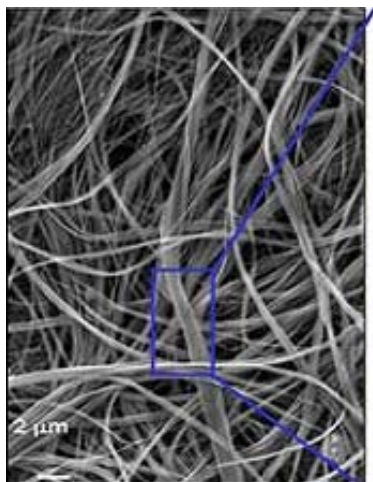
Nano kompozittal bevont ásványgyapot szálak



A korábban használatos azbeszt szálak (átmérő: 50 – 3000 nm)

++
#

A víz szűrésére és tisztítására, valamint az olajszennyezések felitatására és begyűjtésére igen előnyösen alkalmazható a „**nanopapír**”, amit cellulóz nano vezetékszálakból szőnek. A saját súlyának a hússzorosát képes felszívni és eltárolni, majd a felitatott olaj visszanyerhető, akár csak maga a "nanopapír"



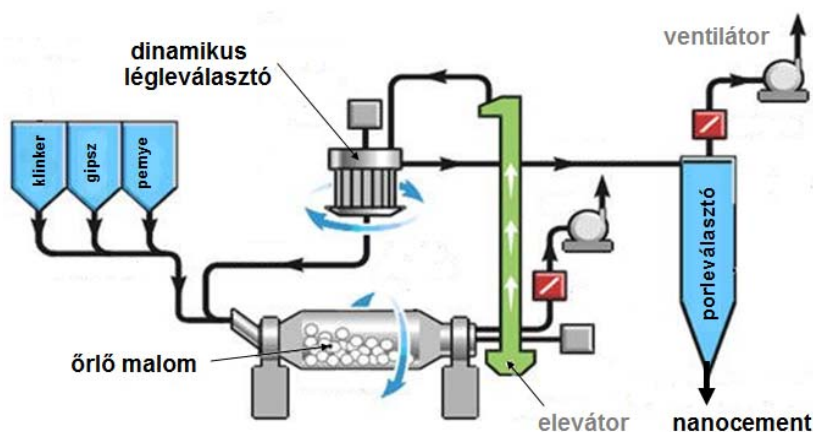
Az összefonódott nanovezetékek

A cellulóz nanoszálakból készült papír

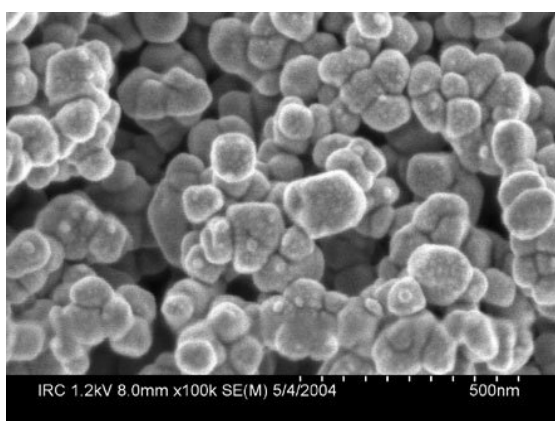
7.6 Nanocement építőipari alkalmazása

A nanoméretű szemcsehalmazokat, például nanoszilikát és alumo-szilikátokat tartalmazó kötőanyagokkal, jelentősen növelhető a betonok teljesítőképessége, azaz szilárdsága, tömörsége és tartóssága. Hasonló eredményre vezet, ha cement kötőanyag meghatározott szemcseméret-eloszlással rendelkező „nano-frakciókat” is tartalmaz. A nanocement, a kis szemcseméreteiből adódóan, nagy hőfejlődéssel hidratál, gyorsan köt és szilárdul, a cementkő igen minimális permeabilitással rendelkezik, ami már a teljes vízzáróságon túl, alkalmassá teszi a belőle készült betonszerkezetet pl. a radon gáz szűrésére is.

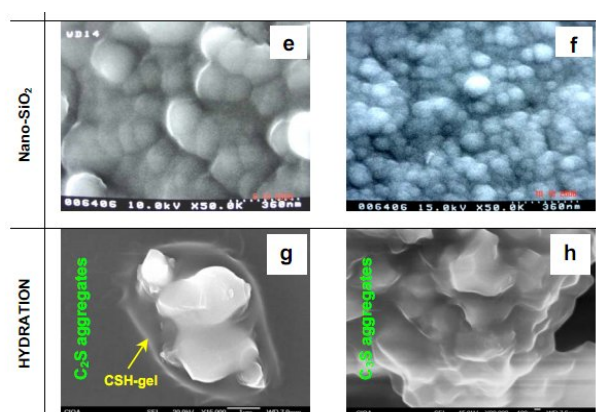
Ezeket a $3\mu\text{m}$ -nél kisebb, de nanoméretű cementszemcséket is tartalmazó „nanocementeket” csak speciális cementmalmokban lehet előállítani, nem kis energia ráfordítással.



Nanocement előállítási technológiája



A cement nanoméretű frakciója



A nanocement hidratációja

A mérnökök számára nem kis fejtörést okoznak a hazánkban is forgalomban lévő mindent tudó „nanocementek”. Nehéz kideríteni az igazságtartalmukat, a nanotechnológiára hivatkozó, különböző vízszigetelő anyagoknak is, mint például a PENETRON, OXYDTRON, EURO KALMATRON, XYPEX és RADCON. 2012 évben, laboratóriumi ellenőrző- és összehasonlító mérésekkel, vizsgálatot indítottunk a hatékonyságuk és hatásmechanizmusuk kiderítésére.

8. Nanotechnológiás hőszigetelő anyagok és bevonatok

8.1 Grafitadalékos expandált polisztirol (EPS) lemezek

Az építőipar területén alkalmazott hőszigetelő anyagok és hőszigetelési technológiák, elsősorban a levegő hőszigetelő tulajdonságát használják ki, és ma már elérték teljesítőképességük határát. Ezekkel a hőszigetelő anyagokkal nehezen teljesíthetők az EU energiatakarékossági előirányzatai a jövőben.

A mai passzívház minősítés eléréséhez 20-30 cm vastag (hagyományos anyagú) hőszigetelés szükséges, ami már épületszerkezeti problémákat vet fel, és tovább nem fokozható. Bizonyos helyeken, mint például az ablakkávák, ilyen vastagság nem is alkalmazható. Ezen segíthetnek a nanotechnológiával előállított hatékony hőszigetelő anyagok, amelyek sokkal kisebb vastagsággal érik el az előírt hőszigetelő képességet. Nem véletlen nyer igen széles körben alkalmazást a nanotechnológia az energetika és az energiatakarékosság területén.

Az építőiparban több éve eredményesen alkalmazzák az **Austrotherm Grafit** polisztirolhab lemezt, mely a nanoméretű grafitpor adalékának köszönhetően kb. 20%-al kisebb hővezetési tényezővel rendelkezik ($\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$), mint a grafitadalék nélküli EPS lemezek ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$). Az expandálással sejtesített termékek alapanyagának gyártásakor, a pentán gázosítót mellett, nanoméretű grafitport is adagolnak a polisztirolhoz, mely sötétszürke színt ad a lemezeknek.

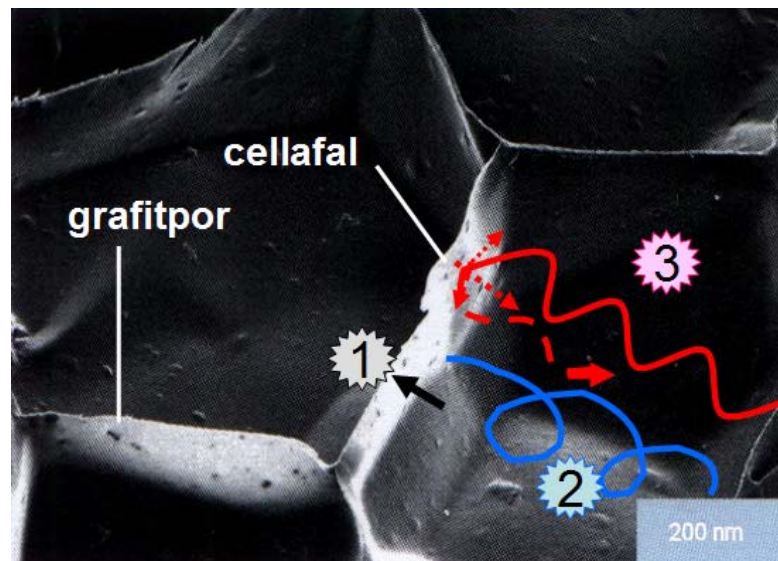


A grafitadalékos polisztirolhab hőszigetelő lemezek

Az expandálással sejtesített polisztirol szigetelőlemezekben a vékony falakkal elválasztott kisméretű és zárt levegőcellák biztosítják a hőszigetelést. Az EPS szigetelőlemezben való hőterjedés, hővezetéssel, hőáramlással és hősugárzással valósul meg.

Az EPS lemezekben való hőterjedés összetevői (hőközlési módok):

1. A cellafalak polisztirol anyagának hővezetése (hőátadás).
2. A cellákba bezárt levegő hő szállítása áramlással (konvekció).
3. Infravörös hősugárzás a cella falai között (hősugárzás).



Hőközlési módok az EPS lemez cellaszerkezetében

A grafitadalékos EPS lemezben, az infravörös hőszugárzást (3) nagymértékben csökkentik a sugárelnyelő-, és visszaverő grafitpor szemcsék a cellák falán. A hőtükörként működő nanoméretű grafit szemcséken a hőszugárzás széttükröződik, és részben visszaverődik, növelve ezzel a hőszigetelő anyag hővezetési ellenállását.

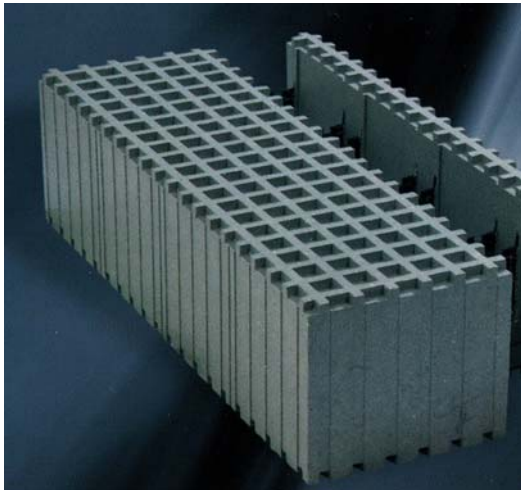


Épülethomlokzat hőszigetelése grafitadalékos polisztirolhab lemezzel

A GRAFIT-REFLEX hőszigetelő lapok.

A grafitadalékos szürke EPS lemezeket fehérre festik, a beépítés közbeni túlzott felmelegedés- és alakváltozások megakadályozása érdekében.



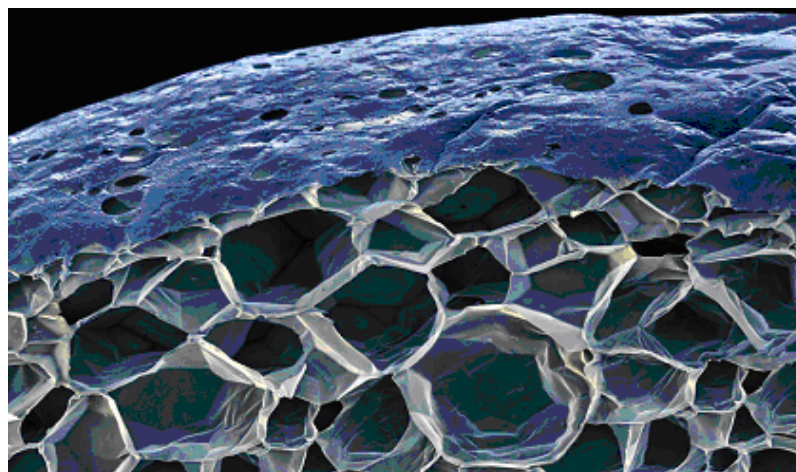


BASF Neopor grafitadalékos EPS hőszigetelő bennmaradó zsaluzóelemek

A **Neopor** és a **MultiTherm EPS Neo** hőszigetelő rendszerben, a vékony grafitréteggel bevont expandált polisztirol gyöngyök felülete hőtükörként viselkedik, és fékezi az infravörös hősugárzás átvezetését az anyagon.



Grafitréteggel bevont polisztirol gyöngyök



Hőtükör grafitréteg a polisztirolgyöngy felületén

8.2 Nanopórusos aerogél hőszigetelő anyagok

A szilícium-dioxid alapú szilika aerogélek, nanopórusos könnyű szilárd habok, az üregarányuk elérheti a 99%-ot, testsűrűségük $1,9 \text{ kg/m}^3$. A $2\div 10 \text{ nm}$ nagyságú nanorészecskékből felépülő szerkezhálózatuk pórusmérete $10\div 50 \text{ nm}$. Az építőiparban, mint a világ legkönnyebb szilárd anyagai, szuperhőszigetelőként kerülnek alkalmazásra.

A molekuláris szerkezetű nanopórusok előállítása:

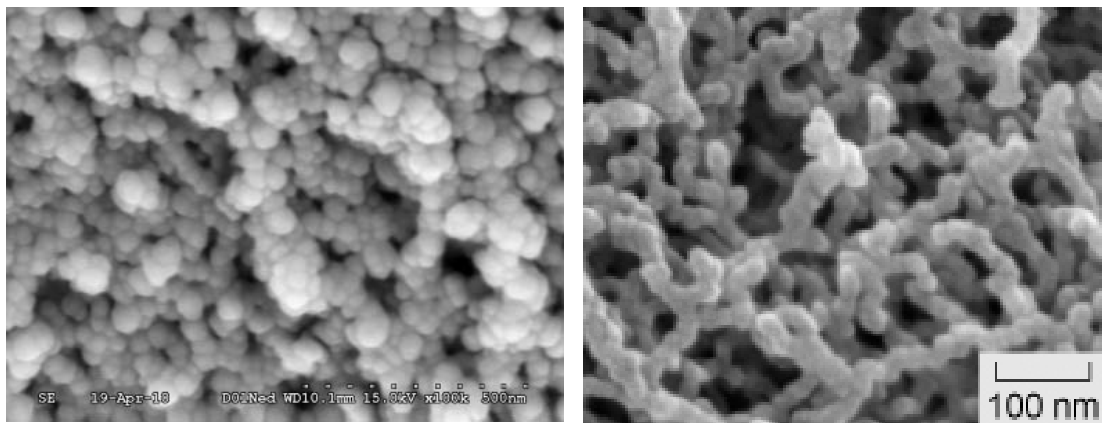
- Kavasavat (H_4SiO_4) és vizet összekeverik nagy nyomáson.
(a kolloid oldatban, pl. vízüveg, a szilícium atomok körbeveszik a vizet)
- A vízmolekulákat kicserélik CO_2 -vel, majd cseppfolyós földgázzal.
- Normális légköri nyomáson a gáz eltávozik, nanopórusokat hagyva maga mögött (pórusméret $10\div 50 \text{ nm}$). A földgáz eltávozásakor, nem törik össze a nanoméretű szilíciumrészecskék hártyaszerkezetét.



Nanopórusos aerogél hőszigetelő anyag

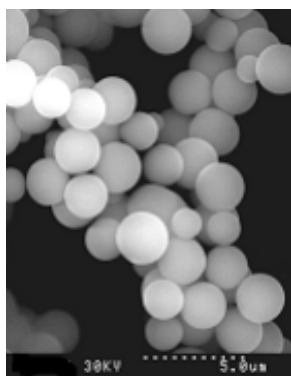
A szilikát aerogél tulajdonságai:

- kemény, de törékeny
- testsűrűsége $\rho_t = 1,9 \text{ kg/m}^3$ szuperkönnyű (Guinness-rekord!)
- hővezetési tényezője $\lambda = 0,013 \text{ W/mK}$ (levegő $\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$)
ideális hőszigetelő építőanyag

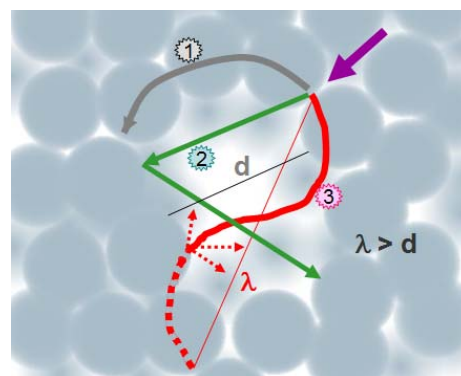
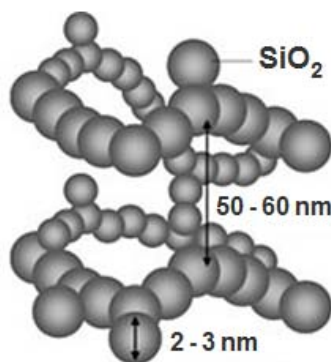


Az aerogél nanopórusos szerkezete

A kiváló hőszigetelés titka abban rejlik, hogy a levegő nem tud cirkulálni az aerogélek pórusrendszerében, így a hőterjedés egyik típusa (hővezetés, konvekció, sugárzás) sem jellemző ezekre az anyagokra.



A nanopórusok szilíciumdioxid vázszerkezete



Hőközlési módok a nanopórusos szerkezetben

A hő terjedésének formái az aerogél hőszigetelő anyagban:

1. A hővezetés a nagy porozitás, a csekély szilárd frakció, valamint az aerogél zsákutcákkal és elágazásokkal teli mátrixa miatt, rendkívül kedvezőtlen. A szilika részecskék csak kis felületen érintkeznek, így a hővezetés igen csekély.

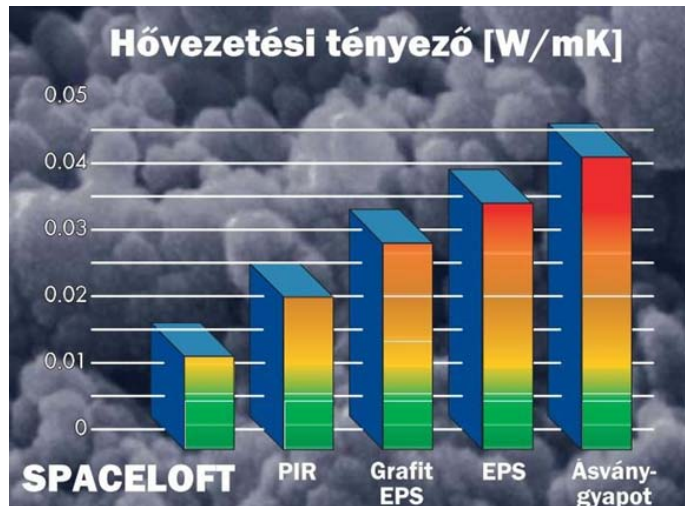
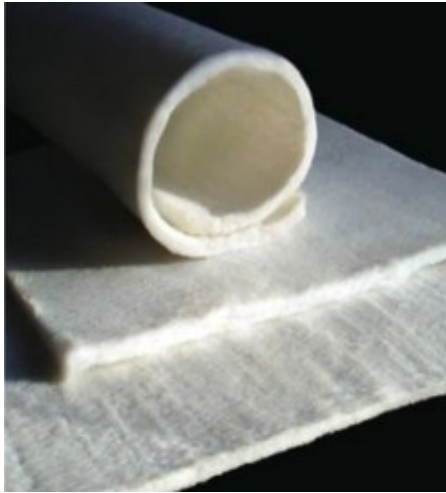
2. A hőáramlást, azaz a konvekciós hőszállítás mértékét, a pórusokban lévő gázmolekulák közepes szabad úthosszának és a pórusok átmérőjének aránya szabja meg. A nanopórusok üregei kisebbek, mint a bennük levő gázmolekulák szabad ütközéséhez szükséges út hossza. A gázmolekulák igen gyakran az üreg falaival ütköznek, nem egymással, ezáltal szinte lehetetlen a konvekciós hőáramlás.

3. A hősugárzás formájában való hőterjedés sem valósul meg akadálytalanul az aerogél anyagban, mivel a nanopórusok mérete (10÷50 nm) kisebbek, mint az infravörös hősugarak hullámhossza (1μm÷1mm). A nanopórusok felülete a hősugarak nagy részét visszaveri, illetve szétszórja, egy részét pedig elnyeli.

Az építőiparban alkalmazott **SPACELOFT®**, egy nanopórusos paplan, melyet a szilika aerogél hőszigetelő anyagnak, üvegszál térhálóba való beágyazásával állítanak elő.

A flexibilis és hajlékony aerogél lemez műszaki paraméterei:

- hatékony hőszigetelés, $\lambda = 0,013 \text{ W/mK}$
- víztaszító (hidrofób) és páraáteresztő
- vakolható, illetve öntapadó felülettel bevonva, könnyen rögzíthető



Spaceloft hőszigetelő paplan

Hővezetési tényezők összehasonlítása

A Spaceloft paplant, mint az építőipar leghatékonyabb hőszigetelő anyagát, különösen hatékonyan alkalmazzák épületfelújításoknál, műemléki épületek hőszigetelésére, valamint a hőhidak utólagos megszüntetésére. A hőszigetelő paplan vastagsága 5÷50 mm, λ értéke: 0,013 W/mK. Ebből az anyagból 10 mm-es hőszigetelés, kb. 40 mm ásványgyapotnak felel meg.



Épülethomlokzat hőszigetelése



Spaceloft paplan elhelyezése



Hőszigetelő paplan rögzítése a falon



Aljzat és padló hőszigetelése



Hő-híd megszüntetése



Öntapadó Spaceloft szalag

A **ThermaBlok® Aerogel**, üvegszál ágyazású hőszigetelő paplan, ideálisan alkalmazható a könnyűszerkezetes épületek hőszigetelésére. Öntapadó szalag formában pedig a fémvázak és nyílászáró tokok ideális hőszigetelő anyaga.



ThermaBlok hőszigetelő paplan



Fémváz hőszigetelése

Az építőiparban hőszigetelő üveggként alkalmazzák a **NANOGE[®] aerogélt**, melyet üvegpór és szilika aerogél keverékéből állítanak elő. A napfényátersztő épületszerkezeti üvegelem nem más, mint egy igen jó hőszigetelő képességgel rendelkező transzparens nanopórusos aerogél.

A Nanogel hőszigetelő üveg tulajdonságai:

- $\lambda = 0,009 \div 0,012 \text{ W/mK}$
- napfényvilágításnál áttetsző, fénydiffúziós teljesítménye 0,95
- az UV és infravörös hősugarak egy részét visszaveri
- könnyű, porozitása 97%
- hidrofób és pára átersztő

Alkalmazás: létesítmények hőszigetelő bevilágító ablaka
átlátszó válaszfalak és erkélykorlát elemek
ablakok dupla üvege közé elhelyezett hőszigetelés



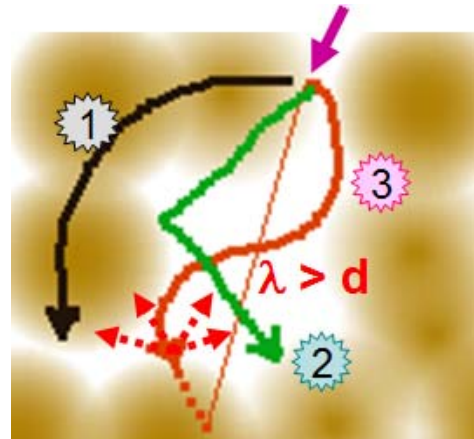
Nanogel alkalmazása hőszigetelő bevilágító ablakként és korlát elemként

8.3 Nanopórusos hőszigetelő vékonybevonatok

A **Nansulate® HomeProtect** nanotechnológiás hőszigetelő vékonybevonat hőszigetelési mechanizmusa azon alapszik, hogy az ultravékony bevonati réteg nanokomponensű (Hydro-NM-Oxide) anyagrészecskéi, és a köztük képződő nanoméretű pórusszerkezet, nagymértékben fékezik a hő terjedését a hőszigetelő anyagban.

A hő terjedésének formái hőszigetelő anyagban:

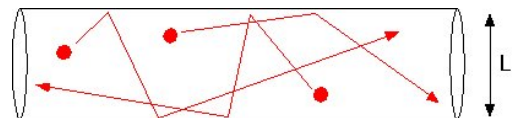
1. Hővezetés.
Szilárd anyagban, részecskéről részecskére terjed a hő, az anyagrészecskék rezgési energiájának átadásán alapszik.
2. Hőáramlás
Mozgó anyagrészecskék közvetítik a hőt. (levegő konvekciója a pórusokban)
3. Hősugárzás
Elektromágneses hullámok alakjában terjed a hő (infravörös tartományban)



A hő terjedése az anyagban

A Nansulate nanotechnológiás hőszigetelő anyagban mindhárom hőterjedési mód korlátozva van az alábbiak szerint:

1. Hővezetés (hőátadás) csökkentése:
 - A hőszigetelő anyag nano komponensű anyagrészecskéi között kisméretűek az érintkezési felületek, sok „zsákutca” gátolja a hőátadást.
 - Korlátozva van az anyagrészecskék vibráló mozgása, nem továbbítják a hőenergiát a hidegebb molekulák felé.
2. Hőáramlás (konvekció) csökkentése:
 - A nanoméretű pórusszerkezet üregei kisebbek, mint a bennük levő gázmolekulák szabad ütközéséhez szükséges út hossza.
 - A gázmolekulák az üreg falaival ütköznek, nem egymással, így az energia egy része szétszóródik, és nem a kitüntetett irányban halad. Ez a Kundsen effektus, ami miatt minimális a konvekciós hőáramlás.
3. Hősugárzás csökkentése:
 - Pórusok mérete (10÷50 nm) kisebb az infravörös hősugárzás (1µm÷1mm) hullámhosszánál.
 - A nanopórusok felülete a hősugarak nagy részét visszaveri, illetve szétszórja, egy részét pedig elnyeli.



A falszerkezeti modelleken végzett épületenergetikai mérésekből számított névleges hővezetési tényező: $\lambda = 0,017 \text{ W/mK}$. A rétegenként $75 - 125 \mu\text{m}$ vastagságban felhordott Nansulate védőréteggel olyan hőszigetelés valósítható meg, ami több centis hagyományos hőszigetelő anyaggal volna csak lehetséges.

Az ultravékony Nansulate termékek felvihetők gyakorlatilag minden fémes (acél, alumínium) és nemfémes (beton, fa, vakolat, PVC, üveg) külső és belső felületre. Úgy az átlátszó, mint a fehér változatok UV sugárzás elleni védelmet is biztosítanak.



Nansulat bevonat felhordása a falfelületre

Üvegfelület hőszigetelése

Az energiaipari berendezések és hőtávvezetékek szigetelésére a **Nansulate Translucent** vékonybevonatot alkalmazzák, mely egyben korrózióvédelmet is biztosít, és nagymértékben csökkenti az energiafelhasználást.



Nansulate Translucent bevonat alkalmazása az energiaiparban

Nansulate® Crystal, egy nanotechnológiás impregnáló- és bevonó anyag, az épületszerkezetek szigetelőképességének hatékony javítására. A szabadalmi védettségre hivatkozva, a hatásmechanizmusáról nincs közölve információ. Az Internetes termékismertetőik alapján, rendkívüli módon javítja az általa bevont anyagok és felületek víztaszító- és hőszigetelő képességét.

A bevonat alkalmazásával az alábbi anyag- és szerkezettulajdonságokat lehet elérni:

- UV sugárzásnak ellenálló, öntisztuló és penészálló felületek
- hidrofób tulajdonságú víztaszító bevonatok
- hatékony hőszigetelő anyagok és vékony rétegben is alacsony hőátbocsátási tényezőjű falszerkezetek

Alkalmazási területek:

- kerámia- és betoncserepek felületkezelése
- bitumenes- és fazsindelyek felületkezelése
- falfelületek hidrofobizálása



Bitumenes zsindely hidrofobizálása, felületkezeléssel



Fazsindely és kerámiacserép hidrofobizálása, felületkezeléssel



Falfelület szigetelése és hidrofobizálása

A hőszigetelő vékonybevonatok közé sorolhatjuk a **ThermoShield „hőpajzs”** membránbevonatot is, mely mikrométerű ($\varnothing 10 \div 120 \mu\text{m}$) kerámiagyönggyökből épül fel, rétegvastagsága kb. 0,3 mm, és hőszigetelő festékként alkalmazzák az építőiparban, elsősorban épülethomlokzatok hőszigetelő festésére és bevonására. Egy sorház-épület falszerkezetén, több éven keresztül végzett épületenergetikai mérésekből visszaszámított, névleges hővezetési tényezője: $\lambda = 0,014 \text{ W/mK}$.

Az üreges gyöngyöket magas hőmérsékletű kerámiaolvadékból állítják elő, és lehűlésüket követően a belsejükből viszonylagosan vákuum alakul ki. Ezekben a mikro-méretű vákuumterekben már nem a megszokott módon érvényesülnek a hő terjedésével és vezetésével kapcsolatos törvényszerűségek.

A ThermoShield vékonybevonat hővezetőképességét befolyásoló tényezők:

1. Külső hőszugárzás csökkenése

A kerámiagyönggyök az IR hőszugárzás 85%-át a felületről reflexióval visszatükrözik.

2. Hővezetés (hőátadás) csökkenése

A gyöngyök között kicsik az érintkezési felületek.
A gyöngyök tömege kicsi, az összes felület nagy.

3. Hőáramlás (konvekció) csökkenése

A vákuum térben minimális a gázmolekulák ütközése, így jelentéktelen a konvekciós hőáramlás.

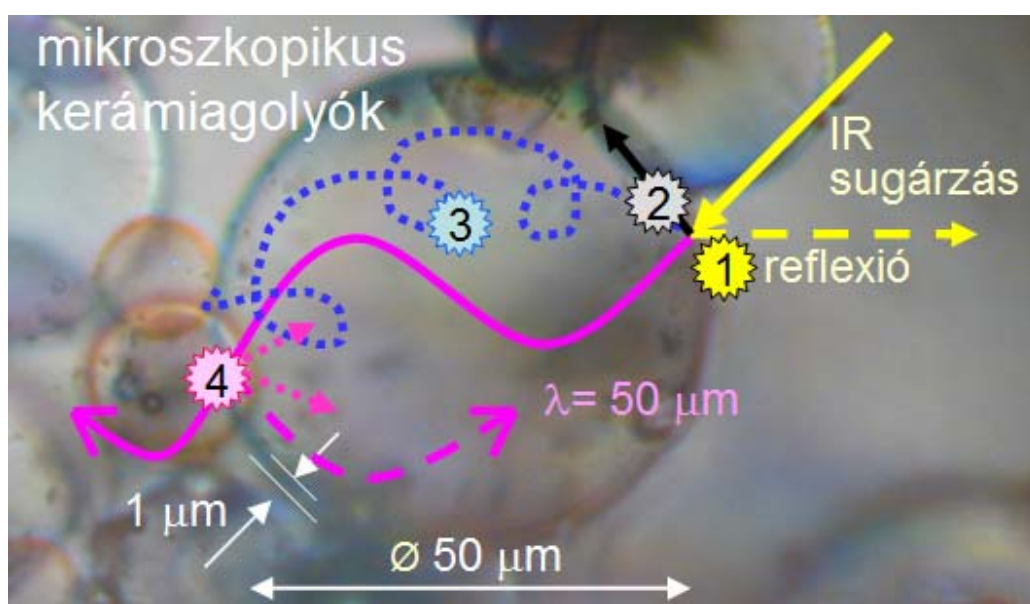
4. A belső tér hőszugárzásának csökkenése

A gyöngyök belső üregének mérete kb. $50 \mu\text{m}$, ami közel azonos, mint az infravörös hőszugárzás hullámhossza $\lambda = 1 \mu\text{m} \div 100 \mu\text{m}$.

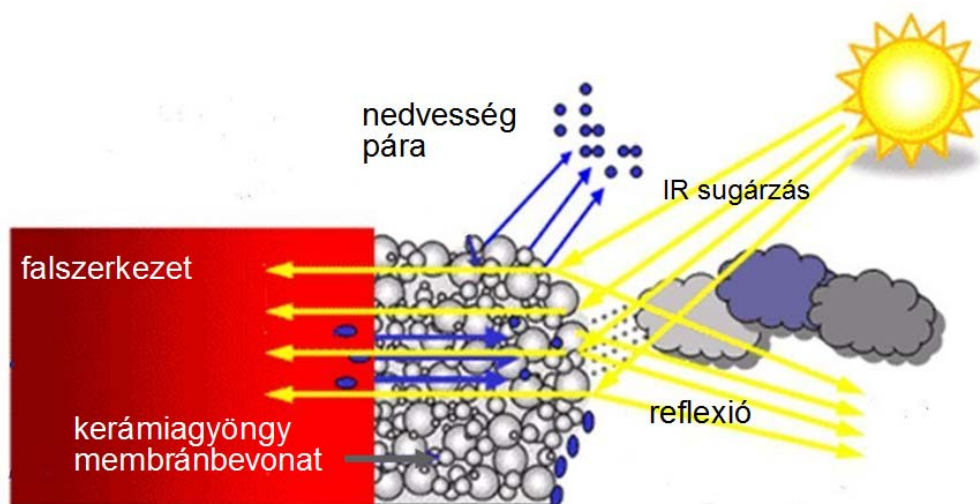
A belső kerámiafelület „hőtükörként” működve, a hőszugárzás nagy részét visszatükrözi, illetve szétszórja.



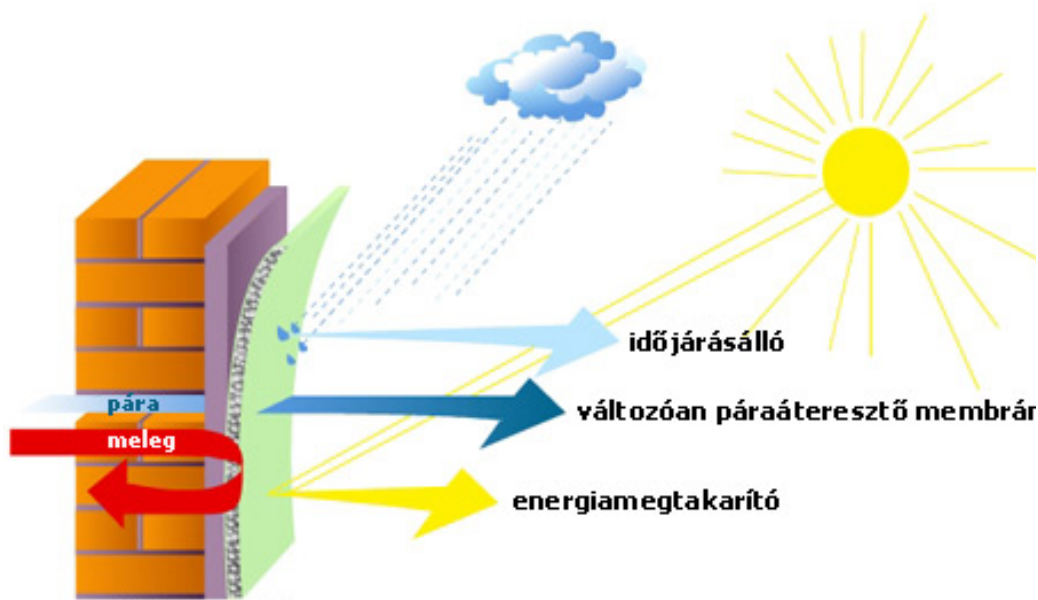
Membrán bevonat



A kerámiagyöngy bevonat hőszigetelési mechanizmusa



A kerámiagyöngy „hőpajzs” működése a falszerkezeten



A membrán vékonybevonat épületfizikai jellemzői

A ThermoShield hőpajzs bevonat, hőszabályozó és változó páraáteresztő képességgel rendelkezik, köszönhetően a gyantapolimer + TiO_2 kötőanyagba ágyazott kerámia gömböcskéknek. A membrán réteg képes a nedvesség tárolására és leadására, ami lehetőséget ad a helyiség páratartalmának szabályozására, alkalmazható a páralecsapódás elkerülésének érdekében is.

A termékcsoporthoz tartozó, forgalomban levő további termékek:

Thermo-S Universal hatékony szigetelő anyag épületek homlokzatára, belső falak, betonpadlók, hideg és meleg vízcsövek és légcsatornák szigetelésére.

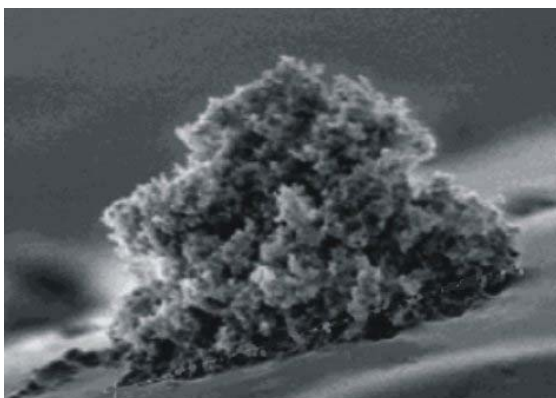
Thermo-S Front a betonfelületek szigetelésére alkalmazható, páraáteresztő.

Thermo-S termékek a műemlék épületek hőszigetelésére alkalmazhatók.

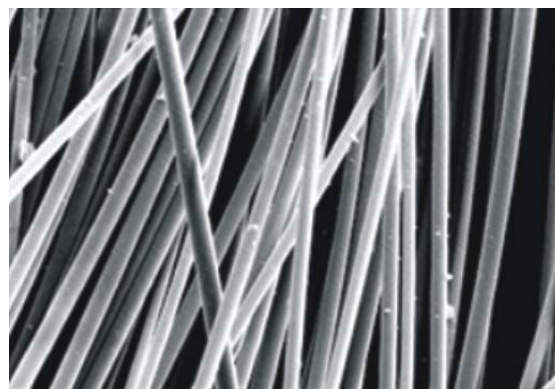
8.4 Nanoporózus vákuum hőszigetelés

Az építőiparban ma már egyre gyakrabban találkozunk olyan hőszigetelési feladatokkal, mint például a passzívházak falszerkezete, vagy a nyílászárók körüli hőhidak megszüntetése, amelyek a hagyományos hőszigetelő-anyagok vastagságának növelésével már nehezen oldható meg, ugyanis a hőszigetelés hatékonysága, tovább már nem fokozható. Ezeknek a hőszigetelési feladatoknak a megoldására fejlesztették ki a nanotechnológián alapuló, nagyteljesítményű vákuum hőszigetelő paneleket (**VIP** Vacuum Insulation Panel).

A vákuum hőszigetelő panelek alapanyaga a pirogén kovasavpor, melynek a szilíciumdioxid alkotóit egy nanoméretű tülevelű fenyőfák halmazához lehetne hasonlítani, minimális érintkezési pontokkal és az ágak közötti nanoméretű pórusokkal. A panelek pirogén kovasavpor hőszigetelő anyagához, az állékonyság és stabilitás érdekében, cellulózsálakat és szilíciumkarbid adalékanyagot kevernek, majd lemezformába préselik.

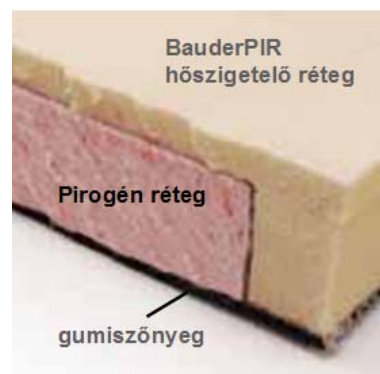
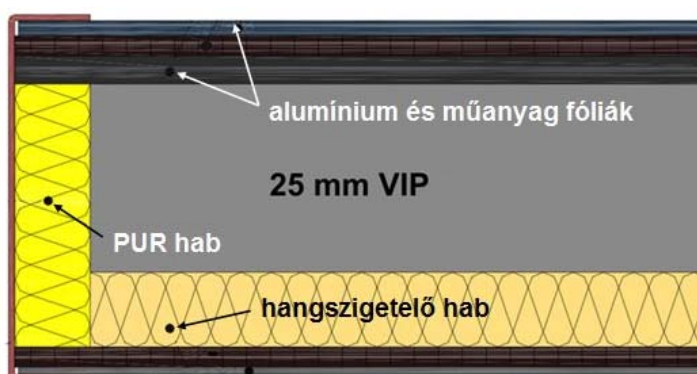


Pirogén kovasavpor (SiO_2)



A vázerősítő cellulóz szálak

A panelek külső borítása, egy többrétegű alumínium- és műanyag fóliából álló hőszigetelő és mechanikai védelmet adó köpeny, melynek belsejében vákuumot létesítenek. A panelek toldása és rögzíthetősége érdekében, a pirogén réteget hagyományos hőszigetelő anyaggal, pl. PUR habbal veszik körbe.



A vákuum hőszigetelő panel (VIP) szerkezeti felépítése



Alumínium védőfóliával borított VIP lemezek



A hőszigetelő vákuum panelek termékválasztéka

A pirogén kovasavpor nanoporózus anyagában korlátozva van a konvekciós hőáramlás és a hőszugárzással való hőterjedési mód is, ezért igen nagy a hővezetéssel szembeni ellenállása, a hővezetési tényezője vákuumozás nélkül is kétszer kisebb, mint a hagyományos hőszigetelő anyagoké.

A VIP vákuumpanelek műszaki adatai:

- testsűrűség: $\rho_t = 160 \div 280 \text{ kg/m}^3$
- nyomószilárdság = $70 \div 350 \text{ kN/m}^2$ (lépésálló)
- hővezetési tényező: $\lambda = 0,019 \text{ W/mK}$ (vákuumozás előtt)
vákuumozás után $\lambda = 0,0035 - 0,005 \text{ W/mK}$

A VIP hőszigetelési képessége tízszer jobb, mint a hagyományos EPS lemezé, így kis vastagságban alkalmazva is hatékonyan szigetel. A vákuum hőszigetelő panelek elsősorban ott alkalmazhatók eredményesen, ahol kevés hely áll rendelkezésre a hőszigetelés számára, például az épületfelújításoknál, hőhidak megszüntetésénél, de ide sorolhatóak még a bejárati ajtók és a terasztetők is, nem is szólva a passzívház technológiában való alkalmazási lehetőségeikről.

A QASA, Vacapur és VARIOTEC VIP vákuumpanelek alkalmazási példái.



Tetőfödém hőszigetelése VIP lemezekkel



VIP lemezzel hőszigetelt bejárati ajtó
vtg.= 45 ÷ 68 mm $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$



Redőnytok hőszigetelése

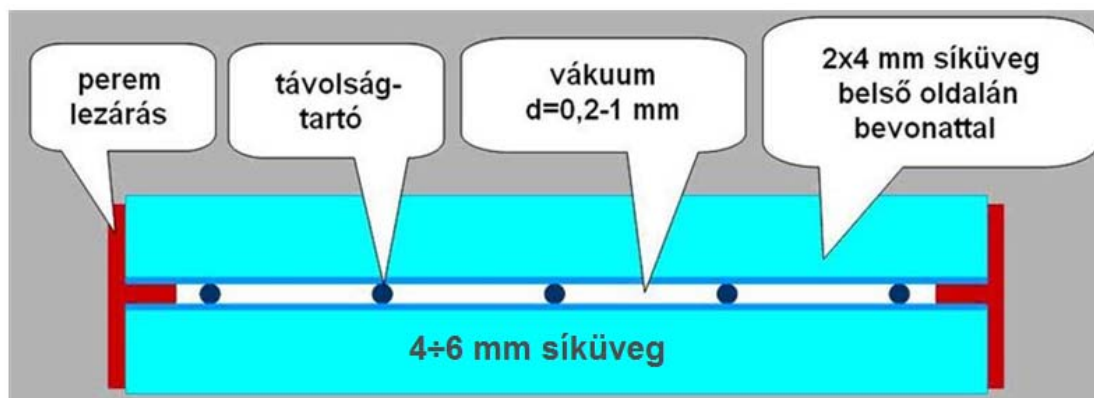


Belső tér szigetelése VIP lemezekkel

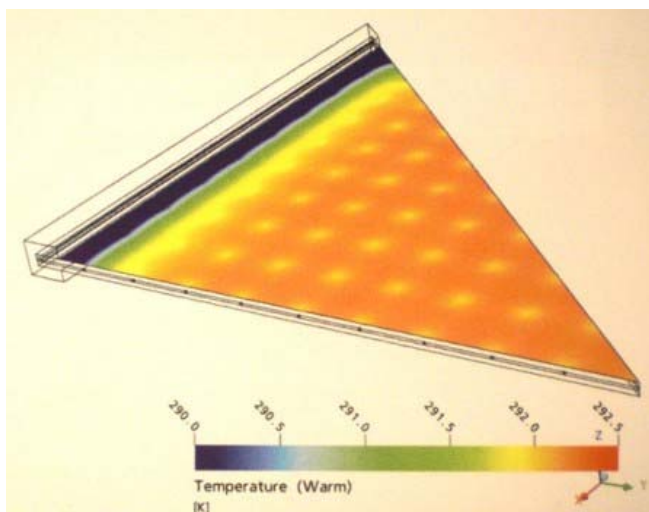
Vákuum-üvegezés (VIG Vacuum Insulating Glass).

A vákuum-üvegezés a nanotechnológiához, ha közvetlenül nem is kapcsolódik, de az építőipar számára igen fontos, nyílászárók hőszigetelése területén ad reményteljes megoldást. A VIG lényege, hogy az egyenként 4-6 mm-es síküvegtábla közül, a megfelelő hőszigetelőképeség biztosításához, kivákuumozzák a levegőt. Az így létrehozott igen alacsony (0,001- 0,0001 mbar) nyomás miatt, az üvegtáblákra kívülről igen nagy atmoszférikus nyomás nehezedik, melyet az átlátszóságot nem akadályozó módon, távolságtartó üveggolyókkal veszik fel. Ezeknek a speciális távtartó elemeknek olyan a finom a rasztere (1000 db/m²) hogy csupán közvetlen közlelről vehetők észre.

A **VIG** 9 ÷ 13 mm vastagságú szerkezetében, a belső oldalukon hővisszaverő bevonattal ellátott üvegtáblák távolsága, mindössze 0,2-1mm. A szerkezet gyenge pontja az üvegtáblák pereme, ahol a lezárás, hőhidat jelentő fémlemezek segítségével történik. Elviekben a kétrétegű vákuumüvegezéssel elérhető hőátbocsátási tényező $U_g = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, a technológia jelenlegi korlátai miatt, a gyakorlatban elérhető alsó határérték: $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.



A vákuum-üvegezés felépítésének elvi sémája



A távolságtartók hőhid hatása



VIG tábla alkalmazása

Összefoglaló gondolatok

A nanotechnológia építőipari alkalmazási lehetőségeit áttekintve, a hőszigetelés az a terület, ahol legszembetűnőbb az eltérés a normálméretű- és a nanoszerkezetű anyagok tulajdonsága és viselkedése között. Ugyanis a nanoméretű pórusossággal rendelkező hőszigetelő anyagokban már nem a megszokott módon érvényesülnek a hő terjedésével kapcsolatos törvényszerűségek és összefüggések. Például, a nanoméretű porozitás esetén, az anyag hővezetési tényezője, már nem arányos a testsűrűséggel, mint ahogy ezt legtöbb építőanyag esetében tapasztaljuk. Továbbá egy nanotechnológiával létrehozott hőszigetelő szerkezet hővezetési ellenállását nem lehet egyszerű számítással meghatározni az anyagvastagság és a hővezetési tényező hányadosával. Mindezek az eltérő hőszigetelési tulajdonságok csak fokozódnak, ha az anyag hőszigetelését nem a pórusrendszerébe bezárt levegő adja, hanem egy vákuumtér. Ebből következik, hogy tervezéskor a szokásos hőfizikai számításokat, a különböző beépítési formációk mérési vizsgálataiból nyert adatokkal célszerű helyettesíteni.

Absztrakt

A nanotechnológia, mint az elkövetkező évtizedek egyik legfontosabb tudományterülete, az építőanyagipar területén is fejlődési lehetőséget biztosít a különleges paraméterű építőanyagok kifejlesztéséhez és alkalmazásához. Ma már mindenki számára ismertek a nanotechnológia sikeres alkalmazásai a mikroelektronika a mikrobiológia és az anyagtudományok területén. Ugyanakkor az építőiparban való alkalmazási eredményekről és lehetőségekről igen kevés információ áll rendelkezésre az iparág mérnökei és szakemberei számára. Ezt az ismeretterjesztési hiányosságot kívánja pótolni ez a TDK dolgozat, számos alkalmazási példán bemutatva a nanoanyagok nem mindennapos tulajdonságait, és jövőbeni alkalmazási lehetőségeiket az építőipar területén.

Felhasznált irodalom

1. Nanotechnológia.
Dr. Mojzes Imre; Molnár László Milán. Műegyetemi Kiadó, 2007
2. Környezeti kémia.
Papp Sándor; Rodolf Kümmel. Veszprémi Egyetemi Kiadó. Veszprém, 2005.
3. Nanotechnológiák az európai építőiparban
State of the art 2009. Vezetői összefoglaló
F.A. van Broekhuizen és J.C. van Broekhuizen. Amszterdam, 2009. nov.

4. TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects
Kazuhito HASHIMOTO; Hiroshi IRIE; Akira FUJISHIMA
Japanese Journal of Applied Physics Vol. 44, No. 12, 2005.
5. TioCem-egy környezetbarát, csúcstechnológiájú cement
Szabó Imre DCM Kft, Beremend. Beton. 2011. március XIX. évf. 3. szám
6. Épületfizika és Kémia. Kémia MSc 6. előadás pps.
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
7. Lotusan mit Lotus-Effekt
Jürgen Angermeier Sto termékismertető előadás pps.
8. Modification of cement matrixes of carbon nanotubes
G. Yakovlev Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
9. Carbon nanotubes and their application in the construction industry
Makar, J.M.; Beaudoin, J.J. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada. 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction, Paisley, Scotland, June 22-25, 2003, pp. 331-341
10. Carbon nanotubes cement composites
Giuseppe Ferro. Politecnico di Torino, Department of Structural Engineering and Geotechnics, Torino, Italy

Cégek Internetes honlapjai és termékismertetői

1. InspeCar Vagyonvédelmi Bt.
BRUXSAFOL üvegfoliák, termékismertető. Budapest. www.inspecar.hu
2. TIPE Nanotechnológia a mindennapokban
<http://www.tipe.hu/products/nanotechnologia>
3. Nanobakt Kft.
<http://www.nanobakt.hu/titanat-nanocso>
4. Austrotherm Kft.
Grafítadalékos hőszigeteléssel csökkenthető a hőveszteség
<http://www.austrotherm.hu>

Ismeretterjesztő Internetes honlapok

1. Internet-Journal „Nanotechnologies in Construction”
http://www.stroyka.ru/Materials/nanotexnologii_v_stroitelstve
2. <http://www.passzivhaz-magazin.hu/a-megoldas-a-vakuumban-rejlik>