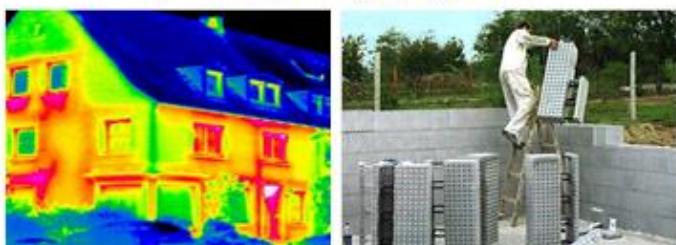


Nanotechnológia alkalmazása az építőiparban energiatakarékosság, környezetvédelem, betontechnológiák

Dr. Orbán József professor emeritus PTE



Épületek hatékony hőszigetelése



Épületek hővesztessége

Fokozott hőszigetelésű falszerkezet

Ígény a hőszigetelés hatékonyságának növelése

- A **kis energiafogyasztású** épületek igen hatékony hőszigetelést igényelnek. (2021.-től nulla energiafogyasztású lakóépületek $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- A hőszigetelő anyagok **hatékonyságának korlátai** (a levegő szigetel)
- A szigetelőréteg **vastagsága korlátozott** (műemléki épületek, belső oldali)
- Hatékony hőszigetelő anyagok: **nanotechnológia** (nano-porozitás)

Bevezető gondolatok a nanotechnológiáról

A nanoanyagok jellemzői:

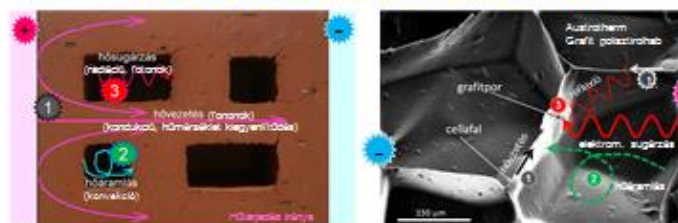
A nano mértékegység: $\varnothing = \text{hajszál } 0,15 \text{ mm} = 150 \mu\text{m} = 150.000 \text{ nm}$
Új tulajdonságok jelennek meg: nagy a fajlagos felület > tömbi forma
nő a reakcióképesség és a szilárdság

Nanotechnológia jellemzése: < 100 nm, folyamatok végbemenése
Az egyes folyamatok leírásához: kvantummechanikai ismeretek
Mikró (μm) és nanométerű (nm) anyagtechnológiák keveredése
A „nano” mint kiváló tulajdonság, márkajelzés, reklám
Ismeretterjesztési hiányosságok, kémia oktatás, szakirodalom hiány

Nanotechnológia alkalmazási területei az építőiparban:

1. Energiatakarékosság: - hatékony hőszigetelő anyagok
- hővédő vékonybevonatok és festékek
2. Környezetvédelem: - öntisztuló épülethomlokzatok
- légszennyezettséget csökkentő felületek
3. Építmények védelme: - betontechnológiai alkalmazások
- szálerősítés, vízzáróság, fagyállóság

A hő terjedésének formái az építőanyagokban



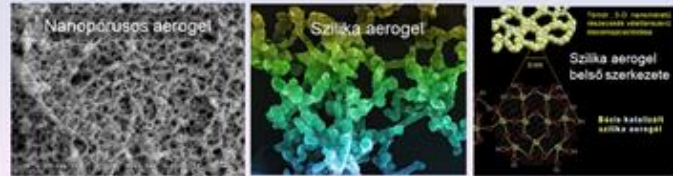
Hőátadás a kerámia falazóelemben

A polisztirol cellaszervezete

Hőtranszport folyamatok a szilárd anyagban: (hőátadás, hőközlés, hő csere, hő átvitel)

- Az anyag hőmérséklete: Az atomrács mechanikai rezgési-energiája (rácsrezgés).
1. Hővezetés: Részecskéről részecskére adódik át a hő az anyagban (kiegyenlítő hatás).
Dielektrikum, a molekulák hullámszerű rezgőmozgása szállítja a hőt (fononok).
 2. Hőáramlás: Mozgó anyagrészecskék, gáz- és vízmolekulák közvetítik a hőt.
A mikró méretű zárt cellákban minimális konvekciós hőáramlás.
 3. Hősugárzás: Elektromágneses sugárzás formájában (infra, fotonok) terjed a hő.
A sugárzást visszaverő grafitpor szemcsék hűtőként működnek.
A hősugárzás reflexiója miatt: $\lambda = 0,038 \rightarrow 0,032 \text{ W/m}^2\text{K}$ (-20%)

Nanopórusos hőszigetelő anyagok



A nanostrukturájú aerogel szerkezeti felépítése

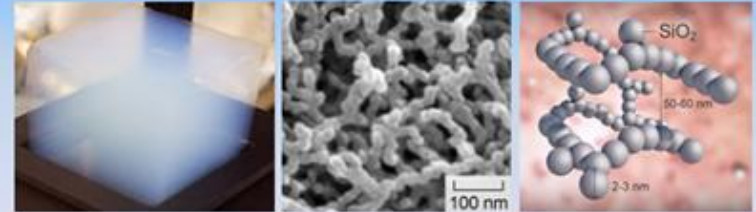
Aerogél: szilícium dioxid alapú nano gömbök „pókháló” szerkezete.

A molekuláris szerkezetű **nanopórusok előállítása:**

- $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (vízüveg) összekeverik nagy nyomáson
- a vízmolekulákat kicserélik cseppfolyós földgázzal
- normális légköri nyomáson a gáz eltávozik, molekula nagyságú **nano-pórusokat** hagyva maga mögött (pórusméret $5 + 100 \text{ nm}$)

A szilika aerogél **szilárdhab tulajdonságai:**

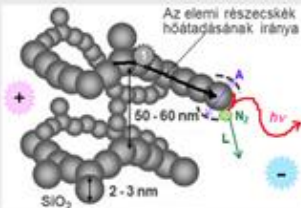
- szuperkönnyű: $\rho_1 = 1,9 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 0,013 \text{ W/mK}$ (levegő: 1,3 és 0,024)



A nanopórusos hőszigetelő anyag (aerogél) szerkezeti felépítése

Hőközlési módok a nanopórusos anyagban (hőtranszport folyamatok):

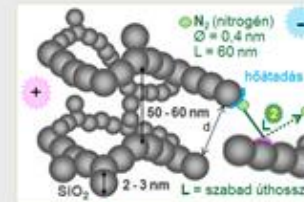
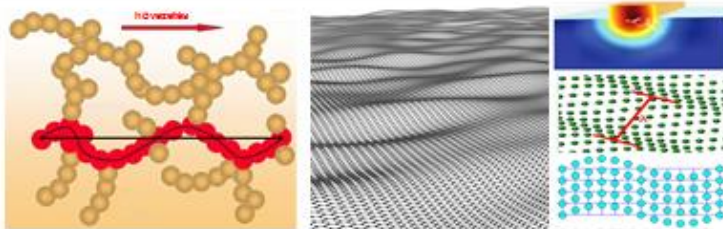
- 1 **Hővezetés:** Részecskéről részecskére, rezgő mozgással adódik át a hő. Dielektrikum anyagokban, rácsrezgéssel történik hővezetés. (rácsrezgési energia kiegyenlítődség, energia kvantumai a fononok)
- 2 **Hőáramlás:** Mozgó anyagrézcskék (folyadék, gáz) közvetítik a hőt. A nanopórusokban nincs a konvekciós hőáramlás. A pórusokban érvényesül a Knudsen effektus ($L > d$).
- 3 **Hősugárzás:** Az elektromágneses sugárzás (kvantumai a fotonok, infravörös). A hősugárzás absorbeálódik és szétszóródik (reflexió).



A hő rácsvezetése (rácsrezgés):

- A molekulák hőközléssel **gerjesztődnek**.
- Hőátadás csak lineárisan, sok a „zsákutca”.
- Növekszik a molekulák rezgésintenzitása „rácsrezgése” és amplitúdója (A) (hő-tágulás).
- Gyengül a molekulák közötti kötőerő (ionos).
- Vegyértékelektronok (e) magasabb energiaszintre kerülnek (foton kibocsátás).

A hővezetés mechanizmusa szilárd anyagban



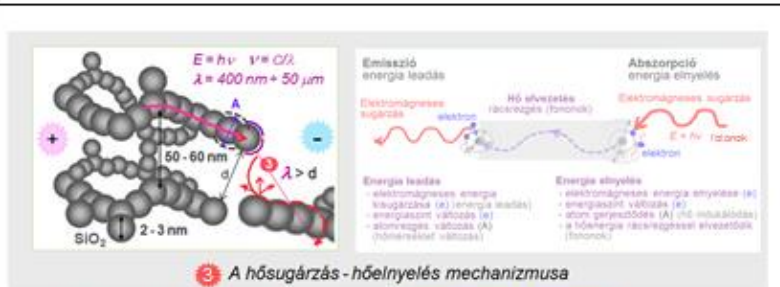
Knudsen effektus

A nanopórusok üregei (d) kisebbek, mint a bennük levő gázmolekulák **utközéséhez szükséges közepes szabad út hossza (L).**

2 **A hőáramlás (konvekzív hőátadás) mechanizmusa**

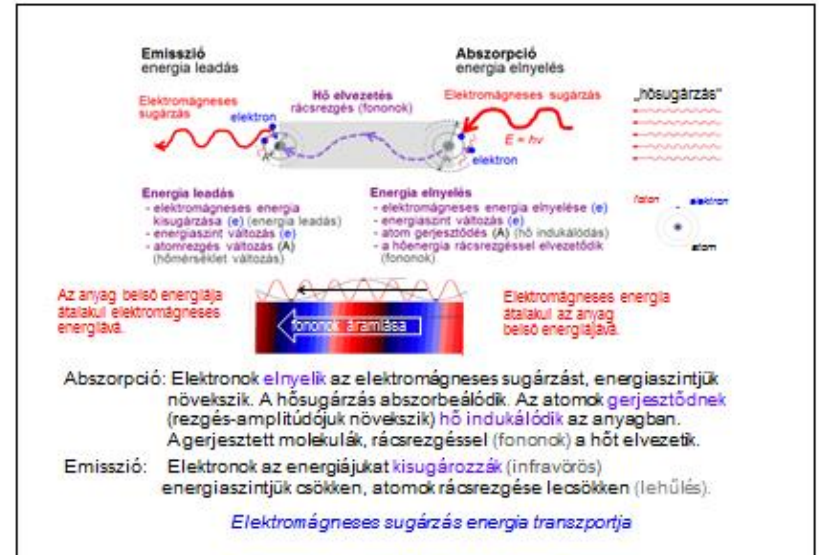
Hőközlési módok a nanopórusos anyagban (hőtranszport folyamatok):

- 1 **Hővezetés:** Részecskéről részecskére, rezgő mozgással adódik át a hő. Dielektrikum anyagokban, rácsrezgéssel történik hővezetés.
- 2 **Hőáramlás:** Mozgó anyagrézcskék (folyadék, gáz) közvetítik a hőt. A nanopórusokban nincs a konvekciós hőáramlás. A pórusokban érvényesül a Knudsen effektus ($L > d$).
- 3 **Hősugárzás:** Az elektromágneses sugárzás (kvantumai a fotonok, infravörös). A hősugárzás absorbeálódik és szétszóródik (reflexió).



Hőközlési módok a nanopórusos anyagban (hőtranszport folyamatok):

- Hővezetés:** Részecskéről részecskére, rezgő mozgással adódik át a hő. Dielektrikum anyagokban, rácsrezgéssel történik hővezetés.
- Hőáramlás:** Mozgó anyagrészecskék (folyadék, gáz) közvetítik a hőt. A nanopórusokban nincs a konvekciós hőáramlás. A pórusokban érvényesül a Knudsen effektus ($L > d$).
- Hőszugárzás:** Az elektromágneses sugárzás (kvantumai a fotonok, infravörös). A hőszugárzás abszorbeálódik és szétszóródik (reflexió).



Aerogél hőszigetelő paplan és tulajdonságai

Aerogélhőszigetelő paplan tulajdonságai:

- üvegszövet térhálóba ágyazott aerogél lemez
- hatékony hőszigetelés $\lambda = 0,013 \text{ W/mK}$
- víztaszító, és páraáteresztő ($\rho_s = 150 \text{ kg/m}^3$)
- hajlítható és vakolható

- Felhasználás:**
- műemléki épületek hőszigetelése
 - hőhidak utólagos szigetelése
 - épületgépészeti szerelvények
 - energia ipar (-40 + 200°C)



Aerogel hőszigetelő paplan építőipari alkalmazása



Nanogel aerogél hőszigetelő üveg alkalmazása

Nanopórusos aerogél hőszigetelő üveg

- SOLERA (üvegpórus) + NANOGEL (aerogél) hőszigetelő, napfényáteresztő épületszerkezeti üvegelem.

Tulajdonságok: - $\lambda = 0,009 - 0,012 \text{ W/mK}$
 - napfényvilágításnál áttetsző
 - könnyű, porozitása 97%

Alkalmazás:

- létesítmények hőszigetelő bevilágítása
- válaszfalak és erkélykorlát elemek



CABOT nanogel aerogel

Nanotechnológiás vákuum hőszigetelés



Vákuumpanel szerkezete

Redőnyök és tetőfödém hőszigetelés

VIP vákuum hőszigetelő panelek:

- Nanoméretű (SiO_2) porból préselt „fenyőfák halmaza” (a nanopórusos szerkezetben kevés a hőátadási pont)
- A pórusok mérete gátolja a hőáramlást és a hőszugárzást.
- A panel vákuumozása (5 mbar belső nyomás).

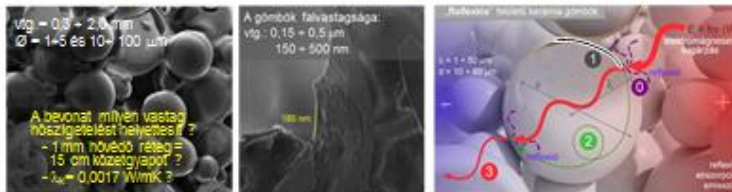
Műszaki adatok:

$\rho_t = 160 \text{ kg/m}^3$ Nyomószilárdság: 200 kPa (lépésálló)
 $\lambda = 0,019 \text{ W/mK} \rightarrow$ vákuumozva: $\lambda = 0,005 \text{ W/mK}$



Alkalmazás: utólagos épület-felújítások, hőhidak, bejárati ajtók, redőnyök alacsony energiafogyasztású ház $U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (5 cm vtg.)

Épületek hővédelme kerámia gömbös vékonybevonattal

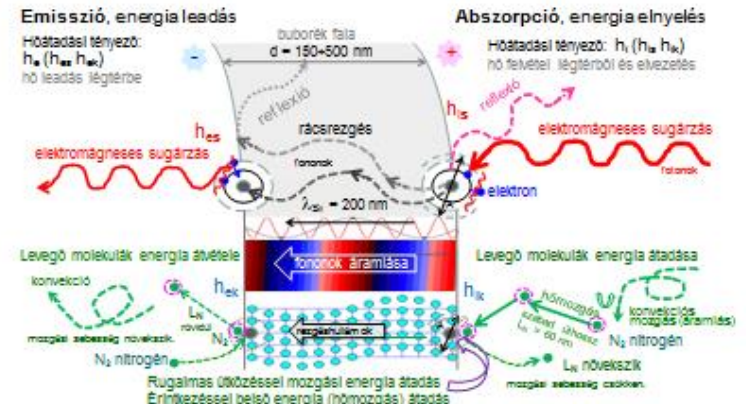


A kerámia „gömbök” szerkezete és hőszigetelési mechanizmusuk

Hőközlési módok a kerámia gömbös bevonatban (hőtranszport folyamatok):

- 0 Az elektrom. „hőszugárzás” reflexiója miatt csökken a hőátadás a gömbfelületen. Félvezett az energia elnyelés (abszorpció) és az energia leadás (emisszió).
- 1 A hővezetést befolyásolja: az anyag dielektikum és kicsi az érintkezési felület. Gömbök falában korlátozott a rácsrezgéses hőszállítás ($\lambda_{\text{rács}} \text{ fonon} \approx \text{vtg}$).
- 2 Minimális a konvekciós hőáramlás, a gömb belsejében (vákuumtér)
- 3 Belső tér sugárzásos hőátadása ($\lambda_{\text{infra}} \approx d$) és csökken a reflexiós felületen.

A hőszigetelő képességet mérséklik a bevonat kötő-, adalék- és színező anyagai.



Abszorpció: elektronok elnyelik az elektromágneses sugárzást, energiaszintjük növekszik. Az atomok gerjesztődnek (rezgés-amplitúdójuk növekszik) hő indukálódik az anyagban. A gerjesztett molekulák, rácsrezgéssel a hőt elvezetik (a gömb, mint fonon csabda $d = \lambda$.)

A hővédő vékonybevonat hőtranszport folyamatai

A hővédő vékonybevonatok tulajdonságai

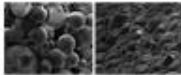
A bevonat **hőszigetelő képessége** nem helyzetfüggő, mint pl. polisztírol $\lambda = \text{const.}$

A bevonathővédelmének (szigetelésének) **hatékonysága** változó:

- a bevonathatékony alkalmazása: $t > 200^\circ\text{C}$ **sugárzásos hő**
- energia megtakarítás nem arányos a **vastagsággal**: 0,25 mm vtg. 20%
2,00 mm 40% ?

A bevonati réteg hőszigetelő képességét (λ_{bevonat}) befolyásolják:

- a hőközlési módja (sugárzásos ill. konvektív hőátadás)
- a felületi réteg anyagszerkezete (telítettség, nanostruktúra)



λ érték meghatározása:

λ_k értékét a modell megnövekedett hőátbocsátási ellenállásából (R_{max}) számolják ki:

$$R_{\text{max}} = R_2 + R_3 + R_4 = 1/h_3 + d/\lambda_k + d/\lambda_k + 1/h_4 \text{ m}^2\text{K/W}$$

modelltől függő $\lambda_{\text{kegyenlítés}}$ = 0,001 + 0,0017 W/mK (névleges érték)

a vékonybevonat $\lambda_{\text{korrekció}}$ = 0,014 W/mK (tényleges érték)

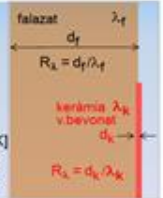


A hővédő vékonybevonat hőtranszport tulajdonságai:

- a bevonathő pajzsként működik (nem hő tükör)
- hővédelmi hatása a légtérrel érintkező felületen hatékony
- a hőátadási tényezők (h , és h_w) eltérnek a normális anyagokétól

Hőátbocsátási tényező:

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \text{ W/m}^2\text{K}$$



R - hőátbocsátási ellenállás (a hőárammal szembeni ellenállás)

$$R = \sum R_i + R_n \text{ m}^2\text{K/W}$$

R_x - hővezetési ellenállás $R_x = d/\lambda$, m²K/W d - rétegvastagság [m]

λ - hővezetési tényező [W/mK]

R_n - hőátadási ellenállás $R_n = 1/h_1$ és $1/h_2$ h_1 - belteri hőátadási tényező h_2 - kültéri hőátadási tényező



$C = 2,1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ (lághő, hő kapacitás)
 $\lambda = 2,25 \text{ W/mK}$
 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$

Érintkezési felületen hőmérsékletkiegyenlítő hatás

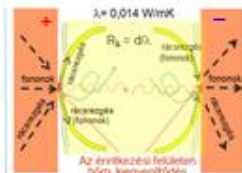
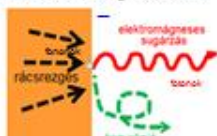


Hővédő kerámia bevonat
 $C = 0,8 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
 $\lambda = 0,014 \text{ W/mK}$
 $\rho = 120 \text{ kg/m}^3$

$C = 2,1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
 $\lambda = 2,25 \text{ W/mK}$
 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$

Belső fafelület $h_1 = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Külső fafelület $h_2 = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$

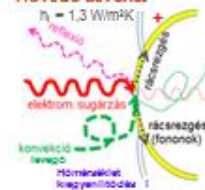


A hőfelvétel és hőleadás folyamata az anyagok felületén

A hő transzport folyamatok a falszerkezet hőszigetelő rétegében

Hővédő bevonat

Külső fafelület $h_2 = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$



A hőfelvétel és hőleadás folyamata a bevonat felületén



A hőátadás illusztrációja

A vékonybevonat hő felvételi-és hő leadási folyamatai

TSM Ceramic Технические характеристики

Наименование характеристики	Единица измерения	Величина	Примечания
Теплопроводность при 20 °С, не более	Вт/м °С	0,001	ГОСТ 1076-87
Теплоемкость (сж. + мж.)	Вт/м³ °С	1,29 - 2,5	ГОСТ 1076-87

У жидких керамических теплоизоляционных покрытий, в том числе и у TSM Ceramic, коэффициенты теплоемкости гораздо ниже приведенных СНиПом 8,7 и 23 единиц.

A szilárd falazat és a levegő közötti hőcsere hő átadásával (hőmérséklet kiegyenlítődéssel) megy végbe, jellemzője a „h” hő átadási tényező. (szilárd - levegő; szilárd - szilárd)

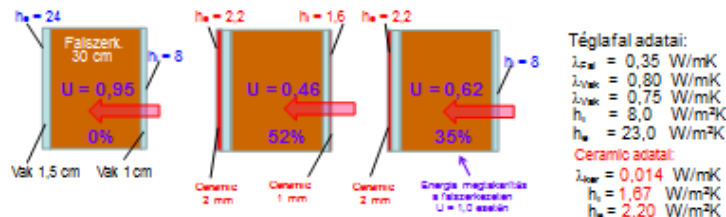
Hőátadási tényező (h_{1k} , h_{1w} ; h_{2k} , h_{2w} ; h_{3k} , h_{3w}) értékeit befolyásolják:

- A falazat anyagának tulajdonságai:
 - az anyag hő kapacitása, fajhője „C” J/kgK
 - az anyag „ λ ” W/mK és sűrűsége „ ρ ” kg/m³
- A áramló közeg (levegő) tulajdonságai:
 - az áramlás jellege és sebessége
 - az áramló közeg tulajdonságai („C” „ λ ” „ ρ ”)
- A falszerkezet felületének anyagstruktúrája:
 - a falazat felületének reflexiós- és abszorpciós tényezői
 - felületi réteg nanostruktúrája és hő transzportja

A „ h_1 ” és „ h_2 ” hőátadási tényezők kimérése folyamatban van.

A hőátadási tényező értelmezése és értékei





Hőátbocsátási tényező: $U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$

$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_{\text{ker}}}{\lambda_{\text{ker}}} + \frac{d_{\text{vak}}}{\lambda_{\text{vak}}} + \frac{d_{\text{br}}}{\lambda_{\text{br}}} + \frac{d_{\text{vak}}}{\lambda_{\text{vak}}} + \frac{d_{\text{ker}}}{\lambda_{\text{ker}}} + \frac{1}{h_e}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$

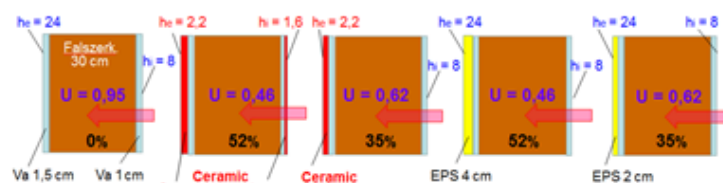
$U = \frac{1}{\frac{1}{1,87} + \frac{0,001}{0,014} + \frac{0,01}{0,75} + \frac{0,3}{0,35} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,002}{0,014} + \frac{1}{2,20}} \text{ [W/m}^2\text{K}] \quad 0,46$

A hőátadási tényezők
 h_i : $h_{\text{konv.}}$ és $h_{\text{szugárz.}}$
 h_e : $h_{\text{konv.}}$ és $h_{\text{szugárz.}}$
 meghatározása???

Eredeti tégla fal:
 $U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$

Hővédelemmel ellátott fal:
 $U = 0,46 \div 0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$

Az energiafelhasználás csökkenésének meghatározása



Alkalmazási területek: - műemléki épületek hőszigetelése és hővédelme
 - belső oldali falak- és hőhidak szigetelése
 - épülethomlokzatok és tetőszerkezetek hővédelme
 - energiaipari vezetékek és berendezések hővédelme



A hővédő vékonybevonatok építőipari alkalmazása

Hőszigetelő festékek és hővédő bevonatok



Thermo Shield „hőpajzs” (hőszigetelő festék) (USA, Német)
 Műszaki adatok: rétegvastagság: kb. 0,3 mm $\lambda = 0,014 \text{ W/mK}$



Protector hőszigetelő festérendszer, bevonat
 Jellemzők: $\lambda = 0,014 \text{ W/mK}$ reflexió: 60- 80%



TSM Ceramic hőszigetelő bevonat (Orosz, Ukrajna)
 Igen hatékonyan szigetelik a sugárzó hőt (35 + 50%)
 Jellemzők: $\lambda_{\text{névleges}} = 0,001-0,0017 \text{ W/mK}$



Thermo-S kerámia hőszigetelő bevonat
 Rétegvastagság: 0,5 + 2,0 mm homlokzatra és betonra.



Super Therm[®] reflexió hőszigetelő festékbevonat
 Jellemzők: a hőszugárzás (Nap) 95%-át visszaveri(?)
 70% energia csökkenés, 0,25 mm vtg. = 15 cm üvegyapot(???)



MahlMart nanotechnológiás hőszigetelő bevonat
 ATSM Ceramic, szigeteli a sugárzó hőt, $C > 200^\circ\text{C}$



MANTI Ceramic nanokerámias hővédő vékonybevonat
 Saját termékfejlesztés, hatékony reflexió, h_i és h_e alkalmazása

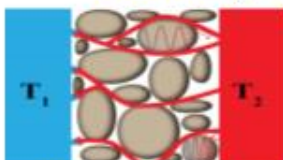
MANTI Ceramic hővédő vékonybevonat termékfejlesztése

- A bevonat kötőanyag igényének csökkentése:
 - frakcionált kerámia gömbök alkalmazása (1+10 és 10+100 μm)
 - nem törékeny alkáli-boroszilikát és alumíniumszilikát kerámia gömbök
- A hővédő bevonat rugalmasságának növelése (nyomástűrő, nem törékeny):
 - gáztöltésű 1+10 μm átmérőjű műanyag gömbök bekeverésével
 - tömör 10 + 600 nm méretű műanyag golyók bekeverése
- Az alkalmazástechnikai tulajdonságok javítása:
 - a bevonat reflexióját javító anyagok adagolása: 300 nm TiO_2 (szuszpenzió)

Hővédő vékonybevonatok alkalmazásának tapasztalatai

- Alkalmazásuk előnye: vékony réteg, anyagfelhasználás, gyorsaság, tűzvédő: A2
 energia megtakarítás kb.: 30 + 50% $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Belsőoldali hővédő réteggént alkalmazva, fékezett a falfelület hőelvezetése (nem hőtükör jelenség!) ezért a falfelület hamar felmelegszik, egyenes hő-elosztást biztosítva a falfelületen. Fékeződik a hőhidak hatása, melynek következtében csökken a páralecsapódás és a penészképződés.
- A hőszigetelt falszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének (U) számítása:
 - meg kell határozni a nanostruktúrájú falfelületek hőátadási tényezőit
 - ki kell egészíteni a WinWatt épületenergetikai program adatbázisát

A nanotechnológiás hőszigetelő festék tulajdonságai (BME)



Hőterjedés a vákuumkerámias hőszigetelő festékanyagban keresztül

A hőterjedés a kerámia gömbös festékben:
A festékanyag, mint egy egybefüggő hőszigetelő réteg.
A hővezetési tényezőben a festékanyag vezetési hőterjedése dominál:

$$\lambda_{eff} = \lambda_{V,kerámia} + \lambda_{V,levegő} + \lambda_{ES(hővezet)} + \lambda_{K(zárk. konv.)}$$

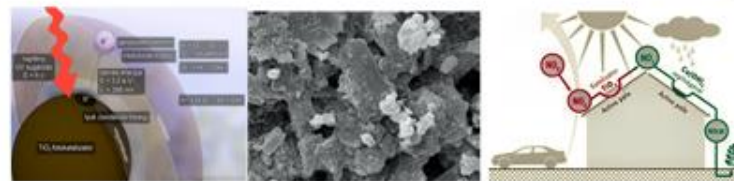
- Nem tájra fel azon törvényszerűségeket, melyek a vákuumgömbökön keresztüli hőterjedésre és azok hőszigetelő képességére vonatkoznak.

A hővédő vékonybevonat hőtranszport tulajdonságai (PTE, Orbán)



Hőközlési módok a kerámia gömbös bevonatban

- 0 A külső gömbfelületen fékezett az energia elnyelés (abszorpció) a „hősugárzás” reflexiója miatt.
 - 1 A hővezetést befolyásolja, hogy a gömbök falában korlátozott a rácsrezgéses hőszállítási $(\lambda_{cs} \approx \gamma_{cs} \approx vT)$. Az anyag dielektrikum és kicsi az érintkezési felület.
 - 2 A gömb belsejében minimális a konvektív hőáramlás.
 - 3 Belső tér sugárzásos hőtáradása $(\lambda_{cs} \approx d)$ oszlik a reflexiós felületen.
 - 4 Megváltozik a bevonat felület hőtáradási tényezője.
- A hőszigetelő képességet mérséklék a kiegészítő anyagok.
- Túlzott jelentőséget tulajdonít a bevonat nanostruktúrájának.



Nanotechnológia környezetvédelmi alkalmazásai öntisztuló beton- és üvegfelületek, épülethomlokzatok



A fotokatalízis reakcióval öntisztuló felületek

A fotokatalízis reakció:

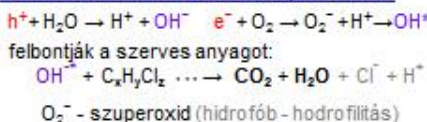
- Az UV sugárzás gerjeszti (aktiválja) a félvezető TiO_2 vegyértékelektronját.
- A gerjesztett vegyértékelektron, magasabb energiaszintű pályára kerül (foto-gerjesztés).
- Elektron (e^-) és lyuk (h^+) párok keletkeznek, redukciós és oxidációs közeget hoznak létre.



TiO_2 fotokatalízis reakciója

A vegyértéksáv és a vezetősáv közötti energia különbség: $E = 3,2 \text{ eV} = h \times c/\lambda$
A fotogerjesztéshez szükséges fény hullám hossza: $\lambda = 388 \text{ nm}$ (Lágy UV sugárzás)

Az oxidációs és redukciós közegek reakciói:

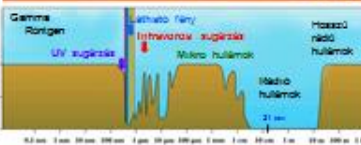
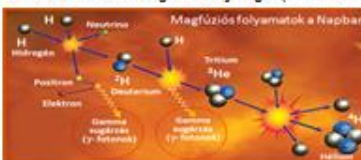


A Nap elektromágneses sugárzása:
Hullám formájában terjed, részecskéi (kvantumai) a fotonok.
A fotonok energiája: $E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda$
A fény hullám hosszától (λ) függ.
 h - Planck állandó ($4,135 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$)
 c - a fény sebessége ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)
 ν - a fényenergia frekvenciája
 λ - a fény hullámhossza
 $E = 3,2 \text{ eV} \rightarrow \lambda = h \cdot c/E = 388 \text{ nm}$

A Nap elektromágneses sugárzása

Az energia, elektromágneses hullám formájában terjed, akkor alakul hőenergiává, amikor egy anyag elnyeli. A sugárzás egysége (kvantuma) a foton.

A Nap magfúziós reakciói: $H + {}^2H \rightarrow {}^3He + \gamma$ fotonok elektromágneses sugárzás $\rightarrow \gamma$ rádióhullám).
Minél kisebb a sugárzás hullámhossza, annál nagyobb az általa hordozott energia mennyisége. ($E = h\nu = hc/\lambda$)



A Föld légkörének elektromágneses-sugárzás átteresztő képessége

Sugárzás	Hatása az anyagra
Rádióhullámok	Nincs hatással az anyagra
Hosszúhullám	
Középhullám	
Rövidhullám	
Ultrarövid hullám	
Mikrohullám	Molekulákat forgatja
Infravörös sugárzás	Elnyelődik atomokat gerjeszt hő indukálódik
Távols infravörös	
Közepes infravörös	
Közel infravörös	
Látható fény	
Vörös	Elnyelődik és reflektálódik kevés hő indukálódik
Narancs	
Sárga	
Zöld	
Kék	
Ibolya	Elektronokat gerjeszt aktiválja fotokémiai hatás
Ultrarövid sugárzás	
Lágy UV	
Kemény UV - A	
UV - B	
XUV	Ionizáló és roncsoló
Röntgen sugárzás	
Gamma sugárzás	

A Nap elektromágneses sugárzásának spektruma és hatása az anyagra

A fotokatalízis reakcióval öntisztuló beton- és üvegfelületek

Fotokatalitikus (TiO₂) cementadagolású betonfelületen OH[•] OH⁻ ionok keletkeznek:

- szennyeződés lebomlik
- a felület öntisztulóvá válik



Öntisztuló betonfelület és épülethomlokzat Richard Meier jubileumi templom Rómában

A TiO₂ bevonatú üvegfelületen fotokatalitikus reakciók: OH[•]; O₂⁻

- OH[•] öntisztulás
- O₂⁻ szuper hidrofilitás
- egyeneses vékony vízréteg
- vízcseppmentes felületet



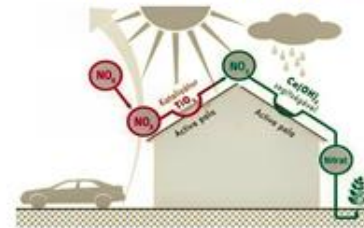
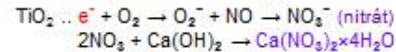
Öntisztuló üvegfelület

Légszennyezettséget csökkentő beton- és síkpadla felületek

Fotokatalitikus TiO₂ tartalmú TioCem cement környezetvédelmi alkalmazása

A légszennyezést okozó nitrogénoxidok NO_x mennyiségét csökkenti a TiO₂ tartalmú cementtel készült betonfelületek.

Nitrátok képződnek → műtrágya



Etemit Activa síkpadlák levegőtisztítása

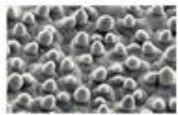


„TioCem” cementtel készült burkolat Pécsi, Kálvária-domb (2012)

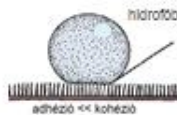
Öntisztuló mikro-strukturált festékfelületek

Lótusz- effektus elvén működő öntisztuló homlokzatvédelem

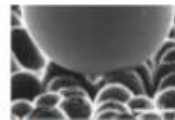
- A felületet nano- és mikroszkopikus cella-kiemelkedések alkotják.
- Fraktált felület hidrofób hatása: vízcseppek a felületi feszültség hatására gömbformát alkotnak, felületről legurulnak



Lótuszlevél struktúrája



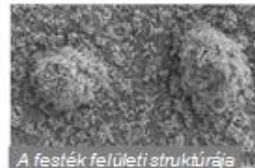
Vízcsepp a fraktált felületen



Szennyeződés eltávolítása

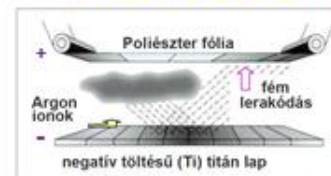
Sto Lotusan, CarboSol homlokzatfesték:

1. Kapcsolódó komponensek „tapadó hid”.
2. Szilikát gyöngyök Ø100 nm.
3. Vékony TiO₂-ot tartalmazó UV védőréteg.
4. Fraktált felületet adó trimetoxi-fenil-szilán a felületből kiálló nanorészecskékkel.

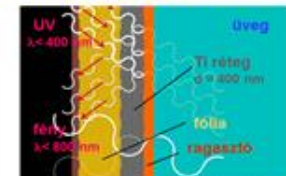


A festék felületi struktúrája

A napfény UV sugárzása ellen védő üvegfóliák



Katódpolarizációs eljárással titán réteg begyűjtése a fóliába



Az UV sugárzás reflexiója a védőfólia titánrétegén

Az UV sugárzást szűrő üvegfólia felépítése:

- A Nap UV- A és B sugárzásának (λ < 400 nm) károsító hatása.
- Ti és Cu atomokat ágyaznak (Sputterezés) a fólia hordozóanyagba.
- A Ti (d = 200-400 nm) rétegen a látható fény (λ > 400 nm) áthatol.
- Szűrőhatás a reflexió árnyékolási elvén alapszik.
- Az UV hullámhossznak megfelelő tartomány reflektálódik „fémkör csapdázódás” a λ < 400 nm tartományban.
- Bruxsafo® sugárzásvédő üvegfóliák, UV sugárzás 99%-át kiszűrik.