

Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Sopron

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Ablakok hőtechnikai elemzése, az üvegezés teljesítőképességének javítása

Elek László

Sopron

2014

Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Sopron

Doktori Iskola: Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Tolvaj László

Program: Fafeldolgozási technológiák

Vezető: Prof. Dr. Kovács Zsolt

**Tudományos
témavezető:** Prof. Dr. Kovács Zsolt

1. BEVEZETÉS, A TÉMA AKTUALITÁSA

A gazdasági környezettől a ház- és lakásépítések kapcsán sem tudjuk függetleníteni magunkat. Az elmúlt évszázadokhoz képest az utóbbi néhány évtized jelentős változásokat eredményezett. Egyre hangsúlyosabban előtérbe került a gazdaságosság kérdése, hiszen a világ energiafogyasztásának közel felét (45%-át) az épületek üzemeltetése teszi ki [Paul 1984, Zöld 1999].

Az egyre szigorodó energetikai direktíváknak, rendeleteknek köszönhetően a nyílászárók fejlesztése is felgyorsult. Az utóbbi tíz év kutatásaiból kiderült, hogy az újonnan beépített korszerű és jól záródó nyílászárókon keresztül, a transzmissziós hőveszteség többszöröse is lehet az alacsony külső-belső oldali nyomáskülönbség hatására létrejövő filtrációs energiaveszteségnek, illetve az épület egyéb résein keresztül bekövetkező energiaveszteségnek [Emery és Kippenhan 2006]. Ennek megfelelően a kutatások leginkább a szerkezetek hőátbocsátásának csökkentésére irányulnak.

Ezen terület fejlesztését indokolja az is, hogy még a legkorszerűbb nyílászárók sem képesek megközelíteni az épülethatároló falazat hőátbocsátásának értékét, így az épület egészét nézve, energetikailag kedvezőtlen hatásúak. A megfelelő közérzet, komfortérzet kialakításában, a frisslevegő biztosításában és legfőképpen a környezettel való vizuális kapcsolattartás vonatkozásában lakóépületeinket nem tudjuk, illetve nem szeretnénk elképzelni ablakok nélkül, amelyből egyértelműen következik ezen épületszerkezeti elemek kitüntetett jelentősége.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Annak ellenére, hogy több, nyílászáróra és üvegezésre vonatkozó vizsgálattal is találkozhatunk, nem eléggé feltárt és megoldott az ablakok helyzete. Ebből adódóan a disszertáció fő célja a kapcsolódó területek áttekintésével tisztázni, hogy a jelenleg elterjedten alkalmazott ablakszerkezetekkel, anyagokkal, megoldásokkal hőtechnikailag milyen szint érhető el, továbbá egy hatékony megoldást ajánlani az ablakok hőszigetelésének további fokozására.

Az előzőek alapján a szerző részletes célkitűzései a következők.

1. Jelenleg használatos korszerű ablakszerkezetekre meghatározni a jellemző hőtechnikai teljesítőképességet és az azt befolyásoló szerkezeti és anyagi jellemzőket.
2. A magyarországi épületállományban fellelhető korszerű ablakszerkezetek és tipikus befogadó épületszerkezetek kölcsönhatásának vizsgálata hőátbocsátási szempontból.
3. Beépített ablakok üvegezésén keresztüli hőátbocsátás helyszíni mérésére és értékelésére alkalmas módszer meghatározása.
4. Új irány keresése az üvegezés hőszigetelési teljesítőképességének további fokozására az optikai jellemzőkkel kapcsolatos elvárások figyelembevételével.

A disszertáció gazdasági számításokra nem tér ki, a szerző mérnöki, műszaki lehetőségein belül a jelenleg általánosan használt korszerű hőszigetelésű ablakok teljesítőképességének javítására törekszik.

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ANYAGOK

A szerző kutatása során a magyarországi épületállományban jelenleg is fellelhető ablakszerkezetek közül, három jellemző, de egymáshoz képest eltérő teljesítőképességű és igényszintet képviselő típusra határozta meg a hőtechnikai teljesítőképességet, elsősorban számítógépes modellezéssel, végelem módszer (VEM) alkalmazásával. Vizsgálatait a lakóépületek ablakaira korlátozta, azon belül, a fa, illetve fa-alumínium kombinációjú keretekkel rendelkező szerkezetekre helyezte a hangsúlyt.

Ezt követően az ablakok, mint „független” termékek vizsgálata mellett (ami a minősítéshez szükséges), mint épületszerkezeti elemeket – három különféle falazatba illesztve – is vizsgálta a szerző VEM segítségével, hiszen az ablakok beépítése is jelentősen befolyásolja az épületek energetikai hatékonyságát.

A szerző beépített ablak üvegezésének vizsgálatára, ellenőrzésére vonatkozóan a TESTO-435 multifunkcionális mérőműszerrel helyszíni méréseket is végzett, ami a számítógépes és laboratóriumi vizsgálatokkal szemben, valós környezeti hatások mellett történtek. A vizsgálattal és az eredményekkel rávilágított arra, hogy a tapasztalatoknak megfelelően, az üvegezés hőszigetelő képességének „időállósága” nem tekinthető állandónak. A mérés eredményeit az alkalmazott matematikában ismert módszerekkel, transzformációkkal is értékelte és sikerült olyan spektrális diagramokat készítenie, amelyekkel egyértelműen jellemezhetőek a hőtranszport folyamatok.

A disszertációhoz kapcsolódó kutatás során az üveg optikai és termikus teljesítőképességének javítására irányulóan egy nanotechnológián alapuló elektrosztatikus önrendeződéses eljárás (Layer by Layer -LbL) került alkalmazásra. A létrehozott ultravékony bevonatok 3 félvezető anyag (TiO_2 , ZnO és SiO_2) felhasználásával készültek. A vizsgálatsorozat során összesen kilenc féle bevonat került kialakításra, amelyeknél a szerző a spektrofotométeres vizsgálatok mellett, PGX Goniométerrel mérte a felületi energiát is. A bevonatok felülettisztító, szerves anyag lebontó hatásának vizsgálatát, a szakirodalomban erre a célra gyakorta alkalmazott metilnarancs oldattal ellenőrizte.

A szerző a létrehozott vékony film modellezésére is bemutat egy lehetséges módot, amelyet a választott félvezető anyagokból készült filmek jellemzésére használatos Drude-Lorentz féle modellel ír le [Jung et al. 2004, Almog et al. 2011].

4. A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A doktori kutatás során célzott ablakvizsgálatok készültek, amelyek középpontjában vége-selemes modellezés, helyszíni mérés és laboratóriumi kísérletsorozat állt. Az elvégzett munka a célkitűzéseknek megfelelően vizsgálta az üvegezést az azt befoglaló keretszerkezettel, falazattal együtt, azonban az üvegezés és az üveg felületi tulajdonságainak javítására fókuszált.

A kutatómunka első szakaszában a Magyarországon elterjedten alkalmazott ablakszerkezetek közül 3 típus esetében készült hőtechnikai vége-selemes modellezés, amelyek az ablakot, mint terméket és mint beépített szerkezetet is vizsgálták. A szimulációs modellekkel sikerült jól alkalmazható, a valóságot jól leíró modelleket felépíteni és jellemezni a vizsgált ablakszerkezeteket. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 90 mm vastag tömörfa ablak hőátbocsátása a kisebb szerkezeti vastagság ellenére elhanyagolhatóan kis mértékben gyengébb a vizsgált fa-alumínium passzívház ablakhoz képest. A hőmérséklet eloszlási ábrák többek között azt is megmutatták, hogy a passzívház ablak esetében a külső hideg levegő által okozott hideg zóna sokkal inkább eléri és lehűti a középtömítést. A tömörfa ablakok esetében egyenletesebb a szerkezetben kialakuló hőeloszlás.

A kutatás második szakaszában a beépített nyílászáró üvegezésének helyszíni vizsgálatai rámutattak arra, hogy az élettartam során az üvegezés nemesgáztöltése csökkenhet, sőt akár teljes mértékben el is tűnhet, amelynek következtében idővel számítani kell a hőszigetelési teljesítmény csökkenésére. Eddig ennek megállapítására, csak a szerkezet kibontása után, roncsolásos laboratóriumi vizsgálatot követően volt lehetőség, de ennek költségvonzata és a szerkezet károsodása miatt nem terjedt el a gyakorlati életben. Bár jóllehet sokan nem is tudnak, illetve nem foglalkoznak ezzel a problémával, pedig a beépített jó minőségű üvegezés néhány év elteltével veszíthet korábbi jó hőszigetelő képességéből. Az U -értékek időváltozós helyszíni mérésével sikerült olyan spektrális diagramokat készíteni, amelyekkel jellemezni lehet a hőtranszport folyamatot és annak hatását az ablakszerkezetre.

A kutatómunka másik nagy eredménye, hogy félvezető anyagok rétegeképzeses nanotechnológiai eljárásával sikerült kifejleszteni olyan ultravékony bevonatokat, amelyekkel lehetővé vált az ablaküveg U -értékének kedvező irányú befolyásolása.

A létrehozott kilenc féle bevonat vizsgálata során kapott eredményekből kiderült, hogy a bevonatok nem rontották az üveg átlátszóságát, sőt néhány esetben a transzmittancia látható (VIS) tartománybeli növekedése volt tapasztalható. A közeli infravörös tartományban, amelyen a berendezés még eredményeket tudott adni (760-1100 nm), a kontrol mintához képest a második hőkezelést követően az 1025 nm-nél nagyobb hullámhosszokon a transzmittancia csökkent. Az LbL bevonatú minták a kontrol mintánál is alacsonyabb hőátbocsátási tényezőjűek lettek. A második, magasabb hőmérsékletű hőkezelést követően a legkisebb U -értéket, $2,817 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a PAH/SiO₂/PAH/TiO₂/PAH/PSS/ZnO bevonatú minta mutatta. Ez a csökkenés, a kontrolmintához képest 22 %-os. Jelentős U -értékbeli javulást mutatott a PAH/SiO₂/PAH/TiO₂ bevonatú minta is.

A felületi energiát két minta, a PAH/TiO₂ és a PAH/SiO₂/PAH/TiO₂ bevonatú növelte a hőkezelést megelőzően, a többi bevonat a kontrol mintához képest hidrofóbbá tette az üveg felületét. A hőkezelés nagy hatást gyakorolt a felület nedvesíthetőségében. A 180°C-os kezelést követően minden minta felületi energiája nőtt, legnagyobb mértékben a PAH/TiO₂, illetve a PAH/SiO₂/PAH/TiO₂/PAH/PSS/ZnO bevonatú minták esetén. A második, 500°C-os hőkezelés tovább növelte a minták felületi energiáját, olyannyira, hogy a hőkezelés első napján a mintákon a vízcseppek a cseppentést követően vékony filmréteggént terültek el. Ez a hidrofilitás az idő elteltével csökkent. A legkevésbé a PAH/TiO₂, a PAH/SiO₂/PAH/TiO₂/PAH/PSS/ZnO és a PAH/SiO₂ bevonatú minták veszítettek hidrofil természetükből. Az LbL eljárással létrehozott bevonat esetében a félvezető anyagok adszopciója révén sikerült a kezelt üvegfelület öntisztító hatását elősegíteni.

A Lorenz féle szimulációs modellek egyértelműen igazolták a félvezetők UV tartományban való aktivitását, illetve a bevonat átfogó hőtechnikai megjelenését. A metilnarancssal végzett vizsgálatok eredményeinek tanúsága szerint a kutatás során előállított fotokatalitikus félvezetőket is tartalmazó minták a felületre érkező szerves (szennyező) anyag bontására is képesek UV-sugárzás és víz jelenlétében, így nemcsak a felület hidrofilitása okozhatja az alkalmazás során az öntisztuló képességet, hanem a szerves szennyezőanyagok fotokatalitikus lebontása is.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK // TÉZISEK

1. Végeselemes modellezés alapján megállapítható, hogy az ablak nagyobb tokvastagsága nem feltétlenül eredményez jobb hőszigetelést, sőt bizonyos tokvastagság felett a szerkezeti kialakítás szerepe legalább olyan fontos, mint maga a tokvastagság.
A szimulációs vizsgálatok által megállapítható továbbá, hogy a külső hideg levegő által okozott hideg zóna hatása az ablakszerkezet középtömítéséig benyúlva, aszimmetrikus hőterhelést okozhat, ami alacsony (fagyponthoz alatti) külső hőmérséklet esetén a tömítés gyorsabb, idő előtti elöregedéséhez vezethet.
2. Végeselem szimulációval és a helyszíni mérések alapján egyértelműen megállapítható roncsolásmentes módon az üvegezés hőátbocsátási értékének változása. Az U -értékek időváltozós helyszíni mérésével sikerült olyan spektrális diagramokat létrehozni, amelyekkel egyértelműen jellemezhetőek a hőtranszport folyamatok, illetve az antropogén hatások.
3. Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy LbL nanoméretű rétegek képzésével eljárásal adszorbeálni lehet olyan félvezető anyagokat ultravékony bevonatként ablaküvegezésen, amelyek alkalmasak transzmittancia növekedésre VIS tartományon belül. A mérések szerint a nanobevonatoknak köszönhetően a közeli infravörös tartományban a transzmittancia csökkent, a távoli infravörös tartományban a reflexió növekedett.
4. A vizsgálatok eredményeivel igazolható, hogy a létrehozott LbL bevonatú minták (PSS/ZnO, PAH/SiO₂, PAH/TiO₂, ZnO/SiO₂, ZnO/TiO₂, ZnO/SiO₂/ZnO/TiO₂, PAH/SiO₂/PAH/TiO₂, PAH/SiO₂/PAH/TiO₂/PAH/PSS/ZnO,) a kontrol mintához képest (3 mm-es síküveg) alacsonyabb hőátbocsátásúak lettek.

5. Megállapítható, hogy a PAH/TiO₂ és a PAH/SiO₂/PAH/TiO₂ bevonat növelte a felületi energiát a hőkezelést megelőzően, a többi bevonat a kontrol mintához képest hidrofóbbá tette az üveg felületét. A második hőkezelés tovább növelte a felületek energiáját és több hét eltelte után is csak alig veszítettek hidrofil természetükből.

Az LbL eljárással létrehozott fotokatalitikus félvezető anyagokból készült bevonatok esetében a metilnarancs oldat elszíntelenedése, a szerves szennyeződések UV sugárzás során történő lebontását támasztja alá.

6. A Lorentz-Drude féle modell alkalmas arra, hogy a félvezető nanoanyagok abszorbeáló tulajdonságait jellemezze. A modell értékek és a mérési eredmények hasonlóságot mutatnak. Az üveg felületének az abszorbeáló képességét megváltoztatva az ablakok mögötti tér komfortjellemzőit, mint pl. a térrész felmelegedését befolyásolni lehet. Az abszorpciós hatás domináns volt a szimulációs eredmények alapján a reflexióval szemben, úgy hogy az üvegek transzmittanciája nem változott meg.

6. HIVATKOZOTT IRODALOM

Almog, I.F. - Bradley, M.S. - Bulovic, V. (2011): The Lorentz oscillator and its applications, Massachusetts Institute of Technology

Emery, A.F. - Kippenhan, C.J. (2006): A long term study of residential home heating consumption and the effect of occupant behavior on homes in the Pacific Northwest constructed according to improved thermal standards, Energy, pp. 677-693.

Jung, J. - Bork, J. - Holmgaard, T. - Kortbek, N.A. (2004): Ellipsometry. Aalborg University, Institute of Physics and Nanotechnology, pp. 1-138.

Paul, M. (1984): Hőszigetelés és kondenzáció Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Zöld, A. (1999): Energiatudatos építészet Műszaki Könyvkiadó, Budapest

7. A SZERZŐ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓI

Idegen nyelven megjelent közlemény

1. Laszlo Elek, Zsolt Kovacs (2014): Impact of the glazing system on the overall *U*-factor and inside surface temperature of windows, Acta Polytechnica Hungarica, (megjelenés alatt)
2. Laszlo Elek, Zsolt Kovacs (2012): Comparison of alternative calculation methods of thermal performance of windows, International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, 21 – 22 November 2012. Budapest, Óbuda University, ISBN: 978-615-5018-50-3 (pp. 359-369.)
3. Laszlo Elek, Zsolt Kovacs (2010): Determination of the thermal transmittance of windows by using Finite Element Analysis – an evaluation of the standard calculation method, Third Scientific and Technical Conference Innovations in Forest Industry and Engineering Design, 2010. november 5-7. Szófia, ISSN: 1314-0663 (pp. 196-201.)
4. Laszlo Elek, Zsolt Kovacs, Levente Denes (2010): Wood windows in the 21st Century: end user requirements, limits and opportunities, The future of quality control for wood & wood products, The final conference of COST Action E53: 'Quality control for wood & wood products', 2010. május 4-7. Edinburgh, ISBN: 978-09566187-0-2 (pp. 434-443.)

Magyar nyelvű közlemény

1. Elek László, Kovács Zsolt (2013): Műemlék nyílászárók hőtechnikai problémái, Brassó-Sopron Faipari Tudományos és Diákköri Konferencia, 2013. július 19. Sopron, NymE FMK, ISBN: 978-963-359-023-2 (pp. 29-43.)
2. Elek László (2011): Ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének meghatározása a hőhídhidatások figyelembevételével, FAIPAR LIX. évf. 2011/1. szám, Sopron NymE FMK, ISSN 0014-6897 (pp. 5-11.)
3. Elek László (2011): Ablakok hőátbocsátását meghatározó tényezők, Brassó-Sopron Faipari Tudományos és Diákköri Konferencia, 2011. július 19. Sopron, NymE FMK, ISBN: 978-963-9883-79-6 (pp. 55-66.)

4. Laszlo Elek, Zsolt Kovacs (2010): Ablakokkal szemben támasztott követelmények és fejlesztési lehetőségek, XI. RODOSZ konferencia, 2010. november 12-15. Kolozsvár, ISBN: 978-973-88394-2-7 (pp. 383-394.)
5. Dr. Kovács Zsolt, Elek László, Horváth Péter György, Papp Tibor, Lakatos Ágnes, Dr. Dénes Levente, Bencsik Balázs, Papp Imre (2009): Európai CE-központú minősítő eszköz innovatív ablakrendszerekhez (Az EU 6. keretprogramján belüli kutatási program, az ablakgyártó kis- és középvállalatok támogatására), Kutatás & fejlesztés a faiparban; Magyar asztalos és faipar tudományos melléklete, X-Meditor Lapkiadó, Győr, 2009, ISSN: 1417-0949 (pp. 20-21.)

Konferencia előadás

1. Elek László (2014): Hőátbocsátási tényező meghatározása, Faipari Egyetemi Kutatásért Alapítvány Hallgatói Konferencia, 2014. március 06. Sopron, NymE SKK Ligneum
2. Elek László (2013): Műemlék nyílászárók – emlékmű nyílászárók – A felújított ablakok hőszigetelése, Ablakok a világra I. NRRC szimpózium, 2013. április 18. Sopron, NymE FMK NRRC

Poszter

1. Laszlo Elek, Zsolt Kovacs (2012): Aspects of Heat Insulation Efficiencies for Modern Windows, TÁMOP 4.2.1.b konferencia, 2012. április 26. Sopron, NymE FMK
2. Elek László (2010): Korszerű ablakszerkezetekkel a klímaváltozás ellen, innoLignum Erdészeti és Faipari Szakvásár és Rendezvénysorozat, 2010.09.10. Sopron, NymE FMK
3. Dr. Kovács Zsolt, Elek László, Horváth Péter György, Papp Tibor, Lakatos Ágnes, Dr. Dénes Levente, Bencsik Balázs, Takács Noémi (2010): ECWINS Európai CE-központú minősítő eszköz innovatív ablakrendszerekhez, Regionális Innovációs Kiállítás és Találmányi vásár, 2010.04.16. Győr