

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Dr. Dobszay Gergely
e-mail címe³: gdobszay@epsz.bme.hu

Téma címe: **Átszellőtetés nélküli homlokzatburkolatok saját síkjában
lejátszódó higrotermikus folyamatok hatása a szerkezetek
teljesítményére illetve tartósságára**

A téma rövid leírása⁴:

A többrétegű, többhéjú külső térelhatároló szerkezetek saját síkjában lejátszódó folyamatok ismerete éppúgy elengedhetetlen, mint a szerkezetre merőleges irányú (külső-belső tér közötti) folyamatok, ezek nélkül a szerkezetek tartóssága nem garantálható. Amíg az utóbbi téma alaposan kutatott, az oktatásban és a szabályozásban is erőteljesen megjelenik, addig a homlokzat saját síkjában való működése sokkal kevésbé, pedig ennek vizsgálata a mai épületszerkezettan egyik legérdekesebb területe.

A korszerű homlokzati rétegrendek jellemzően nem homogén, nem is felületfolytonos szerkezetek. **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** A felület egyes részeit érő eltérő hatások miatt kialakuló különbségek a rétegekben, réteghatárokon kialakuló áramlásokhoz, illetve többlet feszültségekhez vezetnek. A többhéjú, átszellőtetett homlokzatok légrésének működése elég jól publikált. Újabb kutatások foglalkoznak a zöldhomlokzatok hátrésében kialakuló áramlásoknak a hőszigetelő képességre, hűtési energigényre gyakorolt hatásával is, illetve árnyékolási teljesítményével a belső téri komfort szempontjából. A publikációk a trendeknek megfelelően az energetikai szempontokat helyezik fókuszba.

A többrétegű homlokzatok nem minden esetben átszellőtettek. Még a zárt légrésekben is megindulnak áramlások, melyek megítélése jellemzően csak numerikus modellezésen alapuló, ám kísérletekkel validált egyszerűsítő-közelítő számításokkal lehetséges. A légrés nyitásának-zárásának szabályozásával "intelligens" homlokzatok alakíthatók ki, az eltérő téli nyári igényekre válaszolva.

A nem átszellőtetett szerkezetek tipikus példája a "burkolt tetők" jellemző, tipikusan korlátozott átszellőzésű légréses vagy légrés nélküli rétegrendjei. A burkolt tetők fugarendszerén bejutó nedvesség laterális áramlása, annak gőznyomásként való megjelenése, eltávozása, stb. olyan

¹ Az adatlapot egy példányban kinyomtatva és aláírva a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, elektronikus változatban pedig a Doktori Iskola titkárának (Kóródy Anna, korody@eik.bme.hu) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola (<http://www.szt.bme.hu/index.php/oktatás/csonka-pál-doktori-iskola>), a témahirdetés rövid leírása pedig az Országos Doktori Tanács (<http://www.doktori.hu/>) honlapjára.

² A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

³ Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

⁴ A téma rövid leírása (szóközökkel) 1000-3000 leütés hosszú. A jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatot, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) kérjük a mellékletben megadni.

komplex igénybevételek, amelyek az egyes megoldások tartóssága, betervezhetősége szempontjából döntőnek bizonyulhatnak.

A mai építészet másik aktuális problémaköre a ragasztott homlokzatburkolatok kérdése. Erőteljes igény mutatkozik a vakolt hőszigetelő rendszerek alternatívájaként, közvetlenül hőszigetelésre ragasztott kerámia vagy kőlap burkolatok iránt. Mégis a megvalósult épületek száma csekély, mivel az ilyen rétegrendek tervezési szabályai, fizikai tartalmának kutatása, tönkremenetelének okainak feltárása, megelőzése terén hiányok tapasztalhatók. Kellő vizsgálatok, irányelvek hiányában nemigen tervezhető, a megvalósult csekélyszámú példa esetében rendre súlyos problémák adódnak (burkolat leválás, kifagyás, kivirágzás).

A többretegű szerkezetben fellépő laterális vándorlások komplex, instacioner HAM (heat-, air, and moisture) modellezéssel számíthatók, a szükséges anyagtulajdonságok sokszor hiányoznak a gyártmányok adatszolgáltatásaiból. A fellelhető tudományos eredmények nem elégségesek, nincsenek még adaptálva a burkolt homlokzatok mélyebb rétegeiben létrejövő áramlásokra.

A kutatás módszertana, a jelölt feladatai a mellékletben vannak részletezve.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- [1] S. Himburg: Keramische Bekleidungen auf Wärmedämmverbundsystemen und massiven Untergründen (Forschungsvorhaben Nr. 336345, TU Berlin, 1998)
- [2] A. Zöllner et al.: Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double-skin-façades (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 45, Issue 22, October 2002, Pages 4401–4408)
- [3] F.P. López et al.: Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade (Building and Environment, Volume 56, October 2012, Pages 265–275)
- [4] I. Guillén et al: Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype (Energy and Buildings, Volume 79, August 2014, Pages 184–190)
- [5] F. Kuznik et al: Numerical modelling of combined heat transfers in a double skin façade – Full-scale laboratory experiment validation, (Applied Thermal Engineering, Volume 31, Issues 14–15, October 2011, Pages 3043-3054)
- [6] S. Himburg: Entwicklung eines mathematischen Modells zur Standsicherheit von Wärmedämmverbundsystemen mit keramischen Bekleidungen sowie Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit. (9755. sz. kutatási jelentés, készült a Német Ipari Minisztérium megbízásából, a Német Kerámia szövetség számára, 1998)
- [7] H. Künzl et al.: Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 40, Issue 1, October 1996, Pages 159–167)
- [8] S. Gnoth et al.: Aero - hygrothermisches Verhalten von Umfassungskonstruktionen mit Hohlräumen (Bauphysik, 30. Jahrgang, Dez. 2008, Heft 6, S. 380-388)

⁵ Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, amik között feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

International Journal of Heat and Mass Transfer

Energy and Buildings

Building and Environment

Bauphysik

Építéstechnika

Applied Thermal Engineering

A **témavezető** fenti folyóiratokban megjelent 5 közleménye:

1. Bakonyi Dániel, Dobszay Gergely: Simulation aided optimization of a historic window's refurbishment, ENERGY AND BUILDINGS 126: pp. 51-69. (2016)
2. Tamási Alexandra, Dobszay Gergely: Zöldhomlokzatok Magyarországon - 2014, MAGYAR ÉPÍTÉSTECHNIKA y2014: Paper B11. (2014)
3. Dobszay Gergely, Bakonyi Dániel: Vékonyvakolatos hőszigetelő vakolatrendszerek páratechnikai viselkedése, Magyar Építéstechnika, 2016. június

A **témavezető** utóbbi tíz évben megjelent 5 legfontosabb publikációja:

- Bakonyi Dániel, Dobszay Gergely: Simulation aided optimization of a historic window's refurbishment, ENERGY AND BUILDINGS 126: 51-69, 2016,
- Bakonyi Daniel, Dobszay Gergely: A proposed methodology for the improvement of the simplified calculation of thermal bridges for well typified facades, PERIOD POLYTECH CIV ENG 58: (4) 309-318, 2014,
- Dobszay Gergely: Building construction problems for "covered roofs", PERIOD POLYTECH CIV ENG 53: (1) 43-52, 2009,
- Dobszay Gergely: BUILDING CONSTRUCTIONS OF STONE CLADDED ROOFS IN CONTEMPORARY ARCHITECTURE, FACTA UNIV SER ARCHITECT CIV ENG 9: (1) 35-56, 2011
- Bakonyi Dániel, Dobszay Gergely: Thermal models for box type windows - Part 1, PERIOD POLYTECH ARCHITECT 47: (1) 14-29, 2016

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:

(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)

- Tamási Alexandra, folyamatban

Melléklet: a téma bővebb leírása

Budapest, 2017 február 28.

Témavezető aláírása

⁶ Minimum 5, maximum 10 folyóirat megadását kérjük, melyek között feltétlenül szerepelnie kell a PhD fokozatszerzés szempontjából elengedhetetlen (Scopus és/vagy Sci illetve Iconda minősítésű idegen nyelvű folyóiratoknak is. Kérjük, ezeket a periodikákat a felsorolásban jelöljék meg.

⁷ Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta.

Melléklet

az

"Átszellőztetés nélküli homlokzatburkolatok saját síkjában lejátszódó folyamatok hatása a szerkezetek teljesítményére illetve tartósságára"

- című PhD témahirdetéshez

A **téma** részletezése:

A többrétegű (multilayer, mehrshalige), többhjú (multi-skin, doppelfassade) külső térelhatároló szerkezetek saját síkjában lejátszódó folyamatok ismerete ugyanúgy elengedhetetlen feltétele a megfelelő tervezésnek, mint a szerkezetre merőleges irányú (külső-belső tér közötti) folyamatok. Amíg az utóbbi téma alaposan kutatott, a graduális oktatásban és a szabályozásban is erőteljesen megjelenik (elsősorban a hőtechnikai vonatkozásokban), addig a homlokzat saját síkjában való működése sokkal kevésbé, pedig ennek vizsgálata (és modellezése) az épületszerkezettan pillanatnyilag egyik legérdekesebb területe.

A korszerű homlokzati rétegrendek nem homogén szerkezetek, nem is felületfolytonosak (hézagok, rögzítések, nyílászárók szakítják meg). Az egyes rétegek anyagtulajdonságai mellett ezek a "hibák" határozzák meg a szerkezet teljesítményét, figyelembe vételük tehát kötelező [1]. Ezen kívül a felület egyes részeit érő eltérő hatások (csapóeső, nedvesség bejutása a szerkezetbe, részleges napsütés vagy félárnyék, stb.) miatt kialakuló különbségek a szerkezet síkjában, pontosabban rétegeiben, réteghatárain kialakuló (általában gátolt) áramlásokhoz, illetve többlet feszültségekhez vezetnek [2] [3]. Mindezek ismerete nélkül a szerkezetek tartóssága nem garantálható.

A többhjú, átszellőztetett homlokzatok légrésének működése elég jól publikált. Több cikk szól az opaque burkolatok mögötti légáramot befolyásoló különböző tényezők számításba vételéről (légrés mérete, magassága, be- és kiszellőző légrés, a burkolat fugarendszere, a homlokzat tájolása, a napsugárzás és a szél hatása, a fugarendszeren átjutó víz mennyisége, stb.) [4] [5] [6]. Hasonlóan jól dokumentált a transzparens többhjú szerkezetek (klímahomlokzatok) viselkedése, teljesítménye. Újabb kutatások foglalkoznak a zöldhomlokzatok hátrésében kialakuló áramlásoknak a hőszigetelő képességet, hűtési energiaigényt befolyásoló hatásával [7], illetve a zöldhomlokzat árnyékolási teljesítményével a belső téri komfort szempontjából. Jellemző, hogy a publikációk a mai trendeknek megfelelően elsősorban az energetikai szempontokat helyezik fókuszba.

A többhjú homlokzatok nem minden esetben átszellőztettek. Érdekes, hogy a korlátozottan átszellőző légrés hőszigetelő hatásának figyelembe vételére már a korábbi hazai MSZ szabályozás is lehetőséget adott. Emellett még a teljesen zárt légrésekben is megindulnak áramlások, melyek megítélésére jellemzően csak numerikus modellezésen alapuló, ám kísérletekkel validált egyszerűsítő-közelítő számításokkal lehetséges [8].

A légrés nyitásának-zárásának szabályozásával "intelligens" homlokzatok alakíthatók, az eltérő téli nyári igényekre válaszolva [9].

A PhD értekezésemben definiált burkolt tetők jellemző megoldásai a korlátozott átszellőzésű légréses vagy légrés nélküli rétegrendek, melyeket "másfélhájú" szerkezetként aposztrofáltam, a hazai általánosan elfogadott terminológia szerinti egyhájú, melegtetők és kéthájú hidegtetők kategóriái közötti átmenetként. A burkolt tetők fugarendszerén bejutó nedvesség laterális áramlása, annak gőznyomásként való megjelenése, eltávozása, stb. olyan komplex igénybevételek, amelyek az egyes megoldások tartóssága, betervezhetősége szempontjából döntőnek bizonyulhatnak.

Ide tartozó aktuális problémakör a mai építészetben a ragasztott homlokzatburkolatok kérdése. Mint ismeretes, a könnyű burkolatok (kerámia, nagytáblás építőlemezek, stb.) előnyei mellett (átszellőzés, nyári hőcsillapítás, csapóeső elleni "köpeny", stb) ezek tartóváza (általában alumínium) olyan ismétlődő hőhidat jelent, amely jelentősen rontja le a homlokzati szakasz átlagos hőátbocsátási képességét. Emiatt, valamint az egyszerűbb és olcsóbb építés érdekében erőteljes igény mutatkozik a vakolt hőszigetelő rendszerek (VHR, ETICS) alternatívájaként, közvetlenül hőszigetelésre ragasztott burkolatok iránt. A szerelt burkolatok rögzítési rendszerének és fugarendszerének geometriai kötöttsége helyett a ragasztott burkolat és a zárt fugás megjelenés építészetiileg sokkal nagyobb szabadságot nyújt. Mégis a megvalósult épületek száma csekély, mivel az ilyen rétegrendek tervezési szabályai, fizikai tartalmának kutatása, tönkremenetelének okainak feltárása, megelőzése terén hiányok tapasztalhatók. Kellő vizsgálatok, szabványok, irányelvek hiányában miatt nemigen tervezhető, a szakemberek igyekeznek távol tartani magukat ettől a szerkezeti variánstól, és a megvalósult (csekélyszámú) példa esetében rendre súlyos problémák adódnak (burkolat leválás, kifagyás, kivirágzás) [10]

A ragasztott burkolatok témakörében meg kell említeni Himburg kutatási jelentéseit [11] [12], mely laborvizsgálatokra alapozva a tönkremenetel szempontjából legfontosabbnak minősülő tényezőknél a hátszerkezet rugalmas alakváltozását (kúszás, zsugorodás), a szélsőséges hőingadozást (jelentős akár 90 °C különbséget elérő hőmérséklet változás), és az időjárási hatásokat, elsősorban a nedvességtartalom változásokat (csapóeső, fagykár) tartja. Megállapította a hőszigetelő aljzat hosszirányú, lassú alakváltozásait és szilárdságvesztését PS és kőzetgyapot aljzatok esetében a nedvességváltozásának hatásának következtében. Bebizonyította, hogy nem a hátulról érkező páradiffúzió, hanem előlről, a burkolat vízáteresztő képességének csökkenése a döntő tényező. Utal arra, hogy a felhalmozódott nedvesség a burkolat felmelegedésének hatására "elindul" de nem ad meg rá szabályokat, tovább nem vizsgálja.

A hazai szakirodalomban viszonylatban Kakasy és Bakonyi foglalja össze az eddigi eredményeket főképp Himburg munkájára hivatkozva [13] [14]. A hátoldali páradiffúziós terhelést WUFI szoftver segítségével ellenőrizték, de felhívják a figyelmet a szükséges anyag-adatbázis hiányára. A tönkremenetel okai a tájólástól is függhetnek, a túlzott nedvességtartalom, kondenzáció, kifagyás inkább az északi, a

hőtágulás okozta feszültségváltozás, gőznyomás inkább a déli oldalon várható. Nem vizsgálták a magas homlokzatok esetében fellépő egymásra támaszkodás jelenségét. A stacioner számítások nem alkalmasak a kérdés kezelésére. Mint a többi szakirodalom, itt is kétdimenziós vizsgálatok történtek, a szerkezetben nagy eséllyel fellépő oldalirányú lég- hő- és nedvességvándorlás komplex 3D elemzéseket kívánna.

A burkolat aljzatában jelentkező transzportfolyamatokkal foglalkozik W. Portal és Devillers et al. is, de csak beltéri szerkezetek esetében, így eredményeik nem adaptálhatók a szóban forgó kérdéskörre [15] [16].

A többrétegű szerkezetben fellépő laterális vándorlások komplex HAM (heat-, air, and moisture) modellezéssel számíthatók. A nedvességtranszport folyamatok figyelembevétele szempontjából Künzel munkásságát kell kiemelni [17][18].

A higrotermikus folyamatok vizsgálatához szükséges anyagtulajdonságok jellemzően hiányoznak a gyártói adatszolgáltatásokból. P. Salagnac, P. Navarri, T. Constant, és C. Moyne munkái a porózus építőanyagokban kombinált hő-, nedvesség- és levegőtranszport folyamatokat vizsgálnak, kombinálva a szerkezetek éré sugárzási hatásokkal, nedvesedési és száradási folyamatában. Mindezek az eredmények azonban nincsenek még adaptálva a burkolt homlokzatok mélyebb rétegeiben létrejövő áramlásokra.

S. Rouchier et al. a csapóeső hatására beinduló nedvességáramokat a hajszálrepedések függvényében vizsgálja [2]. Ám a ragasztott vagy hézagos burkolatok ismétlődő fugáin keresztül ennél lényegesen nagyobb mennyiségű nedvesség hatolhat a szerkezetekbe, így ezek az eredmények sem adaptálhatók közvetlenül a tárgybeli kutatásba. Gaur et al. a szerkezetek nedvességtartalmának hatását vizsgálja a helyiséghőmérsékletre, a tájolástól függően [19]. J.J. del Coz Díaz et al. egy mediterrán klímán épült téglaburkolat károsodását végelem modellezéssel vizsgálja, figyelembe véve a víztartalomtól függő térfogatnövekedést is. Azonban a burkolat mögötti rétegekben, réteghatárokon lejátszódó áramlások modellezésére nem kerül sor.

A szerkezetek kapcsolt hő- nedvesség és levegőtranszport folyamatai és a többhjú szerkezetek folytonos réseinek modellezése jelennek meg a "Drezdai épületfizikai műhely" (Haupt, Gnoth, Fechner, Grünwald) munkásságában [20][21], valamint a szükséges numerikus eljárásokról [22][23][24]

Mindezekből jól kirajzolódik egy valós épületszerkezeti-tervezési probléma hátterében álló épületfizikai témakör. Megállapítható, hogy az eddigi nemzetközi részeredmények nem elégségesek a korlátozott átszellőzésű, elsősorban a ragasztott homlokzatburkolatok működésének megértése, a szerkezet teljesítményének, tartóssága feltételeinek meghatározása szempontjából. Ezért a kutatás során a jelölt feladatai:

- a szóba jöhető burkolattípusok, rétegrendi variációk, anyagok, helyzetek, hatások és igénybevételek teljes körű katalogizálása
- a szerkezetben lejátszódó transzportfolyamatok megértése, azok fizikai tartalmának leírása, a releváns paraméterek meghatározása

- a szerkezetek működését leíró modell alkotása, az alkalmas szimulációs szoftverek elsajátítása, alkalmazása, higrotermikus anyagtulajdonságok adatbázis létrehozása.
- mintafelületek építésem, laboratóriumi anyagvizsgálatok, és in-situ méréssorozatok a numerikus modell validálására
- jellemző tönkremeneteli módok és megelőzésük lehetséges módjai, tervezési szempont- és szabályrendszer kidolgozása.
- a vizsgált szerkezetcsoporthoz tanulságainak kiterjesztése, a többhéjú szerkezetek saját síkjában lejátszódó folyamatok jellegének általánosításának lehetősége.

A kérdéses szerkezetcsoporthoz és működésmód tudományos igényességű feldolgozása hiánypótló, a belőle levezetett tervezési elvek gyakorlati haszna garantált.

Budapest, 2017 február

Dobszay Gergely PhD.
egyetemi docens

A hivatkozott szakirodalom:

- [1] T. Theodosiou et al: Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades. (Energy and Buildings, Volume 109, 15 December 2015, Pages 377–384)
- [2] S. Rouchier et al. : Influence of concrete fracture on the rain infiltration and thermal performance of building facades (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 61, June 2013, Pages 340–352)
- [3] D.L. Loveday et al.: Convective heat transfer coefficients at a plane surface on a full-scale building facade (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 39, Issue 8, May 1996, Pages 1729-1742)
- [4] A. Zöllner et al.: Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double-skin-façades (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 45, Issue 22, October 2002, Pages 4401–4408)
- [5] A. Gagliano et al: Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period (Energy and Buildings, Volume 122, 15 June 2016, Pages 131–139)
- [6] F.P. López et al.: Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade (Building and Environment, Volume 56, October 2012, Pages 265–275)
- [7] D. Tudiwer et al.: The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade (Energy and Buildings, Volume 135, 15 January 2017, Pages 10–19)
- [8] I. Guillén et al: Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype (Energy and Buildings, Volume 79, August 2014, Pages 184–190)
- [9] M. Lutz: Die Closed-Cavity-Facade (Stahlbau, April 2012)
- [10] Fülöp Zsuzsanna PhD: Készíthető-e tartós ragasztott homlokzatburkolat Magyarországon (Építés Spektrum, 2007. február)

- [11] Dr. ing. S. Himburg: Keramische Beläge auf wärmege­dämmt­en Außenwänden (33633. sz. kutatási jelentés, TU Berlin, 1998)
- [12] Dr. ing. S. Himburg: Keramische Bekleidungen auf Wärmedämmverbundsystemen und massiven Untergründen (Forschungsvorhaben Nr. 336345, TU Berlin)
- [13] Kakasy L. - Bakonyi D.: Ragasztott kerámia homlokzatburkolatok (Építéstechnika, 2016/2-3)
- [14] DIN 18515-1: Aussenwandbekleidungen; Angemörtelte Fliesen und Platten; Grundsätze für Planung und Ausführung
- [15] N.L.W. Portal et al.: Simulation of heat and moisture induced stress and strain of historic building materials (Proceedings of Building Simulation, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November 2011)
- [16] P. Devillers et al.: Blistering of Industrial Floor on Concrete Substrate: the Role of the Air Overpressure (Proceedings of the COMSOL Conference 2010 Paris)
- [17] Künz­el, H.M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components (PhD Dissertation, 1995).
- [18] H. Künz­el et al.: Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 40, Issue 1, October 1996, Pages 159–167)
- [19] R.C. Gaur et al.: Effect of moisture transfer across building components on room temperature (Building and Environment, Volume 37, Issue 1, January 2002, Pages 11-17)
- [20] P. Häupl et al.: Coupled heat air and moisture transfer in building structures (International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 40, Issue 7, May 1997)
- [21] S. Gnoth et al.: Aero - hygrothermisches Verhalten von Umfassungskonstruktionen mit Hohlräumen (Bauphysik, 30. Jahrgang, Dez. 2008, Heft 6, S. 380-388)
- [22] S. Himburg: Entwicklung eines mathematischen Modells zur Standsicherheit von Wärmedämmverbundsystemen mit keramischen Bekleidungen sowie Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit. (9755. sz. kutatási jelentés, készült a Német Ipari Minisztérium megbízásából, a Német Kerámia szövetség számára, 1998)
- [23] F. Kuznik et al: Numerical modelling of combined heat transfers in a double skin façade – Full-scale laboratory experiment validation, (Applied Thermal Engineering, Volume 31, Issues 14–15, October 2011, Pages 3043-3054)
- [24] H. Janssen et al.: Conservative modelling of the moisture and heat transfer in building components under atmospheric excitation (International Journal of Heat and Mass Transfer, 50 (2007) 1128–1140)