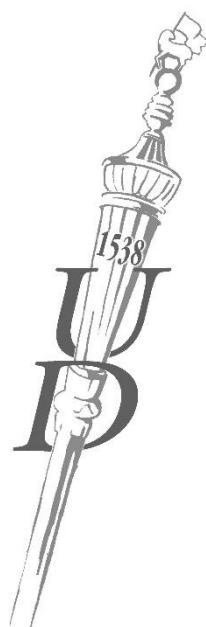


Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**ÉPÜLETENERGETIKAI ELEMZÉSEK AZ ÉPÜLETHATÁROLÓ SZERKEZET
KÖRNYEZET OKOZTA VÁLTOZÁSAI ALAPJÁN
BUILDING ENERGETIC ANALYSIS BASED ON THE CHANGES IN THE
BUILDING ENVELOPE CAUSED BY THE ENVIRONMENT**

Szodrai Ferenc

Témavezető: Dr. Lakatos Ákos



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományi Doktori Iskola

Debrecen, 2017

1. Összefoglalás

A nedvesség hosszú időn át, többnyire az esős napokon és az utána következő időszakokban fejt ki a hatását, amit egy épületnél a fajlagos hőveszteség-tényezőben, a hőtároló képességben vagy energiafelhasználásban lehetne kimutatni. Az épületre a szél is hatással van, az év során folyamatosan hűtő-fűtő hatást fejt ki rá. Dolgozatomban a felsorolt jelenségek természetét és különböző hatásait vizsgáltam meg.

Az építőanyagok vizsgálata több okból is fontos. Egyrészt a régebbi, akár 20-30 éves irodalmakban szereplő adatok elavultnak tekinthetők, másrészt az MSZ-140-2 szabványt, melyet épületek hőtechnikai méretezésénél használtak tervezők, és összefoglalta az összes (akkori) hőszigetelő és építőanyag hőtechnikai és épületfizikai paramétereit, 2012-ben visszavonták. A technológiai fejlődésnek köszönhetően az anyagok gyártástechnológiája kiszélesedett, illetve új anyagok kerültek piacra.

Feladatomban volt a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszéken eddig végzett méréseket, kutatásokat tovább fejlesztem, kiterjesztem új anyagokra és a mérési eredményeimet számítások és számítógépes szimulációk bemeneti paramétereként használjam fel.

2. A vizsgálataim fő célkitűzései:

- különböző, napjainkban alkalmazott és az iparban fontos hőszigetelő- és építőanyagok hőtechnikai vizsgálata: hővezetési tényező mérése teljesen száraz állapotban és nedvesítés után, a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületfizikai laboratóriumában. A mérések végrehajtása után a kapott eredményeket a hazai és nemzetközi szakirodalmi értékekkel összehasonlítani.
- a hazai és nemzetközi szakirodalomban fellelhető és rendkívül ellentmondásos, kettő az anyagra jellemző és a nedvességfelvételhez kapcsolódó tényezőt megvizsgálni és értelmezni a telítődés előtti szakaszra: a vízfelvételi együtthatót (A_w), és a hővezetési tényező nedvességre való érzékenységet (Z).
- a vakolat nedvességfelvevő hatását megvizsgálni.
- ezt követően a vizsgált anyagokból képzeletbeli szerkezetek létrehozása, és azok egyedi hőtechnikai tulajdonságainak vizsgálata (pl.: a hőkapacitás változása). A megalkotott szerkezetekből különféle méretű (geometriájú) hipotetikus épületek kialakítása, és

elemzése aszerint, hogy miként hat az épület fajlagos hőveszteség-tényezőjére a nedvesítési idő.

- a vizsgált épületek egyikének energetikai paramétereinek változását öt különféle klímaregióban (Bécs, Budapest, Bukarest, Pozsony, Zágráb) épületenergetikai szimulációk segítségével meghatározni.
- a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületfizikai laboratóriumában megvizsgálni több irányú légáramnak a falszerkezeten keresztüli hőtranszportot módosító hatását hőszigetelt és hőszigetelés nélküli állapotban. Az eredményeket összehasonlítani a hazai és nemzetközi szakirodalomban található következtetésekkel és a szabványban rögzített számítási módszer által kapott eredménnyel.

3. Új eredmények

Méréseket végeztem a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületfizikai laboratóriumában, és megállapítottam, különféle gyakran használt építő- és hőszigetelő anyagnak (parafa, expandált polisztirol (EPS 30), pórusbeton (Ytong), grafitos EPS, könnyűbeton, kőzetgyapot, gipszkarton, tömörtégla és sárga színű extrudált polisztirol (XPS)) miként változik a hővezetési tényezője nedvesítési után. Összefüggéseket adtam meg a hővezetési tényezők időbeli változására. Meghatároztam ezen anyagok vízfelvételi együtthatóit és a hővezetési tényezők nedvességre való érzékenységet a telítődés előtti szakaszukra, 20 °C hőmérsékleten és 90 % relatív páratartalom mellett.

1.a. Tézis Vízfelvételi együttható

A vízfelvételi együttható (A_w)-t tömör anyagokra nem határozható meg, mivel azok csak adszorpció útján vették fel a nedvességet. Így az 1. táblázatban az értékeiket nem tüntettem fel. A vizsgált minták közül a legnagyobb abszorpciós vízfelvételt a pórusbetonra állapítottam meg. A pórusos szerkezetből adódóan jó nedvességfelvevő tulajdonsággal bír, könnyen el tudja raktározni az anyag belsejébe a nedvességet. A hőszigetelések közül a kőzetgyapot rendelkezett a legmagasabb vízfelvételi együtthatóval (A_w), ami a szálak szerkezetének köszönhető.

1. táblázat A minták vízfelvételi együtthatói

	Vízfelvételi együttható (A_w) [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$]	Vízfelvételi együttható átlagos hibája (ΔA_w) [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$]	Regresszió (R^2) [-]
EPS 30	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0,94
Grafitos EPS	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$4,73 \cdot 10^{-5}$	0,76
Gipszkarton	$2,68 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-5}$	0,97
Könnyűbeton	$7,77 \cdot 10^{-4}$	$5,24 \cdot 10^{-5}$	0,98
Kőzetgyapot	$3,03 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	0,98
Pórusbeton	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	0,99

Mérések alapján megállapítottam az egyes anyagok vízfelvételi tényezőjét, az A_w értéket. A sárga színű XPS-re, parafára és tömör téglára megállapítottam, hogy nem értelmezhető az A_w érték. EPS 30-ra $1,15 \pm 0,125 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$, grafitos EPS-re $1,31 \pm 0,473 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$, gipszkartonra $2,68 \pm 0,221 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$, könnyűbetonra $7,77 \pm 0,524 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$, kőzetgyapotra $3,03 \pm 0,138 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$, pórusbetonra $1,23 \pm 0,131 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0,5}$ A_w értéket kaptam.

1.b. Tézis A vakolat gátló hatása

A vizsgálataim alapján kiderült, hogy az EPS 30, a grafitos EPS és a kőzetgyapot víz abszorpciójára hajlamos, ezért típusonként két-két mintát vakolattal láttam el. A mintáknak egyik oldalát vakolattal kezeltem a többi oldalát pedig hermetikusan lezártam, ebből adódóan csak egyik oldalon lett mérve a nedvességfelvétel. A kezeletlen mintákhoz képest jóval kisebb nedvességtartalmakat kaptam. Ez abból adódik, hogy hat helyett csak egy felületen történik a nedvességfelvétel, illetve a száraz tömegbe a kezelt felületnél a vakolat tömegét is beleszámítottam, így egy homogén és egy heterogén mintához tartozó érték összehasonlításáról beszélek. A vakolat a ráillesztett hőszigetelésnél jóval nagyobb (tájékoztató jellegű) vízfelvételi együtthatóval rendelkezik. Ami arra vezetne egy homogén mintánál, hogy a nedvességtartalom is nagyobb lenne. A vizsgált esetben azonban a nagyobb vízfelvételhez tartozó vakolt minta nedvességtartalma alacsonyabb, a vakolatlan mintához képest. Méréseim alapján arra következtetek, hogy a nedvesség feltehetően a vakolatban tárolódott el és a hőszigetelésbe viszonylag kevés víz juthatott be, amit céлом is volt kimutatni.

Megállapítottam, hogy a nemesvakolat és a nemesvakolat perlitvakolattal kombinálva hogyan csökkenti az EPS 30, grafitos EPS és kőzetgyapot vízfelvételét a 20 órás nedvesítési időnél. A minták nedvességfelvételét megmérve megállapítottam, hogy a nem felületkezelt mintákhoz képest a felületkezelt mintáknak kisebb a nedvességtartalma és nagyobb a tájékoztató jellegű vízfelvételi együtthatója. Az eredmény alapján tehát elmondható, hogy a vakolat nedvességvédelmi feladatát abszorpciós elven látja el. Tehát a nagy kapilláris vízfelvevő képességéből adódóan magába tárolja a nedvességet, viszont azt nem engedi tovább a szerkezet belsejébe.

2. Tézis A hővezetési tényező és a nedvesítési idő kapcsolata

A parafa, a tömör téglá és a sárga XPS hővezetési tényezője nem mutatott jelentős eltérést a nedvesítési idő (t) függvényében, így ezeknek a mért értékeit átlagoltam és ezt időben állandónak tekintettem. A gipszkarton és a könnyűbeton hővezetési tényezője lineáris kapcsolatot mutatott a nedvesítési idővel. Az EPS 30-ra, a grafitos EPS-re, a kőzetgyapotra és a pórusbeton esetében exponenciális függvénnyel írtam le a hővezetési tényező változását a nedvesítési idő függvényében.

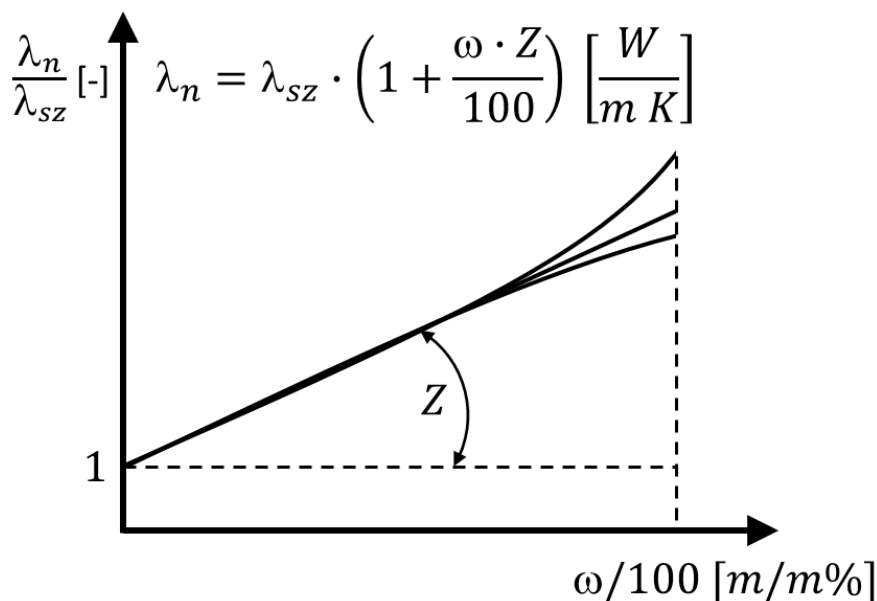
Az anyagok hővezetési tényezőjének változására a nedvesítési időbeli függés szempontjából három tendenciát vettem észre: időben állandó, lineárisan, illetve exponenciálisan változó összefüggéseket.

2. táblázat Anyagok nedvesítési időbeli függése

Anyag neve	Nedvesítési időbeli függése
Parafa	állandó
Sárga XPS	
Tömör téglá	
Gipszkarton	lineárisan változó
Könnyűbeton	
EPS 30	exponenciálisan változó
Grafitos EPS	
Kőzetgyapot	
Pórusbeton	

3. Tézis Hővezetési tényező nedvességre való érzékenysége

A nedvességfelvételre való érzékenységet a Fekete-féle épületfizika kézikönyvben és Künzl tanulmányában található $\lambda_n = \lambda_{sz} \cdot \left(1 + \frac{\omega \cdot Z}{100}\right)$ képlet segítségével továbbá az 1. diagram értelmezése alapján határoztam meg. A nedves (λ_n) és száraz (λ_{sz}) hővezetési tényezők hányadosára és a hozzá tartozó nedvességtartalmakból (ω) adódott pontokra a száraz állapotból induló egyenest illesztettem, melynek meredeksége volt a Z érték.



1. diagram Nedvességre való érzékenység függvénye

3. táblázat Hővezetési tényező nedvességre való érzékenysége (Fekete, 1985; Fraunhofer_IPB, 2013)

Anyag neve	Fekete I. (Z) [(m/m%) ⁻¹]	WUFI (Z) [(m/m%) ⁻¹]	Méréseim alapján (Z) [(m/m%) ⁻¹]	Regresszió (R ²) [-]
EPS 30	2	0,05	1,02 ± 0,11	0,99
Gipszkarton	12,5	-	8,36 ± 1,26	0,99
Grafitos EPS	2	-	2,8 ± 0,29	0,99
Könnyűbeton	12	3	27,87 ± 2,16	0,99
Kőzetgyapot	2	-	nem értelmezhető	-
Parafa	1	-		
Pórusbeton	12	4		
Sárga XPS	2	0,1		
Tömör tégl	20	8		

A 3. táblázatból látható, hogy a kilenc vizsgált építőipari termékből csak négy anyagra lehetett meghatározni a hővezetési tényező nedvességre való érzékenységét (a Z értéket). Ennek oka az anyagok változatosságából eredhet. Egyik esetben az anyagok vízzárása miatt nem jutott be nedvesség, ami fokozni tudta volna a hővezetési tényezőt. Ezen anyagok voltak a parafa, a sárga színű XPS és a tömör téglá. Másik esetben azoknak az anyagoknak, amik magas vízfelvételi együtthatóval rendelkeztek, exponenciális függvény szerint nőtt a hővezetési tényezőjük. Az exponenciális növekedésből adódóan nem adható meg az anyagokra a Z érték. Vizsgálataim során a kőzetgyapot és a pórusbeton tartozott ebbe a kategóriába. A méréseim alapján a könnyűbetonra kaptam a legnagyobb értéket, ami nagyságrenddel nagyobb lett a többi értékhez képest.

Látható, hogy a Fekete-féle épületfizika kézikönyvben általánosan egy típusként megemlített műanyag habok és a szálas kőzetgyapot Z értékei megegyeztek. Mért eredményeim közül a legnagyobb különbség az irodalmi adatokhoz képest a könnyűbetonnál adódott. Ennek oka a könnyűbeton minta elkészítéséből eredhet. Feltehetően más technológiát és összetételt alkalmaztak a minták elkészítésénél, mint amit a közel 30 éve készült felsorolt irodalmak mutattak be. Kutatásaim szükségességét és létjogosultságát is tovább erősíti a tény, hogy a meglévő adatbázisok már elavultnak tekinthetők, frissebb értékek szükségesek. Továbbá meg kell állapítani melyek azok az anyagok, melyek esetében a hővezetési tényező nedvességre való érzékenysége nem értelmezhető.

Megállapítottam a $\lambda_n = \lambda_{sz} \cdot \left(1 + \frac{\omega Z}{100}\right)$ egyenlet alapján az egyes anyagok hővezetési tényezőjének nedvességre vonatkozó érzékenységét, a Z értékeket, 20 °C-on 90 %-os relatív páratartalom mellett. EPS 30-ra $1,02 \pm 0,11$, gipszkartonra $8,36 \pm 1,26$ grafitos EPS-re $2,8 \pm 0,29$ és könnyűbetonra $27,87 \pm 2,16$ Z értéket kaptam. A kőzetgyapotra, parafára, pórusbetonra, sárga színű XPS-re és tömör téglára megállapítottam, hogy nem értelmezhető a Z érték. Megállapítottam, hogy a műanyag habokat egymástól külön kell kezelni. Eredményeimet összehasonlítottam a magyarországi, illetve nemzetközi irodalomban fellelhető értékekkel és ezek között jelentős eltérést tapasztaltam.

4. Tézis A fajlagos hőkapacitás és a nedvesítési idő kapcsolata

A vizsgált mintáimból képzeletben 16 épített szerkezet kombinációival számoltam. A szerkezetben teherhordóként tömör téglát, pórusbetont és könnyűbetont alkalmaztam. A teherhordó építőanyagokat kőzetgyapot, grafitos EPS, EPS 30, sárga színű XPS és parafa hőszigetelésekkel kombináltam. Ezen kombinációk felhasználásával 15 nehézszerkezetet, továbbá a gipszkarton és a kőzetgyapot felhasználásával egy könnyűszerkezetet hoztam létre. A vizsgált minták száraz állapotából és 4, 8, 12, 16, 20 órás nedvesítése után meghatározott nedvességtartalmakból kiszámoltam a hőkapacitást a szerkezetekre.

Megjegyzendő, hogy a tömör, zárt cellás anyagokat (parafa, sárga színű XPS és tömör téglát), ahol csak adszorpció útján történt nedvességfelvétel, a számításaimban nedvesítési időtől független anyagként kezeltem.

4. táblázat Szerkezetek hőkapacitásának érzékenysége a nedvesítési időre

	Tömör tégl	Könnyűbeton	Pórusbeton
Kőzetgyapot	kis mértékben érzékeny		érzékeny
Grafitos EPS	nedvesítéstől független		
EPS 30			
Sárga XPS			
Parafa			
Könnyűszerkezet			

A nedvesítési idő és a hőkapacitás változásának függvényében három trendet különböztetek meg: nedvesítési időtől független, nedvesítési időtől kismértékben függő és nedvesítési időre érzékeny tulajdonsággal rendelkező szerkezetet.

5. Tézis Fajlagos hővesztés-tényező, nedvességterhelés és az épület méretének összefüggése

A nedvesség további tényezőket is befolyásol a belső környezet minőségénél, például a közepes sugárzási hőmérsékletet, a fal hővezetését vagy a levegő minőségét. A magas nedvességtartalom hatására az előbb említett jelenségek meg fognak változni. A nedvesség az épületszerkezetek mechanikai és hőtechnikai állagromlásának egyaránt fő okozója. 16 különféle épületszerkezetből összerakott, változó A/V arányú (A = a fűtött épülettérfogatot határoló szerkezetek összfelülete, V = fűtött épülettérfogat (fűtött légtérfogat)) épület nedvesség terhelésével foglalkoztam. Az épület geometriáját (A/V arányát) és szerkezeteit

változtatva, több mint 300 darab közel nulla energiaigényű épületnek megfelelő szerkezetet vizsgáltam meg gazdaságossági szempontból, a fajlagos hőveszteség-tényező változás függvényében.

Az eredményeket két típusba (A és B) soroltam a felső határnak történő megfelelés alapján. Az A típusban a generált épület 20 órás nedvesítési idő alatt bizonyos A/V arányoknál meghaladja a felső határértéket. A B típuson belül két altípust állapítok meg, az egyik (B1) altípusba azok a szerkezetek tartoznak, melyek nedvesség hatására csak minimálisan változtatták q értéküket. A másik (B2) altípusba pedig, azok amelyek víztaszító tulajdonságuk miatt nem képesek változtatni a q értéket a nedvesítési idő hatására. Mindkét altípusnak a legfontosabb tulajdonsága, hogy a q értékük csak az A/V arány növekedése miatt lépte át a felső határértéket.

5. táblázat Fajlagos hőveszteség érzékenysége a nedvesítési időre

	Tömör tégl	Könnyűbeton	Pórusbeton
Kőzetgyapot	A		
Grafitos EPS	B2		
EPS 30	B1		
Sárga XPS	B2		
Parafa			
Könnyűszerkezet			A

Összehasonlítva a szerkezeteket felépítő anyagokat megmutattam, hogy a hőszigetelésnek van a jelentősebb szerepe az épület hőmérlegében. A pozitív hőtechnikai tulajdonságok mellett gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve megállapítottam, hogy melyik kombinációk lehetnek a kiválasztásban előnyben részesítendő szerkezetek. A szerkezetek közül az EPS 30-cal hőszigetelt tömör tégl falszerkezetnek volt a legalacsonyabb fajlagos költsége és q érték változása. Hosszabb (20 óra) nedvesítési idő esetén pedig a grafitos EPS-sel szigetelt tömör tégl falszerkezet kombináció kerül előnybe.

6. Tézis Különböző környezeti klímák hatásának vizsgálata szimulációs programmal

A 16 szerkezetből összerakott és nedvességgel terhelt épületekből kiválasztottam egy épületet. Ezt az épületet gondolatban öt különböző főváros (Bécs, Bukarest, Budapest, Pozsony és Zágráb) területére (öt különböző klímarégióra) helyeztem el. Az itt felsorolt variációk

mindegyikére kiszámoltam a fajlagos éves primer energiaigényt és az átmeneti időszakra a fűtési energiaigényt valamint a transzmissziós veszteségeket. Az átmeneti időszaknak március, április, május, szeptember, október és november hónapokat vettem. A vizsgálatom azért ezekre az időszakokra esett, mert itt felléphetnek fűtési igények és a relatív páratartalom is magas.

Három csoportba soroltam a szerkezeteket. A csoportosítás szempontja a nedvesítési időre való érzékenység volt. Az első csoporthoz tartozó függvénynél a nedvesítési idő mértékében nem történik jelentős változást. A második csoportba tartozó szerkezeteknél lapos, kis meredekségű tendencia állapítható meg a diagramokról. Ezeknél a szerkezeteknél a négyzetméterre vetített időszakos változás kevesebb, mint $10 \text{ kWh m}^{-2} \text{ időszak}^{-1}$ volt. A harmadik csoportba azon szerkezeteket soroltam, melyek négyzetméterre vetített időszakos transzmissziós vesztesége és fűtési energia igénye nagyobb, mint $10 \text{ kWh m}^{-2} \text{ időszak}^{-1}$ volt.

6. táblázat Fűtési energiaigény, transzmissziós veszteség érzékenysége a nedvesítési időre

	Tömör tégla	Könnyűbeton	Pórusbeton
Kőzetgyapot	3. csoport		
Grafitos EPS	2. csoport		
EPS 30			
Sárga XPS	1. csoport		
Parafa			
Könnyűszerkezet			2. cs.

A szimulációs eredmények alapján megállapítottam, hogy jelentős nedvesítési idő mellett a polisztirol habok bizonyulnak hatékony hőszigetelő anyagoknak a kőzetgyapottal szemben, mivel ezek hővezetési tényezője kevésbé függ a nedvességtartalomtól, így energetikai szempontból is kedvezőbbek lettek. A kőzetgyapot alkalmazása kisebb nedvesítési időnél szintén alacsony energiaigényeket adott, viszont hosszabb nedvesítési időnél energetikai szempontból kiemelkedően nagy veszteségeket okozott. A klimatikus hatásokat is figyelembe véve megjegyzendő, hogy a legnagyobb fűtési primer energiaigényt a bécsi eredményeknél tapasztaltam. A budapesti és pozsonyi régiók klímaértékei nagyon közeli értékeket vettek fel, amit bukaresti klímaregiókban számított értékek követnek. A vizsgált régiók közül Zágráb klímája bizonyult a legenyhébbnek.

7. Tézis A levegő mozgásának hatása a vizsgált falszerkezet hőáramára

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületfizikai laboratóriumában megmértem a hőellenállást egy hőszigetelt és egy hőszigetelés nélküli falszerkezetre, kényszerített- és szabadáramlások esetén. A vizsgálataimban áttekintettem a jelenlegi konvektív felületi hőátadási tényezők lehetséges számítási módjait, és az abból kapott eredményeket összehasonlítottam a mért értékeimmel. Az összehasonlításnál kitértem a hasonlóságokra és a különbségekre. A vizsgálataimban a kamra zártsága miatt a szoláris nyereségektől el lehetett tekinteni.

7. táblázat Hőátadási tényezők

Egyenlet	(26)	(37)	(32)
esetek	h_{c1} [W m ⁻² K ⁻¹]	h_{c2} [W m ⁻² K ⁻¹]	h_{c3} [W m ⁻² K ⁻¹]
1. eset	3,10	2,96	4
2. eset	3,54	15,27	8
3. eset	3,54	15,94	8
4. eset	3,54	15,62	8
Átlag	3,54	15,61	8
5. eset	3,52	4,45	4
6. eset	3,55	13,91	8
7. eset	3,56	14,53	8
8. eset	3,55	14,7	8
Átlag	3,55	14,38	8

A 7. táblázatban összegyűjtöttem a méréseimből (h_{c1}) a hasonlósági számításokból származó (h_{c2}), valamint a szabvány által leírt módon kiszámolt (h_{c3}) hőátadási tényezőket hőszigetelt (1-4 eset) és hőszigetelés nélküli (5-8 eset) állapotban. Látható, hogy a légmozgás iránya nem mérvadó, csak a légáram sebessége befolyásolja a hőátadást. A hőátadási tényezőket egymással összehasonlítva nagy eltérések tapasztalhatók. A szigetelt fal esetében szabadáramlásnál 25 % volt az eltérés a mért és számolt eredmények között. Szigetetlen esetben ez az érték tovább csökkent 20 %-ra. A kényszeráramnál viszont nagyságrendnyi különbségek láthatók a mért és a számolt eredmények között. A mért eredmények vették fel a legmagasabb értékeket. A hasonlósági elméleti és a mért értékek között több mint négyszeres

eltérést tapasztaltam, míg a szabvány feleakkora értéket ad meg a légsebesség függvényében, mint amit mértem.

Kimutattam, hogy a levegő irányának nincs hatása a hőátadási tényezőre, mivel a felülettel párhuzamos légsebességek a mértékadók. Bemutattam, hogy mind a szabvány szerint, mind a hasonlósági elmélet alapján történő számításoknál kisebb értékek jöttek ki, mint a mérésekből. A kisebb értékek nagyfokú eltérést okozhatnak az előzetes tervezésnél. Kiemelendő, hogy a szabvány szerinti számítási módszer nem tesz különbséget abban, hogy a falazat el van-e látva vagy nincs ellátva hőszigeteléssel, csak a légsebességet veszi figyelembe. A hasonlósági elmélet alapján történő számítások csak csekély mértékben veszik figyelembe a hőszigetelés hatását. Megmutattam, hogy a hőszigetelésnek van hatása a hőátadási tényezőre.



Nyilvántartási szám: DEENK/264/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Szodrai Ferenc
Neptun kód: L1Z3SB
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10044581

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Különböző éghajlati viszonyoknak kitett épületek fűtési energiafelhasználásának csökkentése hőszigeteléssel.
Energiagazdálkodás. 57 (3-4), 26-29, 2016. ISSN: 0021-0757.
2. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Építőanyagok nedvességfelvételének vizsgálata.
Magy. épülgép. 63 (1-2), 33-36, 2014. ISSN: 1215-9913.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

3. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Effect of the air motion on the heat transport behaviour of wall structures.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 8 (1), 67-73, 2017. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2017.8.1.10>
4. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Simulations of the Changes of the Heating Energy Demand and Transmission Losses of Buildings in Central European Climate: Combination of Experiments and Simulations.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 6 (2), 129-139, 2015. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2015.6.2.6>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

5. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Effect of the Moisture in the Heat Storage Capacity of Building Structures.
Appl. Mech. Mater. 861, 320-326, 2017. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.320>
6. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Effect of wetting time in the sorption and in the thermal conductivity of the most commonly used structural materials.
Building Serv. Eng. Res. Technol. 38 (4), 475-489, 2017. ISSN: 0143-6244.
IF: 0.67 (2016)



7. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á., Kalmár, F.: Analysis of the change of the specific heat loss coefficient of buildings resulted by the variation of the geometry and the moisture load.
Energy. 115 (1), 820-829, 2016. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.073>
IF: 4.52
8. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Measurements of the thermal conductivities of some commonly used insulating materials after wetting.
Environ. Eng. Manag. J. 13 (11), 2881-2886, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF: 1.065

További közlemények

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (3)

9. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Szélcsatornaépítés a gyakorlatban = Wind tunnel making in practise.
IJEMS. 2 (1), 19-24, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.1.4>.
10. Molnár, I., **Szodrai, F.**: Intelligens napelemes rendszer vizsgálata = Analysis of smart photovoltaic systems.
IJEMS. 1 (2), 67-75, 2016. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.9>.
11. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Létesítmény szélenergia hasznosításának lehetőségei = Wind energy harnessing options at buildings.
IJEMS. 1 (2), 51-58, 2016. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.7>.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

12. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Az alföldi szélenergia-potenciál vizsgálata = Investigation of Wind Energy Potential in the Great Hungarian Plain.
In: A XXI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka előadásai = Proceedings of the XXIth National Scientific Conference of Young Engineers. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 233-236, 2016, (Műszaki tudományos közlemények, ISSN 2393-1280 ; 5.)
13. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Szélenergetikai vizsgálatok adott turbinatípusok mellett.
In: Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 253-260, 2016. ISBN: 9789637064333



Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

14. Lakatos, Á., **Szodrai, F.**: Comparison of the Thermal Properties of Different Insulating Materials.
In: 8th International Conference Buildings and Environment 2013. International Conference Proceedings. Ed.: Katarína Minarovicová, Jozef Hraska, STU, Bratislava, 448-453, 2013.
ISBN: 9788022740708

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 6,255

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 6,255

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.08.29.



1. Summary

Moisture affects buildings over a long period of time, mostly on rainy and over the following days, the effects can be shown on the heat storage and the energy consumption. The wind also has a constant heating or cooling effect on the buildings. In my dissertation, I studied the mentioned phenomena.

The investigation of building materials is important for several reasons. On the one hand, the 20-30-year-old literatures are outdated. On the other hand, the standard MSZ-140-2 which engineers used in thermal performance design, and summed up every building material and building physics parameters, was withdrawn in 2012. Thanks to the technological development, insulation production became widespread and new materials were introduced. My work was to develop the University of Debrecen Faculty of Engineering Department of Building Services and Building Engineering measurements and researches and to measure new materials which will serve as input parameters in computer simulations.

2. The aim of my research was to:

- examine of the thermal properties of several nowadays commonly used insulations and building materials by measuring their thermal conductivity after wetting. I did these measurements in the Building Physics Laboratory of Faculty of Engineering, University of Debrecen, where I had chance to measure the thermal conductivity several of insulation and building materials. I developed a new equation and examined the connection of the thermal conductivity and the moisture. I clarified the contradiction about the two most important thermal properties of the materials for the saturation period: the water absorption coefficient (A_w) and the moisture-related thermal conductivity supplement (Z).
- investigate how can the plaster preserve the insulations from the moisture.
- make structures from the materials that I examined and to observe their unique properties. From the structures, I made buildings of different shape (and geometry) and presented how the moisture affects them.
- study the energetic parameters of one of my previously examined building in five different climate regions with building energetic simulations.
- study the effect of the airflow on an insulated and uninsulated wall in the University of Debrecen Faculty with Engineering Building Physics Laboratory.

3. New Results

I determined the thermal conductivities of some commonly used building and insulating materials (EPS 30, foam concrete, grey EPS, lightweight concrete, mineral wool, plasterboard, solid brick, yellow XPS) in pure dried form and after wetting in the University of Debrecen Faculty of Engineering Building Physics Laboratory. Then I made interrelations about the thermal conductivity as function of time. I defined the water absorption coefficient and the moisture-related thermal conductivity supplement for the section before the saturation, at 20 °C and 90 % relative humidity.

Thesis 1.a. Water absorption coefficient

Water absorption coefficient cannot be defined for compact materials because of they can only adsorb the moisture. In table 1. the parameters of the compact materials were disregarded. From the investigated materials, the foam concrete has the highest water absorption coefficient. Due to its porous structure, it had good water uptaking capability, it can easily store the moisture into its bulk. From the insulations, mineral wool had the highest water absorption coefficient, attributable to its fibrous structure.

Table 1. The water absorption coefficient of the materials

	water absorption coefficient (A_w) [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$]	water absorption coefficient error (ΔA_w) [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$]	Regression (R^2) [-]
EPS 30	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0,94
Grey EPS	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$4,73 \cdot 10^{-5}$	0,76
Plasterboard	$2,68 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-5}$	0,97
Lightweight concrete	$7,77 \cdot 10^{-4}$	$5,24 \cdot 10^{-5}$	0,98
Mineral wool	$3,03 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	0,98
Foam concrete	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	0,99

I determined the water absorption coefficients of the examined materials. I established that yellow XPS, corckboard and solid brick were not applicable for defining A_w values. I measured A_w values for EPS 30 ($1.15 \pm 0.125 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$), grey EPS ($1.31 \pm 0.473 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$), plasterboard ($2.68 \pm 0.221 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$), lightweight concrete ($7.77 \pm 0.524 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$), mineral wool ($3.03 \pm 0,138 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$) and foam concrete ($1.23 \pm 0.131 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$).

Thesis 1.b. The preserving effect of the plaster

From the results, my research shows, that the EPS 30, grey EPS and mineral wool were capable of absorbing moisture for this reason I plastered two samples of each type. The samples were only plastered on one side, this side was where the water uptake was measured, the rest of the sides were sealed hermetically. As a result, I got lower amount of water content compared to the non-plastered samples. Attributable to the fact that wetting only occurs on one side instead of six. Also with the plastered samples the mass of the plaster was also included in the calculations, thus in the evaluation I compared a homogenous with a heterogenous sample. The plaster had higher informative water absorption coefficient than the insulation, on which it was applied. It follows that, were the plaster a homogenous sample, it should have higher moisture content. However, in my studied case the plastered sample with higher water absorption coefficient had lower moisture content than the not plastered sample. From these results, I concluded that the moisture was stored in the plaster and it only let a small amount of moisture in the insulation, which was my goal to prove.

I determined how the plaster reduces the EPS 30, grey EPS and mineral wool insulator's water uptake after 20-hour wetting time. Through measuring the sample's water uptaking capability, I realized that the plastered samples have higher informative water absorption coefficient and lower moisture content than the not plastered samples. According to this result the plaster has inhibitory effect on absorption. Based on my results it can be said that the plaster preserves the insulation by absorption. That means with the large capillary absorption capacity it can store the moisture itself and does not let it to the insulation.

Thesis 2. Measurements of the thermal conductivities of some commonly used building and insulating materials after wetting

The thermal conductivity of cork, solid brick and yellow XPS did not show any significant change to wetting time (t) I considered these material values to be constant in the function of wetting time. The thermal conductivity of plasterboard and lightweight concrete showed a linear relationship with wetting time. I labelled the EPS 30, grey EPS, mineral wool and foam concrete thermal conductivity change as a function of the wetting time as exponential.

I documented three tendencies in the function of thermal conductivity and wetting time of the measured materials: when the thermal conductivity was constant or it showed linear or exponential changing with the wetting time.

Table 2. Wetting time dependency of materials thermal conductivity

<i>Materials</i>	<i>Wetting time dependency</i>
<i>Corkboard</i>	<i>constant</i>
<i>Yellow XPS</i>	
<i>Solid brick</i>	
<i>Plasterboard</i>	<i>linear changing</i>
<i>Lightweight concrete</i>	
<i>EPS 30</i>	<i>exponential changing</i>
<i>Grey EPS</i>	
<i>Mineral wool</i>	
<i>Foam concrete</i>	

Thesis 3. Moisture-related thermal conductivity supplement

The moisture-related thermal conductivity supplement was determined with the help of the $\lambda_n = \lambda_{sz} \cdot \left(1 + \frac{\omega Z}{100}\right)$ equation from Fekete Building physics handbook and Künzels study in addition based on the interpretation of Diagram 1. The ratios of wet (λ_n) and dry (λ_{sz}) thermal conductivities and the corresponding moisture content (ω) are aligned in a straight line starting from the dry state, the slope is noted with the Z value.

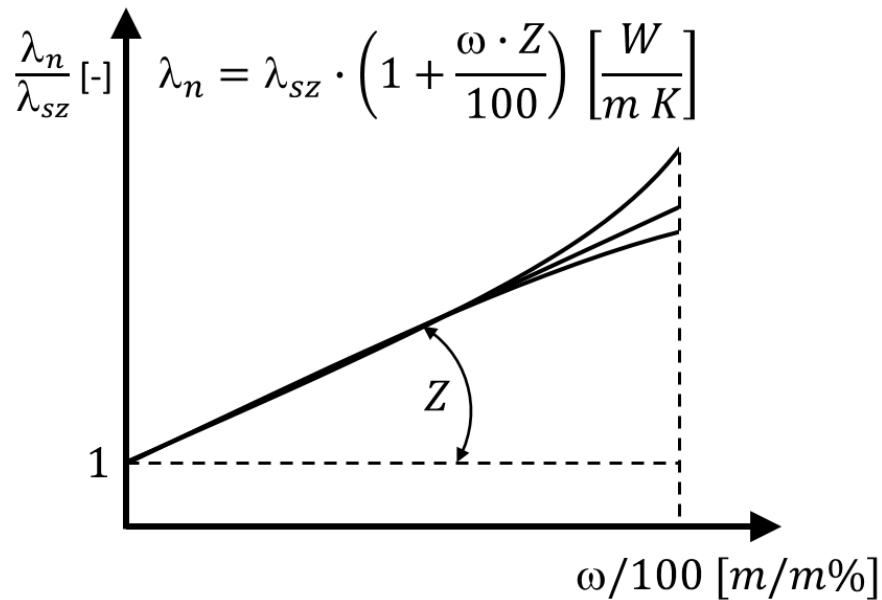


Diagram 2. Function of the moisture-related thermal conductivity supplements

Table 3. Moisture-related thermal conductivity supplements

Material name	Fekete I. (Z) [(m/m%) ⁻¹]	WUFI (Z) [(m/m%) ⁻¹]	My measurements (Z) [(m/m%) ⁻¹]	Regression (R ²) [-]
EPS 30	2	0,05	1,02 ± 0,11	0,99
Plasterboard	12,5	-	8,36 ± 1,26	0,99
Grey EPS	2	-	2,8 ± 0,29	0,99
Lightweight concrete	12	3	27,87 ± 2,16	0,99
Mineral wool	2	-	not applicable	-
Corkboard	1	-		
Foam concrete	12	4		
Yellow XPS	2	0,1		
Solid brick	20	8		

It can be seen from Table 3. that the moisture-related thermal conductivity supplement (the Z value) was determined for only four of the nine measured construction products. This is due to the variety of materials. In one case, the material were waterproof so there was no inner moisture that could increase the thermal conductivity. These materials were cork, yellow XPS and solid brick. In other cases, those materials with high water absorption coefficients changed their thermal conductivity as an exponential function. Because of the exponential growth, the Z values cannot be given for these materials. During my research, mineral wool and foam concrete belonged to this category. Based on my measurements, I received the highest value for lightweight concrete, which was an order of magnitude higher than the other values.

It can be seen from Table 1. that in the Fekete Building physics handbook book the plastic foam insulators in general and the mineral wool had the same Z value. The lightweight concrete had the biggest difference from my results compared to the literature data. This is owing to the preparation of the lightweight concrete. Presumably, other technologies and compositions were used to produce the samples than those listed in the nearly 30 years of written literature. The necessity and legitimacy of my research is further strengthened by the fact that existing databases are now obsolete, and newer values are needed. In addition, it is necessary to determine for which substances cannot the moisture-related thermal conductivity supplement be interpreted.

With the $\lambda_n = \lambda_{sz} \cdot \left(1 + \frac{\omega Z}{100}\right)$ equation I determined the moisture-related thermal conductivity supplement, the Z value, for the measured materials at 20 °C and 90 % relative humidity. I got Z values for EPS 30 1.02 ± 0.11 m/m %, plasterboard 8.36 ± 1.26 m/m %, grey EPS 2.8 ± 0.29 m/m %, and lightweight concrete 27.87 ± 2.16 m/m %. I assumed that the Z value cannot be defined for mineral wool, cork and foam concrete. I assumed that the foamy plastics must be handled separately. I compared my measurements with the Hungarian and foreign literature and I found relevant differences.

Thesis 4. Relationship between specific heat capacity and wetting time

From the examined samples, 16 hypothetical structures were created which were used for calculations. From the measured samples, 16 hypothetical structures were created which were used for calculations. In the structures, I used solid brick, foam concrete and lightweight concrete for load-bearing. These building materials were combined with mineral wool, grey EPS, EPS 30, yellow XPS and corkboard insulations. With these combinations, I created 15 heavy structures and using plasterboard and mineral wool a lightweight structure. I calculated the heat capacity for the structures for the dry conditions and after 4, 8, 12, 16, 20 hours of wetting. It should be noted that compact, closed-cell materials (cork, yellow XPS and solid brick) where only moisture adsorption occurred were regarded as moisture independent substances in my calculations.

I documented three tendencies in the function of the heat capacity and wetting time: independent, slightly dependent and sensitive to the wetting time.

Table 4. The structure of relationships between specific heat capacity and wetting time

	<i>Solid brick</i>	<i>Lightweight concrete</i>	<i>Foam concrete</i>
<i>Mineral wool</i>	<i>slightly dependent to the wetting time</i>		<i>sensitive to the wetting time structure</i>
<i>Grey EPS</i>	<i>independent of the wetting time</i>		
<i>EPS 30</i>			
<i>Yellow XPS</i>			
<i>Corkboard</i>			
<i>Lightweight structure</i>			

Thesis 5. Analysis of the change of the specific heat loss coefficient of buildings resulted by the variation of the geometry and the moisture load.

Moisture can affect other factors in the quality of the indoor environment, such as mean radiation temperature, thermal conductivity of the wall, or air quality. The high relative humidity leads to the change of the phenomena. Moisture is the main cause of deterioration of mechanical and thermal properties of building structures. I have studied the effect of wetting time of 16 different building structures with varying A/V ratios (A = heated shell surface area, V heated building volume). By changing the geometry (A/V ratio) and the materials more than 300 nearly zero energy demand building structures were investigated from the aspect of economics and specific heat loss coefficient change. The results were divided into two types (A and B), based on their upper limit compliance. In type A, the generated building exceeded the upper limit at certain A/V ratios during a 20-hour wetting time. There are two subtypes within type B the first one (B1) subtype is those structures that have only slightly changes in their q values due to moisture. In the second subtype (B2), the waterproof property did not experience change in the q value as a function of the wetting time. The most important feature of both subtypes is that the q value only exceeded the upper limit by the increase of the A/V ratio.

Table 5. Specific heat loss change types

	Solid brick	Lightweight concrete	Foam concrete
Mineral wool	A		
Grey EPS	B2		
EPS 30	B1		
Yellow XPS	B2		
Corkboard			
Light-weight structure			A

With the comparison of the materials of the structures I concluded that the insulation has a larger part in the buildings thermal balance. Considering the positive thermal properties and economic aspects I have chosen favourable building structures. From the structures, the EPS 30 insulated solid brick structure has the lowest specific cost and q value change. If the wetting time takes long (20 hours) the grey EPS with solid brick becomes more favourable.

Thesis 6. Investigating the impact of different environmental climates with a simulation program

I have selected a building from the ones that were moisture loaded. This building was placed in districts of five different capital cities (Vienna, Bucharest, Budapest, Bratislava and Zagreb) in five different climate zones. For each of the variants listed above, I calculated the specific annual primary energy demand of the building, the heating energy demand and the transmission losses for the transition period. I took the months of March, April, May, September, October and November for the transitional period. My examination has focused on these period, because there are heating demands and the relative humidity is high. I have classified the structures into three groups. The aspect of the grouping was the sensitivity to wetting time. In the first group, there was no significant change as a function of wetting time. From the diagram of the structures in the second group a flat, low-slope tendency can be determined. For these structures, the periodic change to specific area was less than $10 \text{ kWh m}^{-2} \text{ period}^{-1}$. In the third group, I sorted the structures whose periodical transmission losses per square meter and the heating energy demand were greater than $10 \text{ kWh m}^{-2} \text{ period}^{-1}$.

Table 6. Structure sensitivity to wetting time

	Solid brick	Lightweight concrete	Foam concrete
Mineral wool	3 rd group		
Grey EPS	2 nd group		
EPS 30			
Yellow XPS	1 st group		
Corkboard			
Lightweight structure			2 nd g.

From the result of my simulations I concluded that the polystyrene foams are effective insulators compared to the mineral wool owing to that their thermal conductivity showing less dependency on the moisture content; thus, it is better from the energetic point of view. The mineral wool also showed low energy levels at shorter wetting time, however at longer wetting time it had outstanding energetic levels which resulted big losses. If we consider the climatic parameters the Vienna region has the highest heating energy demand. In the regions of Bratislava and Budapest the energy demands are close to each other, followed by the values of Bucharest region. From the examined regions Zagreb showed the mildest climate.

Thesis 7. Effect of the air motion on the heat transport behaviour of wall structures

In the University of Debrecen Faculty of Engineering Building Physics Laboratory, I measured the thermal resistance of an insulated and an uninsulated wall structure under forced and un-forced convection of air. In my examinations, I focused on possible methods of calculating the convective surface heat transfer coefficient and compared them to my measured results. In the comparison, I pointed on the similarities and differences. In my measurements, due to the closure of the chamber the solar gains were neglected.

Table 7. Convective heat transfer coefficients

cases	h_{c1} [W m ⁻² K ⁻¹]	h_{c2} [W m ⁻² K ⁻¹]	h_{c3} [W m ⁻² K ⁻¹]
case 1.	3,10	2,96	4
case 2.	3,54	15,27	8
case 3.	3,54	15,94	8
case 4.	3,54	15,62	8
average	3,54	15,61	8
case 5.	3,52	4,45	4
case 6.	3,55	13,91	8
case 7.	3,56	14,53	8
case 8.	3,55	14,7	8
average	3,55	14,38	8

In Table 7., I collected the heat transfer coefficients from my measurements (h_{c1}), similarity calculations (h_{c2}) and from the evaluation of a standard method (h_{c3}) for the insulated (case 1-4) and uninsulated (case 5-8) state. It can be seen that the direction of the air movement has no effect in the heat transfer, only the velocity of the air flow changes it. Comparing the heat transfer factors, there are large differences. The insulated wall had a 25% deviation between the measured and the calculated results at un-forced flow. In the uninsulated cases, these values decreased further to 20%. However, at the forced flows there are an order of magnitude difference between the measured and the calculated results. The measured results recorded the highest values. I found more than fourfold difference between the theorems of similarity and the measured values, while the standard gives up to half the value at the same air velocity compared to my measurements.

I have pointed out that the direction of air motion has no effect on the heat transmittance only the velocities along the wall are important. I showcased that calculations with the standard and the similarity theory results have lower values than my measured values. The lower values can lead to big differences at the early stage of the design. I highlighted that the standard does not differentiate whether the wall is insulated or not, only the velocities matter along the wall. In calculations based on similarity theory, the effect of thermal insulation is minor. I showed that the insulation has an effect on the convective heat transfer coefficients.



Registry number: DEENK/264/2017.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Ferenc Szodrai
Neptun ID: L1Z3SB
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10044581

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

1. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Különböző éghajlati viszonyoknak kitett épületek fűtési energiafelhasználásának csökkentése hőszigeteléssel.
Energiagazdálkodás. 57 (3-4), 26-29, 2016. ISSN: 0021-0757.
2. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Építőanyagok nedvességfelvételének vizsgálata.
Magy. épülgép. 63 (1-2), 33-36, 2014. ISSN: 1215-9913.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

3. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Effect of the air motion on the heat transport behaviour of wall structures.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 8 (1), 67-73, 2017. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2017.8.1.10>
4. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Simulations of the Changes of the Heating Energy Demand and Transmission Losses of Buildings in Central European Climate: Combination of Experiments and Simulations.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 6 (2), 129-139, 2015. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2015.6.2.6>

Foreign language scientific articles in international journals (4)

5. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Effect of the Moisture in the Heat Storage Capacity of Building Structures.
Appl. Mech. Mater. 861, 320-326, 2017. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.320>
6. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Effect of wetting time in the sorption and in the thermal conductivity of the most commonly used structural materials.
Building Serv. Eng. Res. Technol. 38 (4), 475-489, 2017. ISSN: 0143-6244.
IF: 0.67 (2016)



7. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á., Kalmár, F.: Analysis of the change of the specific heat loss coefficient of buildings resulted by the variation of the geometry and the moisture load.
Energy. 115 (1), 820-829, 2016. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.073>
IF: 4.52
8. **Szodrai, F.**, Lakatos, Á.: Measurements of the thermal conductivities of some commonly used insulating materials after wetting.
Environ. Eng. Manag. J. 13 (11), 2881-2886, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF: 1.065

List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (3)

9. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Szélcsatornaépítés a gyakorlatban = Wind tunnel making in practise.
IJEMS. 2 (1), 19-24, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.1.4>.
10. Molnár, I., **Szodrai, F.**: Intelligens napelemes rendszer vizsgálata = Analysis of smart photovoltaic systems.
IJEMS. 1 (2), 67-75, 2016. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.9>.
11. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Létesítmény szélergia hasznosításának lehetőségei = Wind energy harnessing options at buildings.
IJEMS. 1 (2), 51-58, 2016. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.7>.

Hungarian conference proceedings (2)

12. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Az alföldi szélergia-potenciál vizsgálata = Investigation of Wind Energy Potential in the Great Hungarian Plain.
In: A XXI. Fiatal Műszaki Tudományos Ülésszaka előadásai = Proceedings of the XXIth National Scientific Conference of Young Engineers. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 233-236, 2016, (Műszaki tudományos közlemények, ISSN 2393-1280 ; 5.)
13. Kostyák, A., **Szodrai, F.**: Szélergetikai vizsgálatok adott turbinatípusok mellett.
In: Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 253-260, 2016. ISBN: 9789637064333



Foreign language conference proceedings (1)

14. Lakatos, Á., **Szodrai, F.**: Comparison of the Thermal Properties of Different Insulating Materials.
In: 8th International Conference Buildings and Environment 2013. International Conference Proceedings. Ed.: Katarína Minarovicová, Jozef Hraska, STU, Bratislava, 448-453, 2013.
ISBN: 9788022740708

Total IF of journals (all publications): 6,255

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 6,255

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

29 August, 2017

