

Sugárzás-visszaverő bevonatok laboratóriumi vizsgálata és fejlesztési lehetőségei



Ádám Liliána
építésmérnök-
hallgató

A sugárzás-visszaverő bevonatok egyre inkább előtérbe kerülnek hazánkban is, köszönhetően az épületeink energiatudatos szemléletű tervezésének, felújításának. Jelen cikkünkben a hővisszaverő bevonatok viselkedésének bemutatása után általunk kevert, de akár otthon is előállítható hővisszaverő festékek és vakolatok laboratóriumi vizsgálatával foglalkozunk, melyeket többek között „nanokerámias hővisszaverő festékkel” is összehasonlítunk.

Kulcsszavak: épületfizika, hőszugárzás, hővisszaverő bevonatok

The radiation-reflective coatings are increasingly coming into view in our country, due to the spread of energy conscious design and refurbishment approaches. In this paper, after the presentation of the principles of reflective coatings, a comparative analysis based on laboratory test is shown between our paints and renderings which are easily reproducible at home as well, including a „nanoceramic heat reflective paint” among others.

Keywords: building physics, heat radiation, reflective coatings

Bevezetés

Napjainkban az építészetben egyre fontosabb szerepet kap a fenntarthatóság és a környezetvédelem fogalma. Készleteink, erőforrásaink végesek, így az épületeink kialakításakor szükséges gondolnunk a jövő generációjára is. Tudatos odafigyeléssel energiahatékony épületek tervezésére kell törekednünk.

Az épületek hűtése, fűtése, a belső komfort biztosítása rengeteg energiát emészt fel, melynek csökkentése megfontolt építészeti döntésekkel lehetséges. Világszerte egyre több környezettudatos minősítéssel találkozunk (mint az amerikai LEED, az angol BREEAM vagy akár a német DGNB), melyeket a zöld kialakítások számszerűsítésére hoztak létre, azért, hogy a tervezés és a megvalósítás során is tudatos döntéseket hozhassunk a fenntarthatóság jegyében.

A napsugárzás hatására az épületet határoló felületek és azok mikrokörnyezete nagymértékben fel-

melegedhet. Ez egyrészt jelentős terhelést jelent az épületszerkezeteknek, másrészt a városi hőszigetetés kialakulásához vezethet. A városi hőszigetetés az a jelenség, hogy városi területen a hőmérséklet szignifikánsan – akár 2-3 °C-kal – magasabb, mint a várost környező külvárosi és vidéki területeken. Ennek egyik oka, hogy a város felszínét képző felületek, például a beton, illetve az aszfalt nagymértékben képesek elnyelni és elraktározni a napsugárzást. A jelenség szmog kialakulásához vezethet a nagyvárosokban, hozzájárul az épületeink nyári túlmelegedéséhez, illetve egészségkárosodást is okozhat, ezért fokozottan figyelniünk kell a csökkentésére.

Jelen cikkben az épületek nyári túlmelegedését okozó sugárzással és a felmelegedés kiküszöbölésének vizsgálatával foglalkozunk, melyekhez a felületekre felvihető bevonatokat alkalmazzunk.



Nagy Balázs
okl. szerkezet-
építőmérnök
okl. épületenergetikai
szakmérnök
doktorandusz, BME
Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék



Dr. Nemes Rita
okl. építőmérnök
okl. betontechnológiai
szakmérnök
egyetemi docens,
BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék

Hősugárzás

Ahhoz, hogy a reflexiós bevonatok működését megértsük, tekintsük át a hősugárzás alapjait. Minden nem abszolút zérus hőmérsékletű test elektromágneses sugárzást bocsát ki. A testek hőáramát definiálhatjuk az általa elnyelt és a kibocsátott energia különbségeként. A testnek a rá érkező sugárzással szembeni viselkedését le tudjuk írni három alapvető tulajdonsággal, az abszorpcióval (elnyelőképeség), a reflexióval (visszaverőképeség), valamint a transzmisszióval (átteresztőképeség). A testek sugárzási jellemzőit az ún. fekete testhez viszonyítjuk, mely maximális elnyelő és kibocsátó képességű.

Definiáljuk egy F felület energiasűrűségét, mely a felületegységenkénti sugárzás:

$$E = \frac{d\Phi}{dF} [W/m^2] \quad [1]$$

A felületi energiasűrűség egységnyi hullámhosszúságra eső hányada a sugárzás intenzitása:

$$I_y = \frac{dE}{d\lambda} = \frac{d^2\Phi}{dF d\lambda} [W/m^3] \quad [2]$$

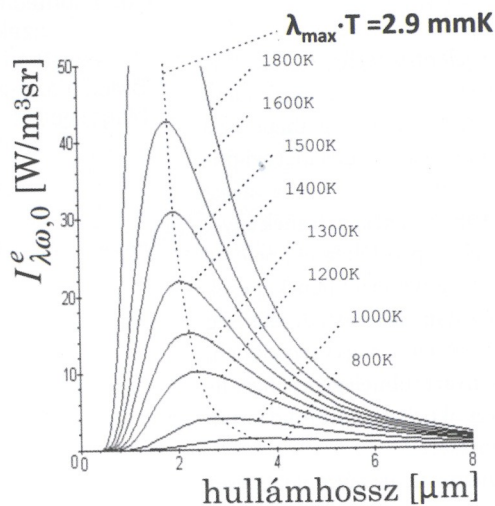
Az egységnyi térszögére vonatkoztatott intenzitás egy adott irányban kisugárzott energia:

$$I_{\lambda,\omega} = \frac{dI_\lambda}{\cos(\varphi)d\omega} \quad [3]$$

Planck törvénye leírja az abszolút fekete test hőmérsékleti sugárzásának hullámhossz szerinti energiaeloszlását. Eszerint az a fekete test által egységnyi térszögére vonatkozó, tetszőleges irányban kibocsátott sugárzási intenzitás:

$$I_{\lambda\omega,0}^e = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{(hc/\lambda T k)} - 1} [W/m^3 sr] \quad [4],$$

ahol c az elektromágneses sugárzás terjedési sebessége ($2,998 \cdot 10^8$ m/s), h a Planck-állandó ($6,625 \cdot 10^{-34}$ Js), k a Boltzmann-állandó ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T az abszolút hőmérséklet kelvinben, λ pedig a sugárzás hullámhossza méterben.



1. ábra: Wien-féle eltolódási törvény

A kibocsátott sugárzás intenzitásának hőmérséklettől való függését a Wien-féle eltolódási törvény definiálja. Wien szerint a görbék maximumhelye (az a hullámhossz, ahol az adott hőmérsékletű fekete test a maximális intenzitású sugárzást produkálja) $\lambda_{max} \cdot T = 2,9$ mmK, minél magasabb hőmérsékletű a sugárzást kibocsátó test, a sugárzási maximum az egyre rövidebb hullámhossz felé tolódik el.

A testek által kibocsátott sugárzás és a fekete test által kibocsátott sugárzás arányát a relatív emissziós képességgel (feketeségi fok) adhatjuk meg:

$$\epsilon_{\lambda\omega} = \frac{I_{\lambda\omega}^e}{I_{\lambda\omega,0}^e} \quad [5],$$

míg az abszorpciós képességet az elnyelt és kibocsátott sugárzás arányával fejezhetjük ki:

$$\alpha_{\lambda\omega} = \frac{I_{\lambda\omega}^a}{I_{\lambda\omega}^i} \quad [6]$$

Az emissziós és abszorpciós képesség közötti kapcsolatot a Kirchoff-törvény írja le, mely szerint a testeknek az adott irányú és hullámhosszúságú sugárzásra vonatkozó abszorpciós és emissziós képessége azonos:

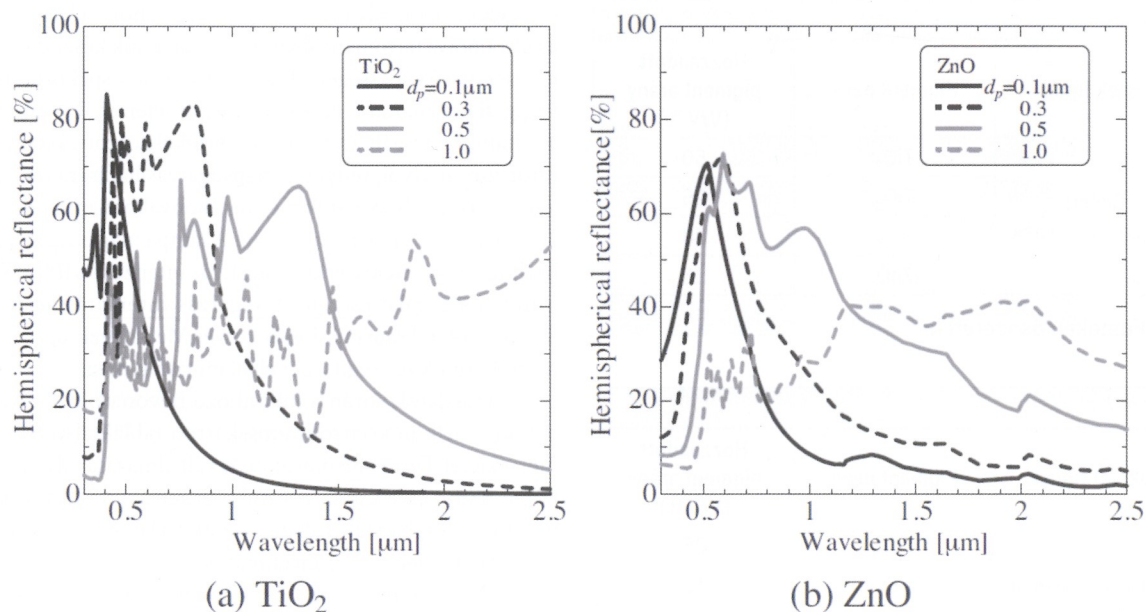
$$\alpha_{\lambda\omega} = \epsilon_{\lambda\omega} \quad [7]$$

Alapvető és egyszerűsített épületfizikai, illetve -energetikai számításoknál alkalmazzuk a Kirchoff-törvényt, egy felület sugárzáselnyelő képességét általában azonosnak tekintjük a sugárzáskibocsátó képességével, és elhanyagoljuk többek között a külső felületre érkező rövid hullámhosszúságú napsugárzást vagy az éjszakai égbolt felé történő kisugárzás hatásait is. Ez a közelítés megfelelő lehet beltéri vizsgálatok esetén.

Abban az esetben, ha a felületek napsugárzás-visszaverő képességét vizsgáljuk, a felületre sugárzó test (Nap) hőmérséklete nagyságrendekkel nagyobb, mint a visszasugárzó testé (vagyis jelen esetben a bevonattal ellátott vizsgált felületé), emiatt a sugárzási tartományuk jelentősen eltérő. A vizsgált felület abszorpciós és reflexiós képességét a napsugárzás spektrális tartományában vesszük figyelembe (azaz rövidhullámú, illetve közeli infra tartományban: 300–2500 nm között), mivel e tartományon érkezik a felületre a sugárzási energia számottevő része. Ezzel szemben a bevonattal ellátott felület emissziós képességét a teljes spektrális tartományon vesszük figyelembe, mert a felület számottevően hosszuhullámú sugárzást bocsát ki.

$$\alpha_{szoláris} \neq \epsilon_{bevonat} \quad [8]$$

Tehát a reflektív bevonatokat gyártó és forgalmazó szakemberek az abszorpciós és emissziós tényezőt eltérő spektrális eloszlási tartomány szerint átlagolják, az épületfizikai számításoknál pedig a napsugárzási spektrumra átlagolt abszorpciós tényező nem feleltethető meg a teljes spektrumra átlagolt emissziós tényezőnek, mivel Kirchoff törvénye szerint az abszorpciós tényezőnek azonos hullámhosszúságúnak kell lennie. Emiatt a cikk további részében a reflexiós és az abszorpciós tényezők alatt szoláris reflexiós, illetve abszorpciós tényezőt kell érteni. Továbbá az előbbieken bemutatott különbsétek miatt is kerülni kell tehát az egyszerűsített számításokat (pl. MSZ EN ISO 6946:2008 szerinti



2. ábra: TiO₂ és ZnO reflexiós képessége a hullámhossz függvényében különböző szemcseméret esetén [forrás: Kinoshita & Yoshita 2015]

felületi ellenállások, hőátadási tényezők alkalmazása), amennyiben sugárzás-visszaverő bevonatokkal dolgozunk, mert az egyszerűsített értékek és összefüggések az említett elhanyagolásokkal lettek meghatározva.

Sugárzás-visszaverő bevonatok

A bevezetőben leírtak alapján láthatjuk, hogy a reflexiós bevonatok (pl. Cool Paints) alkalmazása igen fontos lehet napjaink építészetében. A bevonatokat jelenleg elsősorban homlokzatokon és tetőfelületeken alkalmazzák, ahol napsugárzás hatására a kezeletlen felületek akár 60–70 °C-ra is felmelegedhetnek.

A sugárzás-visszaverő bevonatok kétféle módon csökkentik mind az épületszerkezetek, mind pedig mikroörményzetük hőterhelését. Egyrészt visszaverik a felületre érkező rövidhullámú sugárzás jelentősebb (és a hosszuhullámú sugárzás csekély) részét, másrészt kisugározzák a felület által elnyelt hőt, többségében hosszuhullámú infravörös (IR) sugárzás formájában. A bevonatok többsége tehát jellemzően magas reflexiós és emissziós képességgel rendelkezik, ezzel szemben abszorpciós tényezőjük rendkívül alacsony.

A kültéri festékek többsége például 0,9 körüli értékű emissziós tényezővel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy 90%-át sugározzák ki infravörös sugárzás formájában annak az energiának, amit egy azonos hőmérsékletű fekete test sugározna ki. A reflektív bevonatok esetén az abszorpciós tényező emellett 0,1–0,25 közötti érték szokott lenni fehér színű, illetve kifejezetten napsugárzást visszaverő festékeknél, ebből következően e festékek és bevonatok reflexiós tényezője 0,75–0,9 közötti érték.

A reflexiós bevonatok többsége fehér színű, mivel a fehér szín a látható fény tartományában általában jól veri vissza a sugárzást, de léteznek színes bevonatok is, és jelenleg is folynak kutatások a színes hővisszaverő bevonatok fejlesztése, hatékonyabbá tétele terén. A megfelelő sugárzás-visszaverő tulajdonság érdekében a hozzáadott pigmentek között leggyakoribb és legkönnyebben beszerezhető a titán-dioxid, a cink-oxid, illetve az alumínium-oxid. A kutatásunk során a jelenleg hazánkban forgalmazott néhány hővisszaverő be-

vonat vizsgálatán túl alternatívákat kerestünk reflexiós bevonatok előállításához, melyeket a gyári termékekkel is összehasonlítottunk.

A bevonatok megalkotása

A bevonatok keverése az BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Épületfizika Laboratóriumában, szabályozott körülmények között történt. Kétféle alapanyaggal dolgoztunk, annak érdekében, hogy a vizsgálatot többféle megközelítésből is elvégezhessük. Az egyik alapanyag egy beltéri disperziós festék, míg a másik egy kültéri alapvakolat volt.

A hozzáadott pigmentek 0,1–1,0 μm-es szemcseméretű titán-dioxid és a cink-oxid voltak, melyek szemnagyságtól függő reflexiós képességét a hullámhossz függvényében a 2. ábra szemlélteti. A titán-dioxid a leggyakrabban alkalmazott fehér pigment, a látható fény tartományában rendkívül jól veri vissza a sugárzást. Fotokatalikus tulajdonsága miatt is kedvelt az alkalmazása, például az öntisztuló homlokzatok is titán-dioxid felhasználásával készülnek. A cink-oxid szintén fehér színű pigment, mely főként az UV tartományban veri vissza igen jól a sugárzást, a látható fény tartományában a képessége elmarad a titán-dioxidétól. Emiatt a napvédő krémek készítésekor alkalmazzák, de kedvelt baktériumölő, fertőtlenítő hatása miatt is.

A keverési arányokat előre megterveztük, a bevonatok keverését kizárólag kézi eszközökkel végeztük el. A keverékek összetételét az 1. és 2. táblázat tartalmazza.

A keverés során azt tapasztaltuk, hogy a titán-dioxid-szemcsék könnyebben elkeveredtek, azonban érdes, egyenetlen felületet adtak a felvitt felületen. Ezzel szemben a cink-oxid hozzákeverése az alapanyagokhoz tovább tartott, viszont a végső felület sokkal homogénebb lett. A festett, illetve vakolt felület minősége, érdessége befolyásolhatja a felület konvektív hőátadási ellenállását is, valamint a sugárzással szembeni tulajdonságokat is. Szintén érdekes észrevétel, hogy a vakolatoknál a kevesebb titán-dioxidot tartalmazó receptúra fehérebb színű lett, mint a pigmentet nagyobb arányban tartalmazó keverék, azaz egy határon túl több titán-dioxid adagolása nem fehéritette tovább a bevonatot.

FESTÉKEK ÖSSZETÉTELE

	Festék típusa	Pigment neve	Hozzáadott pigment arány (V/V %)
1.	Beltéri diszperziós festék	TiO ₂	50
2.		TiO ₂	25
3.		ZnO	50
4.		ZnO	25

1. táblázat: Festékek összetétele

VAKOLATOK ÖSSZETÉTELE

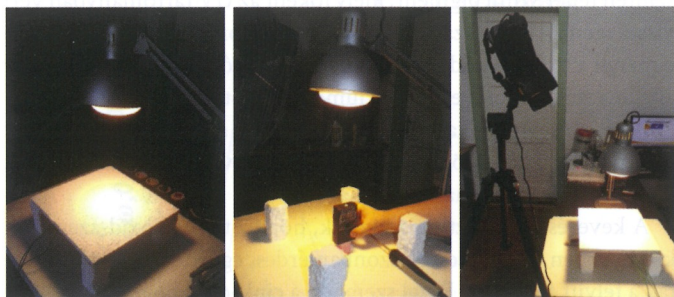
	Vakolat típusa	Pigment neve	Hozzáadott pigment arány (V/V %)
1.	Kültéri alapvakolat	TiO ₂	25
2.		TiO ₂	15
3.		TiO ₂ + ZnO	15+15

2. táblázat: Vakolatok összetétele

A referenciaként vizsgált gyári termékeket az alapot jelentő beltéri festék, valamint a kültéri alapvakolat, továbbá „nanokeramiás hővisszaverő festék” jelentették. A kutatás keretében vizsgált nanokeramiás festéket a forgalmazója kültéri és beltéri alkalmazásra is ajánlja, minden felületen alkalmazható és hihetetlen hőszigetelő, valamint hővisszaverő képességeket ígér.

Laborvizsgálatok

A laboratóriumi mérések során a bevonatokkal 30 cm × 30 cm méretű, 9 mm vastagságú (azonos táblából származó) gipszkarton táblákat festettünk, illetve vakoltunk be, melyeken a vizsgálatokat az előírt száradási idők után végeztük el. A festékek felhordása egységesen két rétegben, míg a vakolatoké egy rétegben történt. A laboratóriumi vizsgálatokat három különböző alkalommal végeztük el. Az első alkalommal gyári termékeket vizsgáltunk, a másik két alkalommal pedig saját készítésű festékeket, illetve vakolatokat mértünk meg. Továbbá minden alkalommal visszamértünk az első mérés eredményeire.



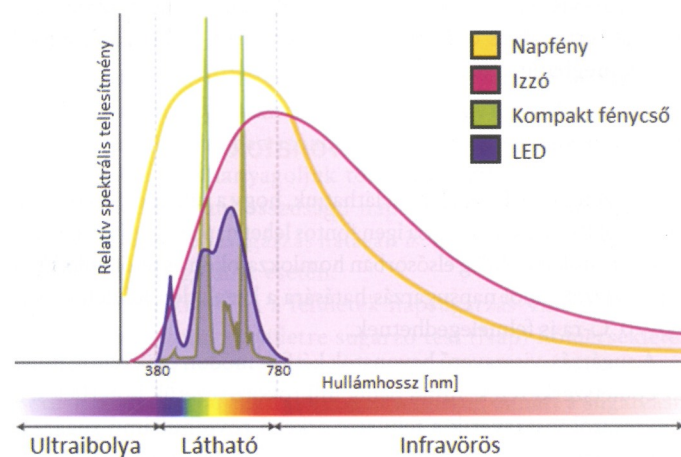
3. ábra: Vizsgált festékekkel bevont gipszkarton táblák felső oldaláról készített hőképek és az egyes felületek maximális felmelegedése

A bevont gipszkarton táblák felületét a felettük elhelyezett izzószál infrareflekttal világítottuk meg. A 4. ábrán látható, hogy az alkalmazott izzólámpa által kibocsátott sugárzás spektrális eloszlása közelíti a napsugárzás spektrális eloszlását a rendelkezésre álló lehe-

tőségek közül. Leolvasható azonban az is, hogy a látható fény, illetve az ultraibolya tartományában, ahol az általunk készített bevonatoktól jó visszaverő képességet lehet várni, a relatív spektrális teljesítmény végig alatta marad a napsugárzás görbéjének. Ez azt jelenti, hogy az általunk vizsgált átmelegedési értékek közötti különbség a laboratóriumon kívül, tényleges napsugárzás hatására még jelentősebb lenne, vagyis a bevonatok még hatékonyabban működnek, mint a laboratóriumi vizsgálatok során. A lámpa magasságát úgy állítottuk be, hogy a felületekre érkező sugárzás intenzitása 1000 W/m² legyen minden vizsgálat esetén. A sugárzás intenzitásmértékét EDTM SP2065 Solar Transmission & Power Meter kézi sugárzásintenzitásmérő berendezés segítségével állapítottuk meg.

A vizsgálatok során a különböző bevonatokkal ellátott (illetve bevonat nélküli kontroll) gipszkarton táblák alsó felületének hőmérsékletét Testo 635 mérőműszer alkalmazásával és három felületi hőmérséklet-érzékelő szenzorral rögzítettük. Az adatgyűjtővel monitoroztuk továbbá a tábla alatti, valamint a labor levegő-hőmérsékletét és relatív légnedvesség-tartalmát is.

Emellett a 3. ábrán látható módon rögzített és azonos pozícióból Testo 885 hőkamerával fényképeket készítettünk a tábla felső oldaláról. A felső, sugárzásnak kitett oldalon továbbá Testo 905-T2 keresztaszal hőelemes felületi hőmérsékletmérővel is végeztünk felületi hőmérsékletméréseket, melyek segítségével a hőfényképek szükséges emisszióstényező-beállítását végeztük el. A méréseket az alsó felület hőmérsékletének állandósulásáig folytattuk.

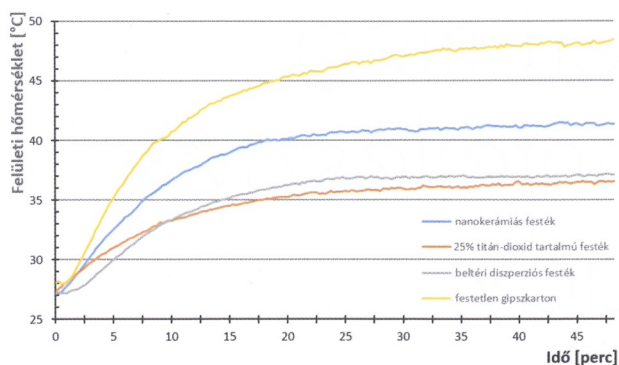


4. ábra: Világítótestek relatív spektrális teljesítménye hullámhossz függvényében

Eredmények

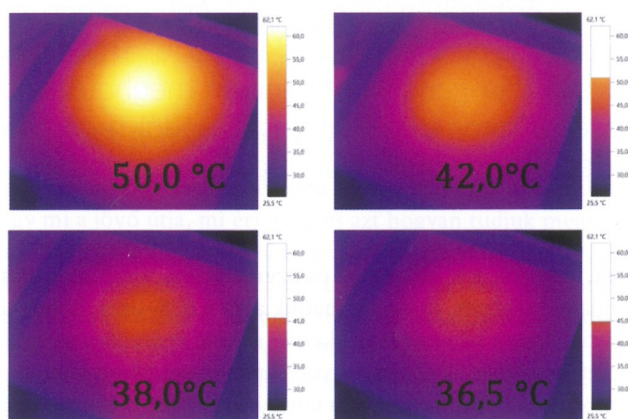
Az 5. ábra négy kiválasztott festék alsó oldali felmelegedését mutatja egymáshoz viszonyítva. A grafikonról leolvasható, hogy melyik festékekkel bevont gipszkarton lap milyen mértékben melegedett át, valamint összehasonlítható az átmelegedési görbék meredeksége is, mely az átmelegedés intenzitását mutatja. A vizsgálatok alapján kimutatható, hogy az általunk vizsgált nanokeramiás festék nemcsak jobban átmelegedett, de a felmelegedés intenzitása jelentősebb volt, mint a diszperziós festék vagy a titán-dioxid-tartalmú festék esetében.

A 25% hozzáadott titán-dioxid-tartalmú festékekkel kezelt gipszkarton tábla kevésbé melegedett át, mint a diszperziós festékekkel bevont, vagyis az alapanyag reflexiós képességét a hozzáadott adalékkal kis mértékben tovább tudtuk növelni. Ez azt jelenti, hogy lehetséges egy alapfesték hőszigeteléssel szembeni viselkedésén hozzáadott részecskékkel javítani.



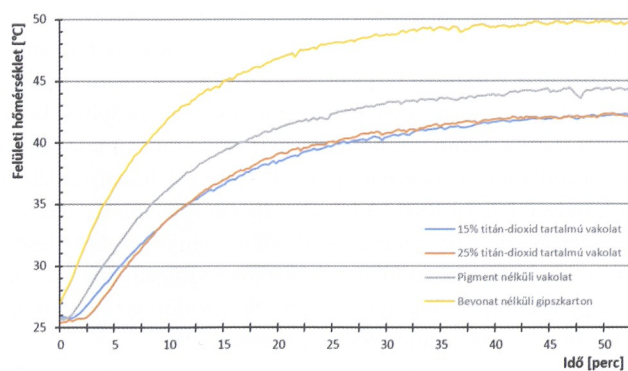
5. ábra: Vizsgált festékekkel bevont gipszkarton táblák alsó felületének felmelegedése az idő függvényében

A 6. ábrán látható hőképeken a felületek sugárzásnak kitett felső oldalának felületihőmérséklet-eloszlása látható állandósult állapotban, a hozzájuk tartozó alsó felületi hőmérsékletérték feltüntetésével.

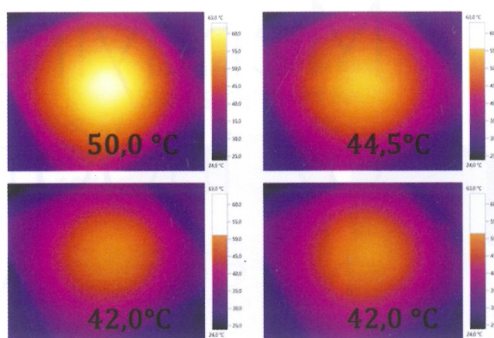


6. ábra: Vizsgált festékekkel bevont gipszkarton táblák felső oldaláról készített hőképek és az egyes felületek maximális felmelegedése

A 7. ábra négy vizsgált vakolat alsó oldali felmelegedését hasonlítja össze. Megfigyelhető, hogy míg a két hozzáadott pigmenttel kevert vakolat felmelegedése nagyjából azonos, addig az alapvakolathoz képest igen jelentős különbséget mutatnak, tehát a hozzáadott pigmentekkel valóban sikerült növelnünk a reflexiót. Megjegyzendő, hogy az 5. és 6. ábrákon bemutatott nanokerámias bevonattal hasonló átmelegedési érték érhető el, mint az általunk létrehozott hozzáadott pigmenteket tartalmazó alapvakolattal.



7. ábra: Vizsgált vakolatokkal bevont gipszkarton táblák alsó felületének felmelegedése az idő függvényében



8. ábra: Vizsgált vakolatokkal bevont gipszkarton táblák felső oldaláról készített hőképek és az egyes felületek maximális felmelegedése

A 8. ábrán található hőfényképeken csakúgy, mint a festékek esetében, a bevont gipszkarton lapok felső oldali felmelegedése látható, a hozzájuk tartozó alsó felületi hőmérsékletérték feltüntetésével.

Összefoglalás

Kutatásunk a hővisszaverő bevonatok készítésének egyszerű lehetőségeivel, valamint a bevonatok vizsgálatával foglalkozott. Ezek a bevonatok ma az építészetben egyre nagyobb jelentőséget kapnak, főként a globális felmelegedés és a városi hőszigetetés miatt. Célunk olyan, otthoni környezetben is könnyen előállítható bevonatok készítése volt, melyek sugárzás-visszaverő képességükkel valóban csökkenthetik a felületek hőterhelését. A laboratóriumi mérések során az egyedileg kevert festékekkel kisebb átmelegedést sikerült elérnünk, mint a kontrollbevonatok vagy a vizsgált nanokerámias festék esetében, vagyis azoknál kedvezőbb reflexiós képességgel rendelkező festékeket hoztunk létre, míg a hozzáadott pigmentekkel kevert vakolatokkal ugyanolyan mértékű átmelegedést értünk el, mint a nanokerámias festék esetében.

Mivel a bevonatok keverése és a pigmentek adagolása kézi eszközökkel történt, a mért értékek kísérleti jellegűek. Precíz ipari technológiával előállítva a bevonatokat az általunk mért értékeknél akár kedvezőbben is alakulhatnak.

Végezetül fontos megemlíteni, hogy az általunk előállított (és bárki által könnyedén házilag is előállítható) festékek és vakolatok legnagyobb előnye a gazdaságosságukban rejlik. Egy sajátkeverésű bevonat előállítása ugyanis nagyságrendekkel lehet gazdaságosabb, mint egy nanokerámias festék. Az általunk készített bevonatokból 1 liter átlagosan 1000–1200 Ft-ból elkészíthető, míg ugyanennyi mennyiségű nanokerámias festék 4000–5000 Ft-ba kerül.

Irodalomjegyzék

- [1] Ádám Liliána (2015): *Hővisszaverő bevonatok laboratóriumi vizsgálata*, TDK dolgozat, BME Építőmérnöki Kar
- [2] Diana Dias, João Machado, Vítor Leal, Adélio Mendes (2014): *Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building*. Applied Thermal Engineering 65
- [3] Kinoshita, Shinichi, Yoshida, Atsumasa (2015): *Investigating performance prediction and optimization of spectral solar reflectance of cool painted layer*. Energy and Buildings Online
- [4] Nagy Balázs (2014): *Épületfizika és -kémia 3. előadás: Benapozás, Hősugárzás*. BME Építőmérnöki Kar
- [5] Synnefa, M. Santamouris, K. Apostolakis (2007): *On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment*, Solar Energy 81

Lektorált szakmai cikk.