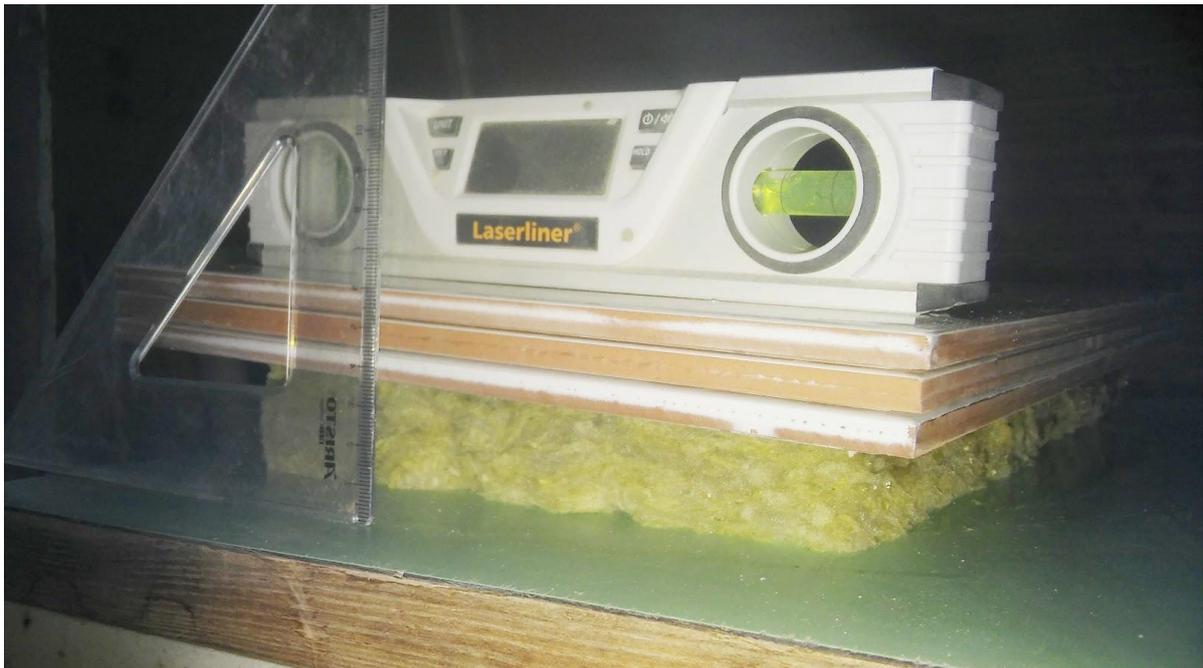


## Hőszigetelések természete, elmélet és realitás



Készítette: Polgár László

Konzulens: Dr. Fülöp Zsuzsanna PhD

Krüpl Boglárka

Dr. Várfalvi János PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki Kar

Épületszerkeztani Tanszék

2016

## Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b> .....	2
<b>2. Az energetikai szabályozás fejlődése – áttekintés</b> .....	2
<b>3. A gyakorlatban történő méretezés hiányosságai - probléma felismerés</b> .....	5
<b>4. A deklarált hővezetési tényező elmélete</b> .....	5
<b>5. A hővezetési tényező tervezési értéke</b> .....	6
<b>5.1 A hővezetési tényező tervezési értékének elmélete</b> .....	6
<b>5.2 A hővezetési tényező tervezési értékének számítása</b> .....	7
<b>5.3 Vizsgált hőszigeteléseinkre vonatkozó hővezetési tényező tervezési értékek számítása</b> .....	11
<b>6. Hőszigetelések anyagtulajdonság vizsgálatai</b> .....	20
<b>6.2. Nedvességfelvétel</b> .....	21
<b>6.3. Fagyás-olvadás ciklusok vizsgálata</b> .....	24
<b>6.4. Összenyomódás vizsgálatok</b> .....	30
<b>7. Célkitűzés, javaslatok jövőbeni kutatásokra</b> .....	34
<b>7.1. Jelenlegi kísérleteink bővítése</b> .....	34
<b>7.2 A tervezési hővezetési tényező adaptációjának teljessé tétele</b> .....	34
<b>7.3 Egy egyszerűsített eljárás bevezetése hővezetési tényező változásának leírására</b> 35	
<b>8. Köszönetnyilvánítás</b> .....	37
<b>9. Irodalomjegyzék</b> .....	38
<b>10. Hivatkozások</b> .....	39

## **1. Bevezetés**

Napjainkban a hőszigetelések választékának egyre szélesedő skálája segíti a minőségi tervezést, hiszen minden épülettel, illetve azok minden szerkezetével szemben más és más követelményeket támasztunk az eltérő funkciók, hatások és igénybevételek miatt. Az adott szerkezethez minden eshetőséget figyelembe véve kell kiválasztani a fennálló körülményeknek legmegfelelőbb terméket. A hőszigetelő anyagok terén tapasztalt túlzott diverzitás, valamint az egyre részletesebbé, s egyúttal bonyolultabbá váló számítási, és korrekciós módszerek azonban komplexebb, átfogóbb ismeretet és alkalmazást követelnek meg napjaink tervezőitől.

Az épületek hővédelméről szóló kitételeket, alapelveket, követelményeket különböző rendelkezések, szabályozások, illetve ezeket kísérő szabványok határozzák meg. Ezek együttes átlátása és a köztudatban való rendszeres aktualizálása kiemelten fontos, hiszen e korlátok között adhatunk egységes irányt minden tervező számára, s nem utolsó sorban épületeink energiahatékonyságára, ezáltal közvetve a klímaváltozásra is hatással lehetünk.

Dolgozatunk célja a hőszigetelés sajátos természetén keresztül rávilágítani napjaink energetikai tervezésének hiba lehetőségeire, gyakorlati hiányosságaira, valamint olyan tényekre, problémakörökre, melyek felett a szakmabeliek nagy része elsiklik a rendelkezések és szabványok útvesztőiben. Fontosnak tartjuk, hogy az egyre szigorodó követelményrendszer minden szempontból kifogástalan, a tervezők számára átláthatóbb rendszert alkosson.

## **2. Az energetikai szabályozás fejlődése – áttekintés**

Az energetikai szabályozás gyakorlati eszközei a követelményrendszereken keresztül mutatkoznak meg. Napjaink egyre szigorodó követelményrendszere hosszú folyamat révén érte el azt a színvonalat, ahol most tart – s ahonnan hamarosan egy újabb lépcsőfokot kíván tenni.

Magyarországon az 1965-ben kiadott ME 30-65 Műszaki Előírás rendelkezett először az épületek tervezéséről hőtechnikai szempontból, amelynek célja elsősorban a megfelelő állagvédelem volt, azonban kisebb mértékben a nyári hővédelemmel is foglalkozott. Ez az előírás kezdetben nem számított általánosan kötelező érvényűnek, ugyanakkor támpontot nyújtott elődeinknek épületeik hővédelmi tervezése során. Ajánlott értékeket adott a legfontosabb külső és belső épülethatároló szerkezetek megkívánt hőátbocsátási tényezőire, illetve a hőhidak helyére egyszerűsített módon, 10%-kal szigorúbb követelmény vonatkozott.

1979-ben jelent meg az első hőtechnikai szabvány MSZ-04-140/2-79 "Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hőtechnikai méretezés" címmel. Az immár kötelező érvényű követelmény jelentős előrelépést tett a hőátbocsátási értékek csökkentésében, új épületszerkezeti elemek kerültek be a követelményrendszerbe, valamint a hőhidakat 5 különböző alaptípusra osztották.

1986-ban (MSZ-04-140/2-85) ugyan kis mértékben, de tovább szigorodtak a hőátbocsátási követelményértékek, a hőhidakkal kapcsolatos számítási módszerek kibővültek és részletesebbé váltak. A szabvány egésze azonban továbbra is méretezésbeli egyszerűsítésekkel élt, a valóságos jelenségeket egyszerűsített épületfizikai modelleken keresztül tárgyalta.

1992-ben megszületett új szabvány (MSZ-04-140/2-91) meglehetősen összetetté vált, „a számítási módszereiben föl hagy a korábbi, úgynevezett idealizált egydimenziós hőáramlás elfogadásával, helyette a valóságot jobban leíró többdimenziós hőáramokat és többdimenziós hőmérséklet mezőket igyekszik figyelembe venni a hőtechnikai méretezés során.” Nem határoz meg követelményértéket egy-egy konkrét szerkezet hőátbocsátási tényezőjére, hanem az épület fűtött térfogata és lehűlő felülete alapján szabja meg az egész épületre vonatkozó átlagos hőátbocsátási tényező követelményértéket. Folyamatosan használt épület esetén:  $k = 0,6 + 0,1 \cdot (V/\Sigma A)$ . Emellett kitér az épületszerkezetek páratechnikai méretezésére, valamint az építőanyagok beépítés során bekövetkező és beépített állapotbeli hővezetési tényező változására, mely számíthatóságára korrekciós értékeket ad meg. Továbbá figyelembe vette a szoláris nyereségeket is.

	1965	1979	1986
Épületszerkezetek	k (W/m <sup>2</sup> K)	k (W/m <sup>2</sup> K)	k (W/m <sup>2</sup> K)
Külső falak	1,45*	0,85	0,70
Lakáselválasztó és lépcsőházi falak	2,13	-	-
Legfelső emelet feletti lapos vagy lejtős tető	0,96	0,40	0,40
Padlástér alatti földem	1,12		
Homlokzat hőhidakkal* együtt	-	2,30	2,30
általában			
	-	1,80	1,50
		családi ház	
Ablakok és erkélyajtók	-	-	3,00

*A hőátbocsátási tényező (2006 előtt "k") követelményértékének változása – 1. Táblázat*

2006-ban megszületett – az Európai Parlament és a Tanács 2002/91/EK irányelvében foglaltak szerint – „az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló hazai 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet, mely energetikai követelményértékeket állít fel, és számítási módszert ad azok kielégítésének igazolására. Ezzel gyakorlatilag felülírja az MSZ-04-140/2:1991

szabvány hővédelmi teljesítmény igazolásával foglalkozó bekezdéseit.” A rendelet hármas követelményszintet állapít meg, melyeket az épületeknek teljesíteni kell:

- A. hőátbocsátási tényező - 15 év után ismét visszahozza a határoló szerkezetek a '79-es és '86-os szabványban megismert "k" követelményértéket, a korábbihoz képest részletesebben taglaltabb és szigorúbb határértékekkel ("k" helyett "U" (EU) jelölés)
- B. fajlagos hőveszteség tényező - a tervezett épület geometriai viszonyai függvényében meghatározott követelményértékkel kell összehasonlítani az épület egységnyi fűtött térfogatra vetített fajlagos hőveszteség tényezőjét
- C. összesített energetikai jellemző - a tervezett épület geometriai viszonyai függvényében meghatározott "Ep" követelményérték, melynek számértékével az épület gépészeti és elektromos berendezéseinek egységnyi fűtött alapterületre vetített, primer energiahordozóra átszámított energiaigényét kell összehasonlítani.

A rendelet lehetőséget biztosít számítása során a felületi és a vonalmenti hőveszteségek mellett a napsugárzásból származó hőnyereség figyelembe vételére is. Minderre egyszerűbb, és részletesebb számítási eljárásokat és megoldásokat ajánl. A korábbi, a hővezetési tényező beépítéssel és egyéb paraméterrel járó korrekciós értékeit pedig felváltotta az MSZ EN ISO 10456 szabványban előírt adaptációs számítási eljárás, mely általános megoldást ad a vonatkozó problémakörre.

A 20/2014 (VII.7.) BM rendelet a 2006-ban kiadott energetikai szabályozás módosítását, szigorítását jelenti, mely minden bizonnyal tovább folytatódik a jövőben.

	2006	2015	2019
Épületszerkezetek	U (W/m <sup>2</sup> K)	U (W/m <sup>2</sup> K)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Homlokzati fal	0,45	0,24	0,20
Lapostető	0,25	0,17	0,14
Fűtött tetőteret határoló szerkezetek	0,25	0,17	0,14
Padlás és búvótér alatti födém	0,30	0,17	0,14
Árkád és áthajtó feletti födém	0,25	0,17	0,14
Alsó zárófödém fűtetlen terek felett	0,50	0,26	0,22
Fűtött és fűtetlen teret határoló szerkezetek	0,50	0,26	0,22
Szomszédos fűtött épületek közötti fal	1,50	1,50	1,50
Talajjal érintkező fal 1 m mélységig	0,45	0,30	0,25

*A hőátbocsátási tényező (2006 után "U") változása – 2. Táblázat*

Összességében elmondható, hogy az elmúlt fél évszázad alatt jelentős előrelépések születtek épületeink hővédelme terén, a hőátbocsátási tényezők követelményértékének változásán, a

hőhidak figyelembevételén és számításán, a fajlagos hőveszteségtényezőn, a beépítéssel és más egyéb korrekciók figyelembe vételén át, egészen az összesített energetikai jellemzőig.

### **3. A gyakorlatban történő méretezés hiányosságai - probléma felismerés**

Épületeink hővédelméről nagyrészt hőszigetelő anyagokkal gondoskodunk. Ezen épületszerkezeteink hőátbocsátás méretezésének az „alapja a gyártás, az építés, és a rendeltetészerű használat során fellépő hatásoknak kitett anyag hővezetési tényezője.” Ma a hőszigetelő anyagok szigorú gyártási folyamatok, szabványok és minősítési eljárások közt kerülnek ki a gyártók üzeméből. Szigorú körülmények közt, laboratóriumban határozzák meg a gyártott termék tulajdonságait, így a termék elsődleges paraméterét, a hővezetési tényezőt is. Az itt mért eredmények képzik a deklarált hővezetési tényező alapját (MSZ EN ISO 10456), melyet minden gyártó köteles feltüntetni gyártói adatlapján, illetve a forgalmazásba kerülő hőszigetelésekhez mellékelni.

A mai gyakorlat gyakran figyelmen kívül hagyja azt az alapvető ténytet, melyet a deklarált hővezetési tényezővel kapcsolatban a vonatkozó szabvány meghatároz: a laboratóriumi eredmények szabványosított körülmények közt kerülnek meghatározásra, ezért a tervezési körülményeket figyelembe véve kell elvégezni a deklarált értékek adaptációját a tervezési körülményekre, mely végső soron a tervezési hővezetési tényezőhöz juttatja a tervezőt. Ez az eljárás (MSZ EN ISO 10456), mely felváltotta az MSZ-04-140/2-91 szabvány által bevezetett korrekciós számítás, ami leírja az építőanyagok beépítése által, ill. beépített szituációban bekövetkező hővezetési tényező változását. Ez az a lépés, melyet ma rendszeresen kihagynak a tervezés során.

### **4. A deklarált hővezetési tényező elmélete**

Az MSZ EN ISO 10456 szabvány alapján a deklarált hővezetési tényező az adott építőanyag vagy termék egy olyan hőfizikai értéke, mely az ajánlott hőmérsékleti és páratechnikai feltételek között mért értékek alapján várható a vizsgált anyagok egy megállapított hányadrészére (90%) vonatkozóan, egy meghatározott (90%) biztonsági szint mellett, a normál körülmények között feltételezhető üzemi élettartamnak megfelelően.

A deklarált hővezetési tényező meghatározása 10 °C, vagy 23 °C hőmérsékleten kell, hogy történjen, mind két esetben mesterségesen szárított (a gyártó által meghatározandó tetszőleges alacsony páratartalom) vagy 50%-os relatív páratartalmú közegben. Azonban ezeket a gyártók

többnyire vagy nem veszik figyelembe, vagy a választott mérési körülményeket nem közlik. Ez azért probléma, mert így az érték vizsgálati körülményekben nem definiált, ezért a további számításokhoz (pl. a tervezési értékek meghatározásához) szükséges adaptációk, referencia nélkül nem végezhetők el.

Adott hőszigetelő anyag deklarált hővezetési tényezőjének számítása a következőképpen történik. Laboratóriumi körülmények között megméri a tetszőleges, de egynél minden esetben több darabszámú mintaanyag hővezetési tényezőjét. Ezek közül kiválasztják a kedvezőtlenebb, jobboldali tűréstartományba eső értékek 90% át. (A 10%-ot jelentő legnagyobb értékeket elvetik). A kapott adatokból statisztikai eszközökkel kerül meghatározásra a deklarált érték, amely kifejezésre juttatja azt a statisztikai tényt is, hogy a mérések megismétlése során az átlagos értékek szórnak, azonban ebből adódóan is a kapott érték 90%-os megbízhatóságot jelenít meg.

Ez pusztán egy piaci adatot képvisel, nem tud konstans referenciaérték lenni, hiszen ha például egy másik évben mérnek, vagy több mintából, esetleg egy másik gyártás anyagaiból származtatják a deklarált értéket, a kapott számadat eltolódhat, erre vonatkozik a 90%-os bizonyossági feltétel.

## **5. A hővezetési tényező tervezési értéke**

### **5.1 A hővezetési tényező tervezési értékének elmélete**

Az MSZ 04-140-2:1991 szabvány kimondja: „A méretezés alapja a gyártás, az építés és a rendeltetészerű használat során fellépő hatásoknak kitett anyag hővezetési tényezője. A méretezés során lehetőleg a felsorolt hatásokat tükröző mérésből származó adatokat kell felhasználni.” Ezek hiányában pedig a mellékletekben meghatározott adatok a mértékadók.

Az MSZ EN ISO 10456 szabvány meghatároz egy olyan eljárást, mely lehetővé teszi, hogy egy bizonyos körülmény-rendszer fennállása során kapott értékeket adaptálni tudjuk egy másik kísérleti körülmény-rendszerre, amennyiben a környező léghőmérséklet  $-30\text{ °C}$  és  $+60\text{ °C}$  között alakul.

Fontos tudnunk, hogy egy adott terméknek számos tervezési értéke lehet a különböző alkalmazási területektől és környezeti feltétel-rendszerektől függően. Az építőanyagok és termékek hővezetési tényezőjének tervezési értéke olyan külső, vagy belső körülményekre vonatkozóan határozandó meg, melyek a beépített állapotban fellépő általános viszonyokra jellemző.

A kísérleti feltételek tekintetében a szabvány előírja, hogy a mintadarabokat vagy 10 °C, vagy 23 °C hőmérsékleten és mind a két esetben opcionálisan vagy mesterségesen szárított, alacsony páratartalmú, vagy 50%-os relatív páratartalmú közegben kell vizsgálni. A minták korát előzetesen meg kell állapítani, vastagságát és sűrűségét le kell mérni, a vizsgálat során pedig lekövetendő az anyagok változó nedvességtartalma és az átlaghőmérséklet is.

## 5.2 A hővezetési tényező tervezési értékének számítása

Amennyiben a deklarált érték meghatározása során fennálló kísérleti körülmények relevánsak az adott hőszigetelő anyag alkalmazási körülményei esetén is, úgy tekinthetjük azokat automatikusan tervezési értéknek is. Minden más esetben az adatokat transzformálni kell a beépítési körülmények között fennálló körülményekre vonatkozóan, vagy a várható környezeti paramétereknek megfelelő közegben kell méréseket végezni.

A hőtechnikai értékek egyik feltétel-együttesből ( $\lambda_1, R_1$ ) egy másik feltétel-együttesbe ( $\lambda_2, R_2$ ) való adaptálásánál a következő két összefüggés alapján kell eljárunk:

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T F_m F_a$$

$$R_2 = \frac{R_1}{F_T F_m F_a}, \text{ ahol}$$

$\lambda_1$  a hővezetési tényező deklarált értéke [W/(m·K)]

$\lambda_2$  a hővezetési tényező tervezési értéke [W/(m·K)]

R a hőellenállás [m<sup>2</sup>·K/W]

$F_T$  a hőmérséklet konverziós tényező

$F_m$  a páratartalom konverziós tényező

$F_a$  az anyag kifáradási konverziós tényező.

A hővezetési tényező számítása alapvetően három pilléren nyugszik. Ezek a hőmérséklet, a páratartalom és az öregedés adaptációja.

### A hőmérséklet adaptációja:

$$F_T = e^{f_T(T_2-T_1)}, \text{ ahol}$$

$f_T$  a hőmérséklet konverziós tényezője [K<sup>-1</sup>]

$T_1$  az első feltétel-együttes léghőmérséklete [K]

$T_2$  a második feltétel-együttes léghőmérséklete [K].

A tervezési értéket a beépített hőszigetelő anyagot érő várható éves átlag hőmérsékletre vonatkozóan kellene származtatni, vagy érdemes volna az év legszélsőségesebb termikus viszonyai alapján kalkulálni. Ez alapján tehát figyelembe kéne venni a nyári kiemelkedő hőterheléseket (Magyarországon az utóbbi évben, 2015. augusztus 12-én a legmagasabb hőmérsékletet Budakalászon mérték, 39,6°C-t), illetve télen a páradiffúziós méretezéseknél is alkalmazott, pára lecsapódási szempontból mértékadó -2°C-on lenne érdemes vizsgálni. A téli és nyári szituációkból eredő  $\lambda$  értékek közül a magasabb tekintendő tervezési értéknek.

A páratartalom adaptációja:

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)}, \text{ ahol}$$

$f_u$  a páratartalom tömegarány szerinti konverziós tényezője [kg/kg]

$u_1$  az első feltétel-együttes tömegarány szerinti páratartalma [kg/kg]

$u_2$  a második feltétel-együttes tömegarány szerinti páratartalma [kg/kg], vagy

$$F_m = e^{f_\psi(\Psi_2 - \Psi_1)}, \text{ ahol}$$

$f_\psi$  a pára térfogatarány szerinti konverziós tényezője [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

$\Psi_1$  az első feltétel-együttes térfogatarány szerinti páratartalma [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

$\Psi_2$  a második feltétel-együttes térfogatarány szerinti páratartalma [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>].

A tervezési értéket a beépített hőszigetelő anyagot érő, előbbi pontban tárgyalt mértékadó hőmérséklethez tartozó egyensúlyi páratartalomra szükséges adaptálni.

#### **Az anyagkifáradás adaptációja:**

Ennek vizsgálatától szinte minden esetben eltekintenek a tervezők, hiszen meghatározása nem könnyű feladat. Nincsenek rá egyszerű szabályok, hogy milyen összefüggés írható fel az anyag öregedése és egy adott minta felett eltelt idő között, de természetesen függ az anyag típusától, kialakításától, szerkezetétől, páraáteresztő képességétől, a vastagságától, a beépített helyzetben

érő hőmérséklettől, annak ingadozásától, a lágyabb anyagok roszakadásától, tömörödésétől és egyéb hatásoktól, melyekre bővebben kísérleti vizsgálataink terjednek ki.

Ha a mért hővezetési tényező és ellenállás már figyelembe veszi az anyag fáradását, nem kell további transzformációkat végeznünk ezzel a tényezővel a tervezési értékek számításához. Ha használjuk az  $F_a$  konverziós faktort, megkaphatjuk az öregedett anyag hőtechnikai teljesítményének értékeit, de ezek minimum az élettartalmuk felén túl megjelenő romlást mutatják ki. Ezt a használati élettartamot többnyire 50 évnek tekintjük.

Amennyiben a tervezési értéket a deklarált értékből kívánjuk számítani, és az az azonos statisztikai becslésen alapszik, a deklarált értéket kell a tervezési körülményekre transzformálni. Ha azonban mért értékekből származtatjuk ugyanazt, a mérési körülményeket kell a tervezési feltételeknek megfeleltetni, majd egy statisztikailag egyszeres értékbecslést kell végezni.

#### **Tervezési érték meghatározása mért értékekből:**

$$L_S = \bar{\lambda} + k_2(n; p; 1 - \alpha)s, \text{ ahol}$$

$L_S$  az az érték, amely megmutatja az egyoldalú statisztikai tolerancia intervallum határértékét

$\bar{\lambda}$  az átlagérték

$k_2$  az a tényező, amit az  $L_S$  érték meghatározásához használunk, mikor a mértékadó eltérés egyoldalú tolerancia intervallumon belül várható

$n$  a minták száma

$p$  az a részarány, amely megadja a statisztikai tolerancia intervallumba eső minták számát

$1 - \alpha$  annak az állításnak a biztonsági szintje, hogy a tolerancia intervallumba eső minták száma nagyobb, vagy egyenlő, mint a meghatározott  $p$

$s$  a minták mértékadó eltérése

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum(\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}, \text{ ahol}$$

$\lambda_i$  az  $i$ -edik mért érték

$$s = \sqrt{\frac{\sum(\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n - 1}}$$

Az  $L_S$  érték számítása után ezt az értéket adaptálnunk kell 10°C-ra:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T = \lambda_1 \cdot e^{f_T(T_2 - T_1)}$$

Ezzel megkaptuk a hővezetési tényező tervezési értékét.

### **Tervezési érték meghatározása deklarált értékből:**

Itt két eltérő tervezési érték meghatározási módszer lehetséges. Különbségük elhanyagolható, az előírt kerekítési szabályoknak megfelelő művelet elvégzése után ugyanazt az értéket kapjuk.

#### **Tervezési érték meghatározása 90%-os tűréstartományra:**

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}, \text{ vagy}$$

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)}, \text{ és}$$

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)}, \text{ és}$$

$F_a$ , majd

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T F_m F_a \text{ összefüggés alkalmazása.}$$

#### **Tervezési érték meghatározása középértékre:**

amennyiben ismert a mérések száma és a becsült szórás,

$$\bar{\lambda} = \lambda_{90} - \Delta\lambda, \text{ ahol}$$

$\lambda_{90}$  a 90%-os biztonsággal meghatározott deklarált hővezetési tényező érték

$\Delta\lambda$  hővezetési tényező értékek szórása

majd alkalmazzuk tervezési érték számításhoz a

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T F_m F_a \text{ összefüggést.}$$

A  $\underline{\lambda}$  kiszámítható, amennyiben ismerjük a mérések számát és a várható mértékadó eltéréseket. Ha ezek a mennyiségek nem ismertek, a  $\Delta\lambda$  érték kalkulálható a szakirodalomban, vagy szabványokban többnyire megtalálható  $\underline{\lambda}$  és  $\lambda_{90}$  értékekből.

A hővezetési tényező tervezési értékét az adott, választott hőszigetelés követelmény szerinti hőátbocsátási tényezőnek való megfelelésének ellenőrzésénél használjuk fel.

$$U = \left( \frac{1}{R_{si} + \frac{d}{\lambda_1 \cdot e^{fu(u_2 - u_1)} \cdot e^{fT(T_2 - T_1)}} + R_{se}} \right) + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \sum l\Psi + nX, \text{ ahol}$$

$U$	a hőátbocsátási tényező értéke [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$R_{si}$	a belső hőátadási ellenállás [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ]
$R_{se}$	a külső hőátadási ellenállás [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ]
$\Delta U_g$	a hőátbocsátási tényező korrekciós értéke a légrések okozta hőhid függvényében [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$\Delta U_f$	a hőátbocsátási tényező korrekciós értéke a mechanikai rögzítések okozta hőhid függvényében [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$\Delta U_r$	a hőátbocsátási tényező korrekciós értéke a fordított tetők okozta hőhid függvényében [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$\sum l\Psi + nX$	a hőátbocsátási tényező korrekciós értéke a további hőhidak függvényében

A képlet tehát tartalmaz minden olyan tényezőt, mely a hőszigetelés anyagának öregedését okozhatja, de ezeket nem, vagy igen nehezen tudjuk beszerezni, így az összefüggés alkalmazhatósága fenntartással kezelendő.

### 5.3 Vizsgált hőszigeteléseinkre vonatkozó hővezetési tényező tervezési értékek számítása

Az általunk vizsgált 8 különböző típusú hőszigetelés (pontosabb termék paramétereket lásd: 5. táblázat) alapvetően három termikus vizsgálati kategóriába sorolható be a hővezetési tényezőjük tervezési értékének számításánál beépítési pozíciójuk alapján:

- homlokzati, vagy lapostető/ erkély pozíciójú termikus réteg
- talajon fekvő padlóba installált termikus réteg
- magastető szerkezetében alkalmazott termikus réteg.

*Homlokzati, vagy lapostető, erkély szerkezetébe* való installálás esetén csak ezekre a funkciókra minősített hőszigetelést alkalmazhatunk. Az általunk elemzett minták közül ennek a feltételnek a Bachel XPS 300, a Bachel Nikecell EPS 100, Rockwool Frontrock RP-PT, Woodwool C, Bachel Extrapor EPS 80 és a Bachel Nikecell EPS 80H termékek felelnek meg.

Ezek közül egyre elvégzünk az alábbiakban egy demonstrációs számítást a hővezetési tényező tervezési értékének kalkulációjára.

A tervezési érték meghatározása 90%-os túréstartományra történik, mert nem ismerjük a szórást és a mérések számát.

A számítást a Rockwool Frontrock RP-PT termékre vonatkozóan végezzük el.

Feltételezünk egy

- 0,5 cm ragasztó rétegbe ágyazott háló erősítéses külső oldali vékonyvakolatot
- 15 cm Rockwool Frontrock RP-PT kőzetgyapot hőszigetelést
- 0,5 cm ragasztó réteget
- 1 cm külső oldali szél-és csapadékzáró vakolatot
- 38 cm PTH N+F kerámia falazatot
- 1 cm belső oldali lég-és párazáró vakolatot

tartalmazó rétegendet.

A gyártó nem közölte a mérései során fennálló körülményrendszert, így mi 23°C-os, 50% relatív páratartalmú légállapotot fenntartó laborkörülményekkel kalkulálunk a hővezetési tényező tervezési értékének meghatározásánál.

$$\lambda_{2 \text{ Rockwool Frontrock RP-PT}} = \lambda_1 F_T F_m F_a, \text{ ehhez}$$

$$F_{T, \text{Rockwool Frontrock RP-PT}} = e^{f_T(T_2 - T_1)}$$

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}$$

$F_a$  tényezőt tekintsük egységnyinek

Az  $F_T$  tényező számításához szükséges  $T_2$  meghatározása a hőszigetelésben keletkező átlaghőmérséklet számításával történik a tervezett rétegend függvényében.

A kalkuláció a következő értékek alapján történt:

Anyag	Vastagság [m]	Hővezetési tényező (közölt) [W/mK]
Rockwool Frontrock RP-PT	0,15	0,039
PTH 38 N+F	0,38	0,169

*Számítás kiinduló adatai – 3. Táblázat*

Feltételezett légállapotok:

- belső hőmérséklet +22 °C, 65%-os relatív páratartalom
- külső hőmérséklet télen -10 °C, nyáron +35 °C, mindkét esetben 85%-os relatív páratartalom

Hőellenállások meghatározása:

$$R_{\text{Rockwool Frontrock RP-PT}} = \frac{d_{\text{Rockwool Frontrock RP-PT}}}{\lambda_{\text{Rockwool Frontrock RP-PT}}} = \frac{0,15}{0,039} \\ = 3,846 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{\text{PTH 38 N+F}} = \frac{d_{\text{PTH 38 N+F}}}{\lambda_{\text{PTH 38 N+F}}} = \frac{0,38}{0,169} = 2,24 \frac{m^2K}{W}$$

$R_{\text{Összes}} = 3,846 + 2,24 = 6,087 \frac{m^2K}{W}$ , mert a vakolati és ragasztó rétegek hővezetési ellenállását elhanyagolhatjuk.

$$U_{\text{rétegrend}} = \frac{1}{R_{\text{Összes}}} = \frac{1}{6,087} = 0,164 \frac{W}{m^2K}$$

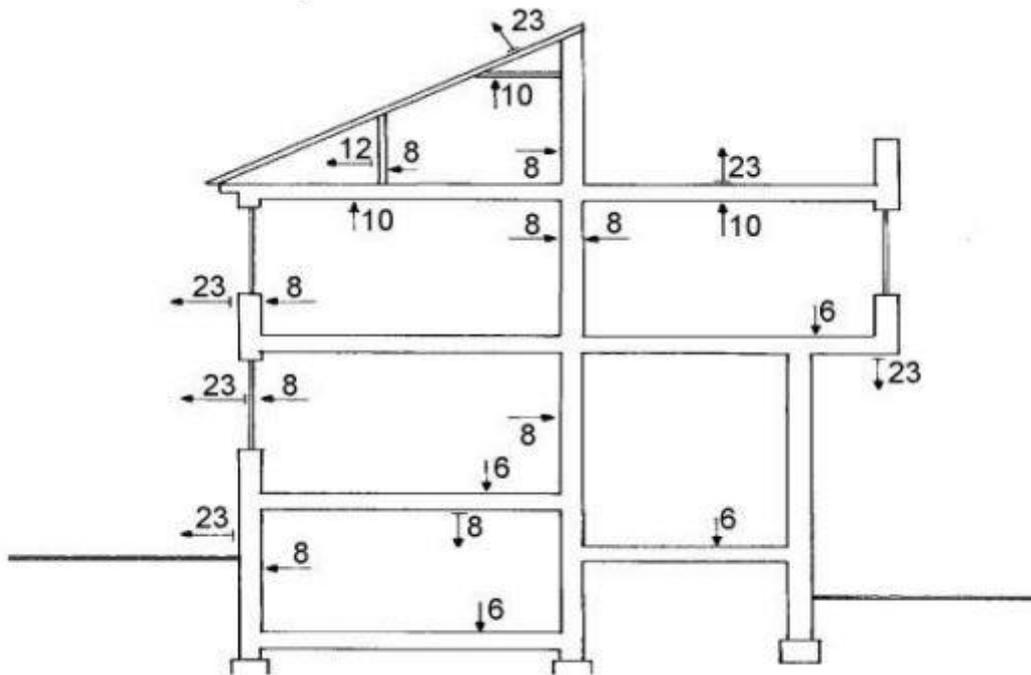
Szerkezetekben létrejövő hőáram:

$$q = U(t_i - t_e)$$

$$q_{\text{téli}} = 0,164(22 - (-10)) = 5,257 \frac{W}{m^2K}$$

$$q_{\text{nyári}} = 0,164(22 - 35) = 2,132 \frac{W}{m^2K}$$

Felületi hőmérséklet meghatározása:



*Hőátadási tényezők ( $\alpha$ ) – 1. Ábra*

- téli külső felület:  $\alpha_i(t_i - t_{hf}) = U(t_i - t_e)$   
 $23(-10 - t_{hf}) = 5,257$   
 $t_{hf} = \underline{-9,77^\circ\text{C}}$
- téli belső felület  $\alpha_i(t_i - t_{hf}) = U(t_i - t_e)$   
 $8(22 - t_{hf}) = 5,257$   
 $t_{hf} = \underline{21,34^\circ\text{C}}$
- nyári külső felület  $\alpha_i(t_i - t_{hf}) = U(t_i - t_e)$   
 $23(35 - t_{hf}) = 2,13$   
 $t_{hf} = \underline{35,2^\circ\text{C}}$
- nyári belső felület  $\alpha_i(t_i - t_{hf}) = U(t_i - t_e)$   
 $8(22 - t_{hf}) = 2,132$   
 $t_{hf} = \underline{22,26^\circ\text{C}}$



Az  $F_m$  tényező számításához szükséges  $u_2$  meghatározásához ki kell számolnunk a hőszigetelésben keletkező átlagos relatív páratartalmat a vázolt rétegrend függvényében.

A számítás a következő értékek alapján történt:

Anyag	Diffúziós ellenállás [ $\mu$ ]	Diffúziós tényező [ $10^{-9}$ kg/msPa]
Rockwool Frontrock RP-PT	1	-
PTH 38 N+F	5,7 – 3,1 ( $\approx 4,4$ )	0,029 – 0,053

*Számítás kiinduló adatai - 4. Táblázat*

Feltételezett légállapotok:

- belső hőmérséklet +22 °C, 65%-os relatív páratartalom
- külső hőmérséklet télen -10 °C, nyáron +35 °C, mindkét esetben 85%-os relatív páratartalom

Többrétegű szerkezetekben az egyes rétegekre jutó nyomáskülönbség úgy aránylik a teljes nyomáskülönbséghez, ahogyan a réteg diffúziós ellenállása aránylik a teljes rétegrend összellenállásához:

$$\frac{R_j}{\Sigma R_{\ddot{o}}} = \frac{\Delta p_j}{(p_1 - p_2)}$$

A fenti összefüggés alapján számítható a réteghatárokon a parciális nyomás értéke: a teljes nyomáskülönbséget olyan arányban osztjuk el az egyes rétegek között, ahogyan a rétegek diffúziós ellenállása aránylik a szerkezet összes diffúziós ellenállásához. A parciális nyomáseloszlás vonala egy homogén rétegen belül egyenes.”

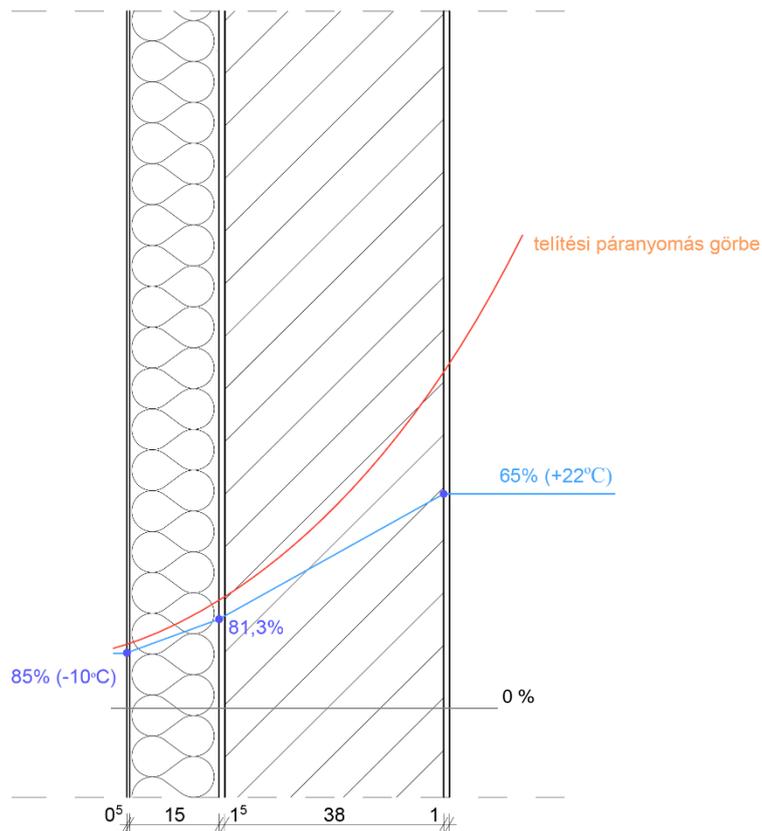
$$\frac{1}{5,4} = \frac{\Delta p_{h\ddot{o}szig}}{(85 - 65)} \rightarrow \Delta p_j = 3,7$$

$$\frac{4,4}{5,4} = \frac{\Delta p_{fal}}{(85 - 65)} \rightarrow \Delta p_j = 16,3$$

$85 - 3,7 = 65 + 16,3 =$  81,3 %-os a páratartalom a réteghatáron az összefüggés alapján.

A hőszigetelésen belüli átlagos téli páratartalom az általunk felállított feltételrendszerben :

$$\frac{85 + 81,3}{2} = 83,15\%$$



A vizsgált szerkezet páráviszonyainak alakulása (az előzőekben tárgyalt hőmérsékleti adatok függvényében) – 3. ábra

A kapott értékek alapján tehát a hővezetési tényező tervezési értékének számítása,

ha  $-10^{\circ}\text{C}$ -ra adaptáljuk:  $F_{T,\text{Rockwool Frontrock RP-PT}} = e^{f_T(T_2-T_1)}$

$$F_{T,\text{Rockwool Frontrock RP-PT}} = e^{0,0053 \cdot (-10-23)} = 0,8251$$

$$F_m = e^{f_\Psi(\Psi_2-\Psi_1)}$$

$$F_m = e^{4(0-0)} = 1$$

$$\lambda_{2 \text{ Rockwool Frontrock RP-PT}} = \lambda_1 F_T F_m F_a = 0,039 * 0,8251 = \mathbf{0,033 \text{ W/mK}}$$

Az  $f_\Psi$ ,  $\Psi_1$  értéket az MSZ EN ISO 10456. szabvány 4. táblázatából emeltük át, mely továbbá a  $\Psi_2$  értékre vonatkozóan egyértelművé teszi, hogy annak értéke szintén 0.

ha  $+35^{\circ}\text{C}$ -ra adaptáljuk:  $F_{T,\text{Rockwool Frontrock RP-PT}} = e^{f_T(T_2-T_1)}$

$$F_{T,\text{Rockwool Frontrock RP-PT}} = e^{0,0053 \cdot (35-23)} = 1,0636$$

$$F_m = e^{f_{\psi}(\psi_2 - \psi_1)}$$

$$F_m = e^{4(0-0)} = 1$$

$$\lambda_{2 \text{ Rockwool Frontrock RP-PT}} = \lambda_1 F_T F_m F_a = 0,039 * 1,0636 * 1 * 1 = \mathbf{0,041 W/mK}$$

Az  $f_{\psi}$ ,  $\psi_1$  értéket az MSZ EN ISO 10456. szabvány 4. táblázatából emeltük át, mely továbbá a  $\psi_2$  értékre vonatkozóan egyértelművé teszi, hogy annak értéke szintén 0.

A téli és nyári időszakra számított értékek közül a nyári a nagyobb, így ez lesz a tervezési  $\lambda$  érték, 0,041 W/mK.

A többi hőszigetelésre ugyanígy számítható tervezési hővezetési tényező értékük.

*Talajon fekvő padló* esetén csak minősített, lépésálló hőszigetelést alkalmazhatunk. Az általunk elemzett minták közül ennek a feltételnek a Bachel XPS 300 és a Bachel Nikecell EPS 100 termékek felelnek meg. Ebben a pozícióban a tervezési értéket a várható + 2°C-ra kell meghatározni, 100% relatív páratartalomra.

A tervezési érték meghatározása 90%-os túréstartományra kell, hogy történjen, mert nem ismerjük a szórást és a mérések számát.

$$\lambda_{D, \text{ Bachel XPS 300}} = 0,035 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{D, \text{ Bachel Nikecell EPS 100}} = 0,038 \text{ W/mK}$$

*Tetőtéri alkalmazás* esetén csak erre a funkciókra minősített hőszigetelést alkalmazhatunk. Az általunk elemzett minták közül ennek a feltételnek a Rockwool Multirock és a Knauf MPN termékek felelnek meg. Ebben a pozícióban a tervezési értéket a télen várható -10°C-ra, illetve a nyári várható 35°C-ra kell meghatározni.

A tervezési érték meghatározása 90%-os túréstartományra kell, hogy történjen, mert nem ismerjük a szórást és a mérések számát.

$$\lambda_{D, \text{ Rockwool Multirock}} = 0,039 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{D, \text{ Knauf MPN}} = 0,038 \text{ W/mK}$$

Némely termék több kategóriába is beleesik, így a mintánként számolt több eset eredményei közül ki kell választanunk a legmagasabb  $\lambda$  értéket, ezek lesznek a mértékadó hővezetési tényező tervezési értékek. Célunk a későbbiekben minden hőszigetelésre vonatkozó tervezési  $\lambda$  értéket mért adatainkkal is összehasonlítani.

## 6. Hőszigetelések anyagtulajdonság vizsgálatai

Az előzőekben bemutatott általános számítási módokat határozták meg arra, hogy az anyagokat érő hatások által bekövetkező, hő-és páratechnika szempontú anyagváltozást leírassák. Kísérleteink javarészt ezeknek a hatásoknak az anyagokban bekövetkező változását vizsgálják, céljuk, hogy az öregedési adaptációs vizsgálatok majdani számszerűsíthetőségét előkészítsék, illetve átfogóbb képet adjanak az eltérő hőszigetelés típusok viselkedéséről.

Vizsgálatainkkal beépített állapotú hőszigetelő anyagok beépített állapotban felmerülő szituációit szimuláltuk és ezeknek megfelelően vizsgáltuk anyag tulajdonságaikat. Ehhez feltérképeztünk valós, megtörtént hiba eseteket és feltételezhető hatásokat, hatás kombinációkat, melyeket az egyes vizsgálatoknál probléma vázlatábrák formájában ismertetünk.

### 6.1. Kiindulási paraméterek

Kísérleteink elvégzéséhez 8 különböző típusú hőszigetelést választottunk, melyek ma Magyarországon a legelterjedtebbek és legismertebbek. A minták mindegyike azonos áruházból származik, tehát feltételezhető, hogy a vizsgálatok megkezdése előtt közel azonos termikus és páratechnikai körülmények közt kerültek tárolásra.

Az alábbi táblázat a kiinduló paramétereket mutatják:

Termék megnevezése	Vastagság [mm]	Táblaméret [mm]	Kezdeti súly [g]	Nyomó feszültség CS[10]i (kP)	Hővezetési tényező (közölt) [W/mK]
Bachl Extrapor EPS 80, grafitral dúsított, homlokzati hőszigetelő lap	80	200 x 350	78	80	0,032
Bachl Nikecell EPS 80H, homlokzati hőszigetelő lap	50	200 x 350	52	80	0,039
Bachl Nikecell EPS 100, lépésálló hőszigetelő lap	50	200 x 350	55	100	0,038
Bachl XPS 300, lépésálló hőszigetelő lap	50	200 x 350	107	300	0,035
Woodwool C, fagyapot, hőszigetelő zsaluzó tábla	50	200 x 350	1347	200	0,074
Knauf MPN, kőzetgyapot, homlokzati-, zárófödém-és tetőszigetelés	50	200 x 350	118	-	0,038
Rockwool Frontrock RP-PT, kőzetgyapot, homlokzati hőszigetelés	50	200 x 350	467	40	0,039
Rockwool Multirock, kőzetgyapot, többcélú hőszigetelés	50	200 x 350	98	-	0,039

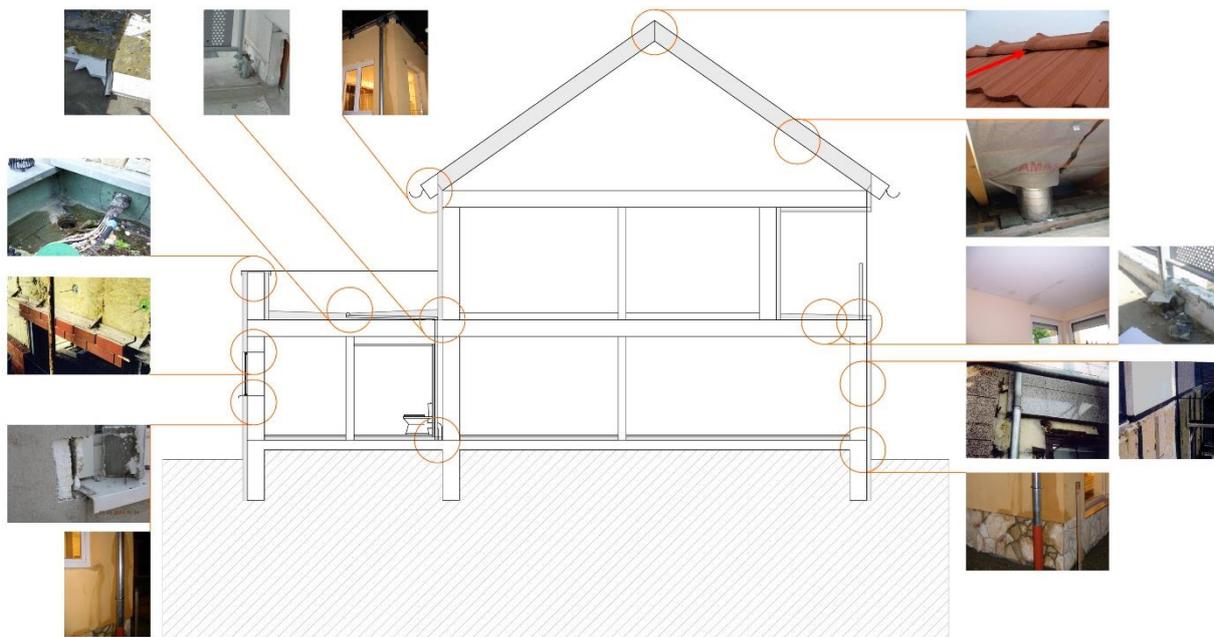
*Az általunk mért, ill. gyártók által megadott paraméterek – 5. táblázat*

## 6.2. Nedvességfelvétel

Épületeink használata során számos olyan hatás érheti a különböző szerkezeteket, melyek rendkívüli teherként érvényesülnek, hiszen tervezés során eddig nem számoltak velük, vagy nem annak megfelelően lettek méretezve.

Mennyiségétől és párolgásától függően a nedvességátadás is egy ilyen tényező lehet. Legfontosabb következménye, hogy a hőszigetelések teljesítményét jelentősen lerontja. Szerkezeti elváltozást, lágyabb anyagokban rokadást idézhet elő. Téli időjárás esetén a fagyás-olvadás ciklusok során a szerkezetben rekedt nedvesség komoly térfogatváltozáshoz vezethet. Egyes épületszerkezetek (például burkolatok) nem megfelelő kivitelezése, vagy időben bekövetkezett károsodása utat nyithat a nedvességnek, mely a szerkezeteinkbe jutva elérheti a hőszigetelő rétegeket is, ezáltal fokozatosan rontva azok anyagtulajdonságát.

Az alábbi problématerképpel szeretnénk felhívni a figyelmet azokra a helyzetekre, melyek a nedvességátadás szempontjából kimondottan kockázatos területnek minősülnek, hiszen már számos probléma adódott az alább felvázolt helyeken.



Ázasi veszélyek probléma térképe - 4. Ábra

Különösen veszélyesek azok a területek ahol csak hosszú idő elteltével vesszük észre, hogy a rendeltetészerű használatot gátló nedvesség került a szerkezetbe. Ilyen kritikus zóna például a talajon fekvő padlóban lévő hőszigetelés, hiszen ez hosszú hónapokon keresztül állhat vízben a szivárgó gépészeti vezetékek miatt, mire felfedezik, hogy a környező felületek is elszíneződtek a nedvességtől, esetleg már penészednek is. További kiemelten veszélyes zóna a

terasz, vagy járható tető, ahol az alattuk található helyiségek beázhatnak. A szél által visszafúj, esetleg más réseken bejutó eső az attikától továbbfolyva a hőszigetelés mögött már számtalan beázást okozott a vízzáró fólia nem megfelelő ablaktokhoz illesztése miatt. A csapadék ugyanígy megtalálja a külső szerkezetekben befelé vezető utat a nem megfelelő oldalsó peremezésű ablakpárkányoknál, a lábzatoknál, sőt, a tetőfedések alá bejutó mennyiség még a lazán fektetett vízzáró fóliák alá is.

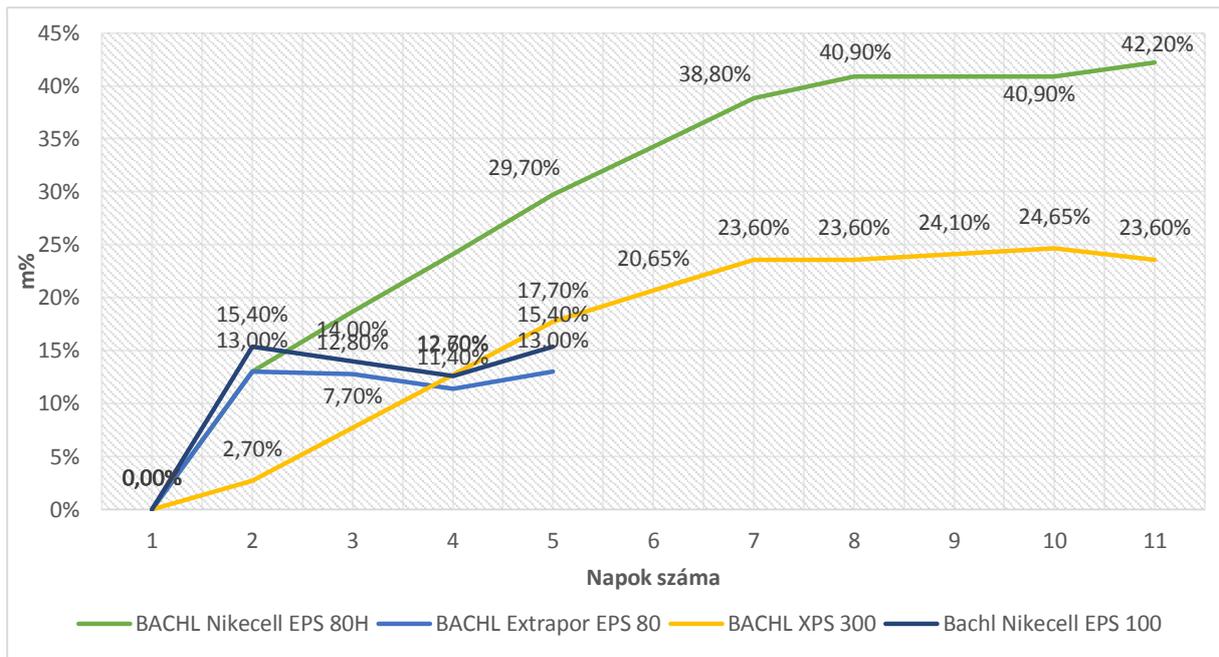
A fentebb vázolt esetekhez kapcsolódóan került meghatározásra a vizsgálat módja. A mintadarabok 10 mm mélységű vízbe lettek fektetve, melyek egyes esetekben enyhe lesúlyozásra kerültek a felúszás elkerülése érdekében. A lesúlyozás mértéke egyik esetben sem haladta meg az anyag teljesítőképességének a határait, illetve a beépített állapotában érő hatások terhét.



*Nedvességfelvételi kísérlet – 1. kép*

A kísérlet időtartamát az értékek növekedése, a maximális értékek elérése, illetve annak stagnáló jellege jelentette. Az alábbi grafikonokban közölt vízfelvételi értékek tömegszázalékban kerültek megjelenítésre. Az eredmények a várható módon alakultak:

A műanyag alapú hőszigetelések modern technológiai eljárásoknak köszönhetően alapvetően kevésbé érzékenyek a kapillaris és egyéb vízfelszívásra. Ugyanakkor mégis tetten érhető a fejlődés: a régi típusú, ám még forgalomban kapható EPS 80H vette fel a legtöbb nedvességet, adataink szerint kétszer annyit, mint az EPS Extrapor 80 (grafittal dúsított EPS).

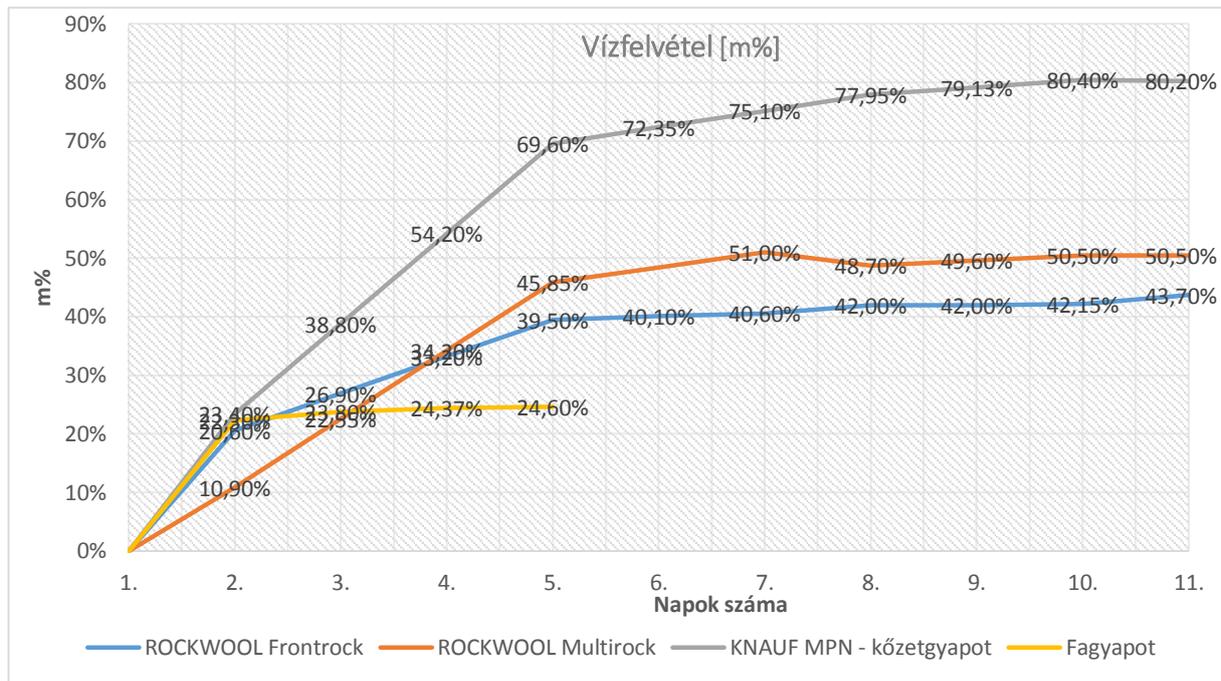


Műanyag habok vízfelvétele – átl. páratartalom: 63 % ; átl. hőmérséklet: 16 °C mellett – 5. Ábra

A kőzetgyapot termékek esetében bár számítottunk azok nagyobb mértékű vízfelvételére, ugyanakkor az eredmények bizonyos szempontból mégis meglepetést okoztak. A három kőzetgyapot termék közül a magastetőkre építhető termék esetén bizonyult legnagyobbak a vízfelvétel, ami a nedvességviszonyok szempontjából kockázatos, installációs pozícióját tekintve meglepő, hiszen a vízzáró fólia sérülhet, illetve bizonyos biztonsági átfedéssel ugyan, de csak lazán fektetve építik be őket, így időnként előfordul, hogy a vízzáró rétegen is átjuthat a nedvesség. A homlokzati kőzetgyapot, illetve zsaluzó fagyapot esetében a vízfelvételtől keletkező állapota, módosult megjelenése keltett feltűnést.



Fagyapot, ill. kőzetgyapot vízfelvétel után – 2. kép



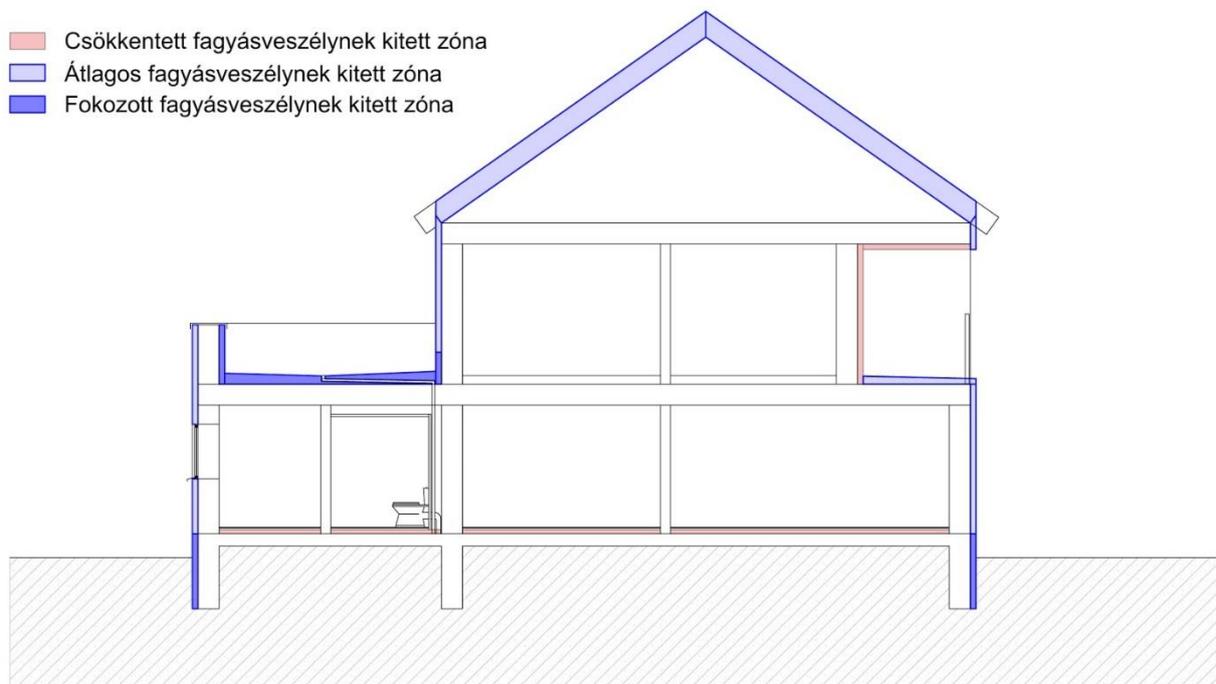
*Kőzetgyapot termékek és a fagyapot vízfelvétele – átl. páratartalom: 63 % ; átl. hőmérséklet: 16 °C mellett – 6. Ábra*

Az értékek nem szabványosított körülmények közt kerültek mérésre, ezáltal bizonyos fokú fenntartással kell kezelni a mutatott eredményeket, mindazonáltal nagyságrendileg, valamint az egymáshoz viszonyított eredmények alapján jól prezentálják hőszigetelőanyagaink vízfelvételi tulajdonságát, valamint az esetleges ebből fakadó hibák lehetőségét.

### 6.3. Fagyás-olvadás ciklusok vizsgálata

Mintadarabjainkat fagyás-olvadás ciklusoknak vetettük alá, hogy megvizsgáljuk, milyen alak-, szerkezet-, és állagváltozásokon mennek keresztül az egyes periódusok által. Az elemzés során fontos volt, hogy a legkritikusabb körülményeket feltételezve járjunk el, ezért az előző kísérletben elért nedvességtartalmú mintákat használtuk fel, hiszen ezek nagyobb anyagváltozást mutathatnak fagyáskor.

A kísérlet jelentősége abban rejlik, hogy Magyarország kontinentális, óceáni és mediterrán éghajlatot ötvöző klimatikus viszonyai között számos fagyás-olvadás periódus jellemző egy évben. Azonban a problémát tovább árnyalja a téli napsütéses, de hideg közegben mért felületi hőmérsékletek témaköre. Egy korábbi mérés alapján  $-2^{\circ}\text{C}$  kinti hőmérséklet mellett egy sötétzöld homlokzati vakolattal ellátott felület akár  $60-70^{\circ}\text{C}$ -ra is felmelegedhet. Az átlagos léghőmérséklet alapján elmondható éves fagyás-olvadás periódusok számát tehát a hasonló esetek tovább növelik, miként a folyamatos klímaváltozás is. Ezek alapján belátható, hogy minden átmeneti és jellemzően fagykörnyéki szezonban komoly igénybevétel sornak, duzzadásnak, vagy roskadásnak vannak kitéve hőszigeteléseink és egyéb építőanyagaink, amit mindenképpen figyelembe kell vennünk tervezés és termékválasztás során.



*Fagyás veszély probléma térképe - 7. Ábra*

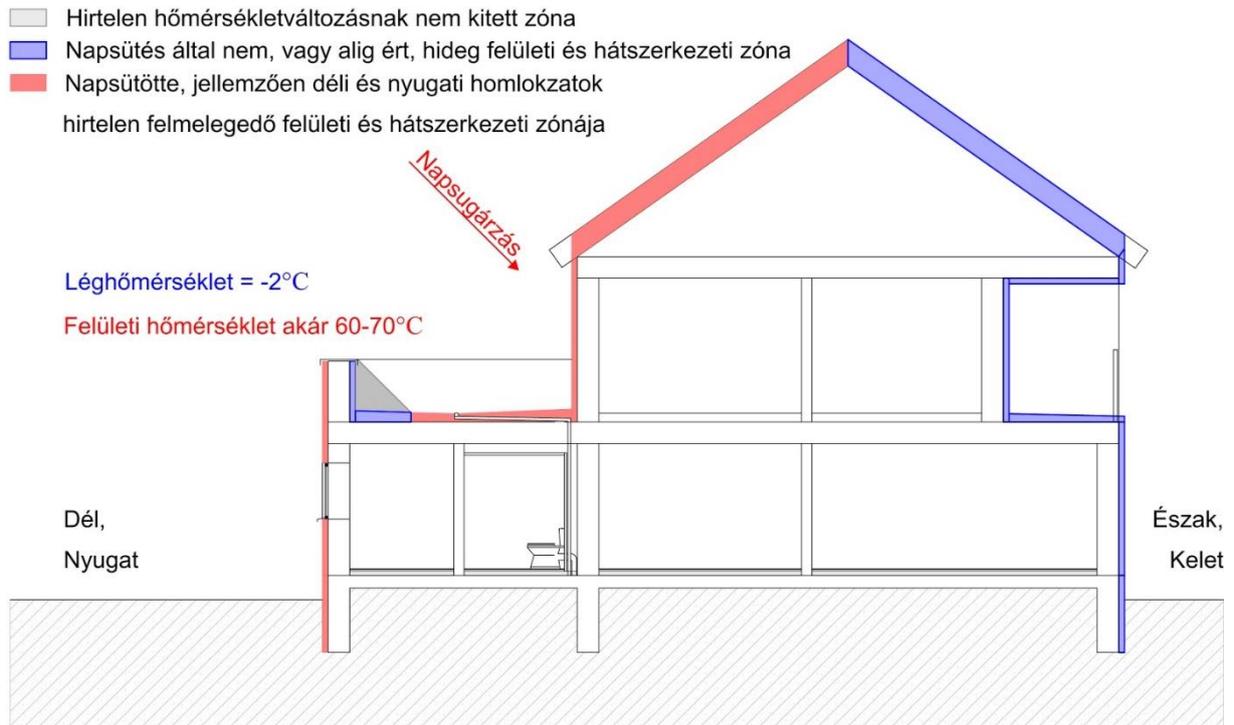
A kísérlet 1 ciklus/nap tempóval történt. Nappal 12 °C átlaghőmérséklet mellett, éjszaka -10°C mellett kerültek tárolásra a mintadarabok. A lefolytatott vizsgálat során 12 ciklus fagyás-olvadás történt.

A kísérletben részt vett minták közül a műanyag alapú hőszigetelések a várható módon teljesítettek: alapvetően kismértékű vízfelvételüknek köszönhetően nem szenvedtek el anyagszerkezeti változást, sem méretbeli torzulást. A fagyapot, valamint a kőzetgyapot táblák – melyek több nedvességet vettek fel a korábbiakban – kezdetben sem állag, sem méretváltozást nem szenvedtek el. Anyagtulajdonságaiknak köszönhetően a táguló jegesedés nem okozott komolyabb problémát. Idővel azonban felfedezhető volt a homlokzati kőzetgyapot, RW – Frontrack, illetve a lágyabb Multirock esetében az anyagszerkezeti károsodás, mely vélhetően oka volt ezen anyagok vastagságcsökkenésének is. Mindkét hőszigetelés esetén 4 mm csökkenés volt tapasztalható, továbbá a Knauf MPN terméke szintén szenvedett el vastagságcsökkenést, azonban ez csupán 2 mm volt. A fagyapot mintában – a műanyag termékekhez hasonlóan – ezen idő alatt nem történt anyagkárosodás.



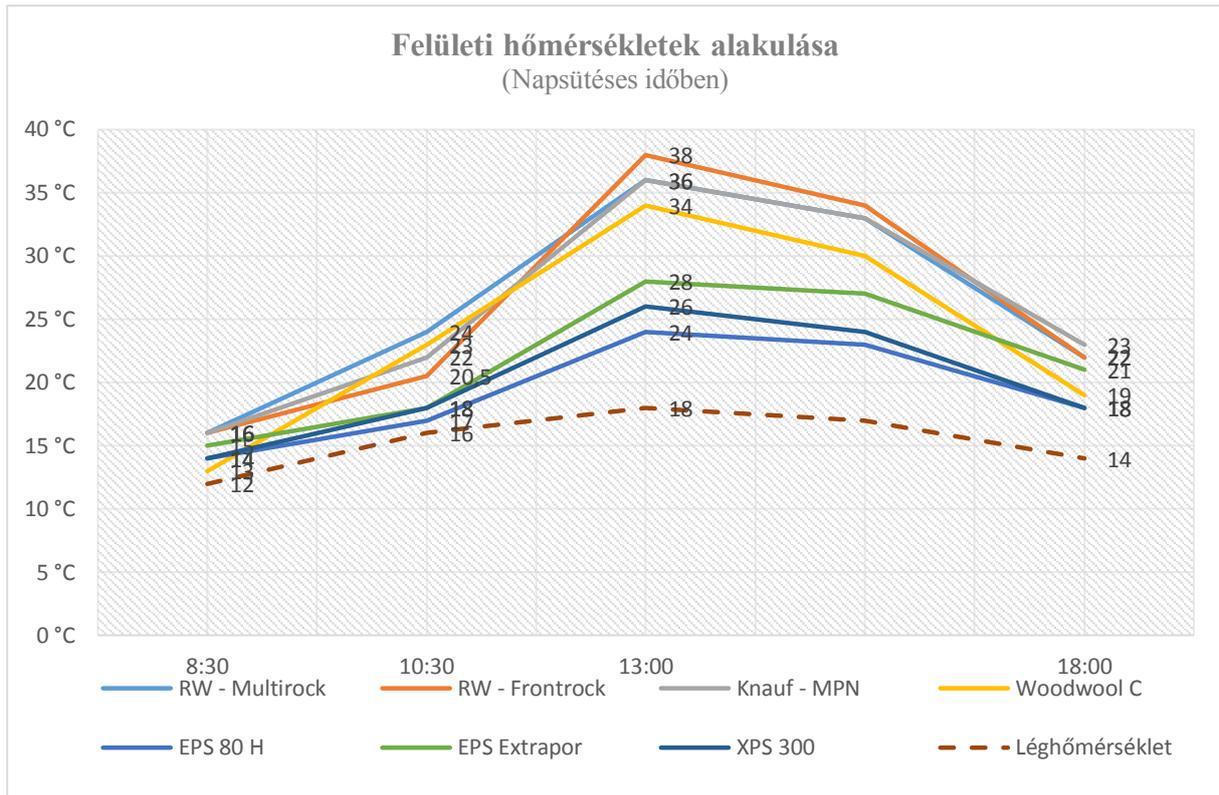
*Kőzetgyapot termékek fagyás-olvadás ciklus során (fagyott állapot) – 3. Kép*

## Felületi hőmérsékletek vizsgálata

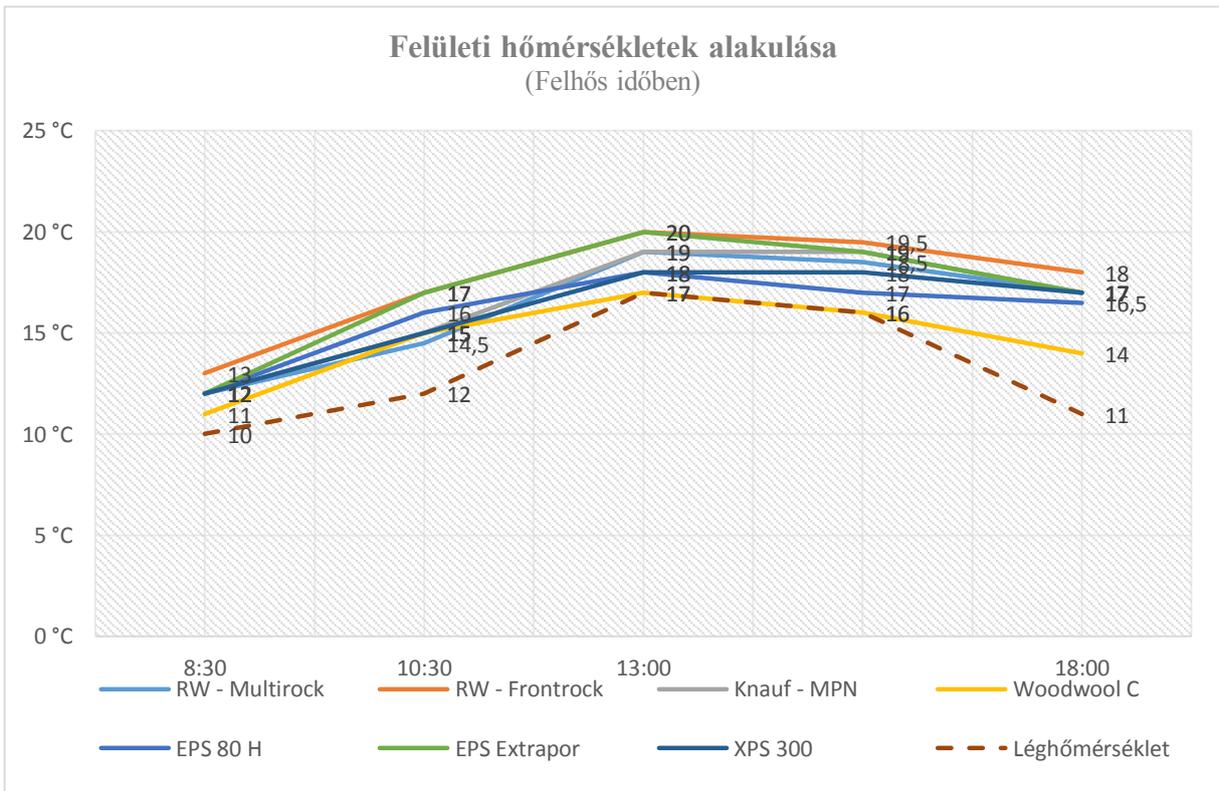


*Felületi hőmérséklet differencia térkép – 8. Ábra*

A kísérlet során tapasztalt eredmények alapvetően a feltételezéseinket igazolták. A mintadarabok déli tájolásba, közel  $90^{\circ}$ -os állásban kerültek elhelyezésre. A mérések két részre oszthatók, hiszen felhős – de nem esős – időjárás esetén a felületi hőmérsékletek természetesen más görbét írnak le, mint tiszta, napos időben. A felületi hőmérsékleti adatokra nagymértékben kihatott adott esetben a szeles, valamint a fokozatosan hűvösebbre forduló időjárás változása. Feltételezhető, hogy a felületi hőmérsékletek maximális, ill. minimális kilengései a nyári hőségben, valamint a téli időjárás során mutatkozik meg. Ennél fogva – továbbá a mérésekben tapasztalható bizonytalan adatok miatt – szükséges a kísérlet pontosabb mérőműszerek általi elvégzése is. Mindazonáltal az alapvető trendek mindenképp leolvashatók az eredményekből.



Felületi hőmérsékletek alakulása – 9. Ábra



Felületi hőmérsékletek alakulása – 10. Ábra



*Kísérlet a felületi hőmérsékletek mérésére – 4. Kép*

#### 6.4. Összenyomódás vizsgálatok

Hőszigeteléseink sok esetben kerülnek különböző erőhatások alá, ezáltal előtérbe kerül nyomószilárdságuk. A mintadarabok nyomószilárdságát, összenyomódását vizsgáló kísérlet szintén a való életben előforduló általános hatások figyelembevételével mellett kerültek elvégzésre. Ez alapján 3 jól elkülöníthető terhelés került meghatározásra:

- homlokzati hőszigetelést érő erőhatás: szélteher – 0,53 kN/m<sup>2</sup>  
feltételezett állapot: III. Alacsony beépítés; z magasság = 4 m →  $q_p(z) = 0,446 \text{ kN/m}^2$   
 $c_{pe}$  – alaki tényező, szeltámadta oldalon ( $h/d = 5$ ) = +0,80  
 $\gamma_Q$  – parciális biztonsági tényező, értéke = 1,5  
 $w_e = q_p(z) c_{pe} \gamma_Q = \underline{0,53 \text{ kN/m}^2}$
- beltéri lépésálló hőszigetelést érő erőhatás: hasznos teher – 3 kN/m<sup>2</sup>  
feltételezett állapot: háztartási és tartózkodási célra használt területek →  $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$   
 $q_d = q_k \gamma_Q = 3 \text{ kN/m}^2$
- lapostető hőszigetelést érő erőhatás: nyomó terhelés – 16,5 kN/m<sup>2</sup>  
feltételezett állapot: extenzív tető rétegrend:
  - 50 cm vegetáció és ültetőközeg
  - 1 réteg 125 g/m<sup>2</sup> műanyag fátyol szűrőréteg
  - 6 cm formahabosított expandált polisztirolhab drénréteg
  - 20 cm extrudált polisztirolhab hőszigetelőréteg
  - vízszigetelés
  - lejt beton
  - tartószerkezet

---

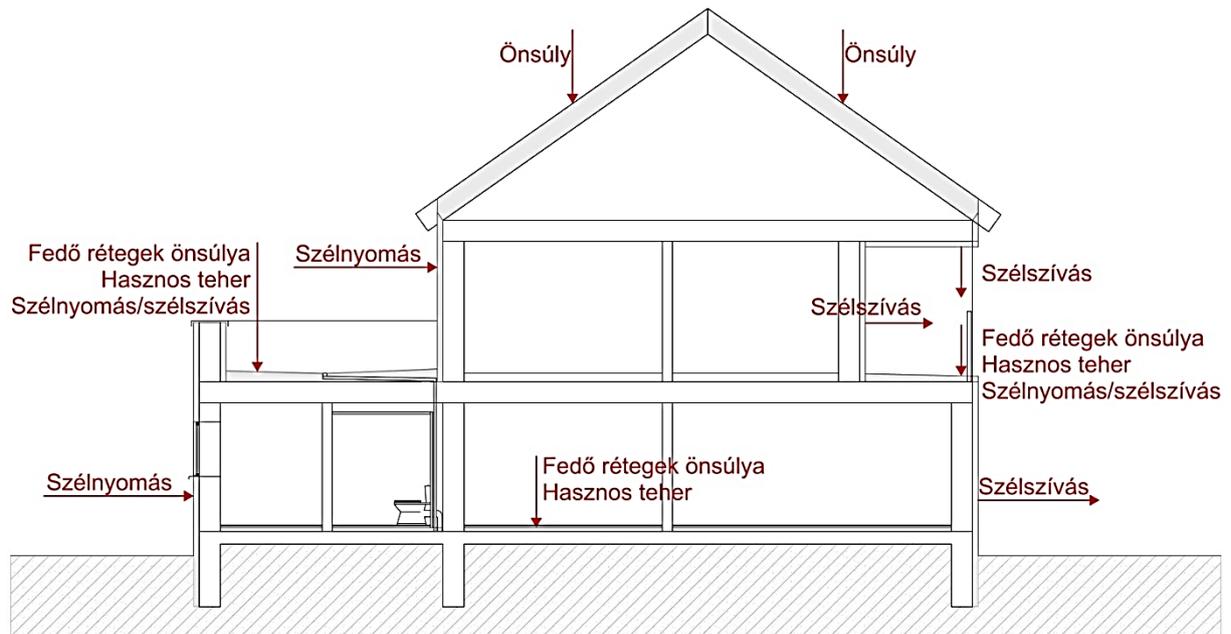
XPS hőszigetelésre nehezedő súly –  $\Sigma 7,5 \text{ kN/m}^2$   
 $g_d = g_k \gamma_G = 10,125 \text{ kN/m}^2$

  - használatból adódó teher –  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$   
 $q_d = q_k \gamma_Q = 4,5 \text{ kN/m}^2$
  - hőteherből adódó teher – 400m alatt –  $s_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$   
 $s_d = s_k \gamma_Q = 1,875 \text{ kN/m}^2$

---

Teljes teher:  $g_d + q_d + s_d = 16,5 \text{ kN/m}^2$

A terhek meghatározása Dr. Dulácska Endre: *Kisokos statikusoknak c. 2. javított kiadású könyve alapján*



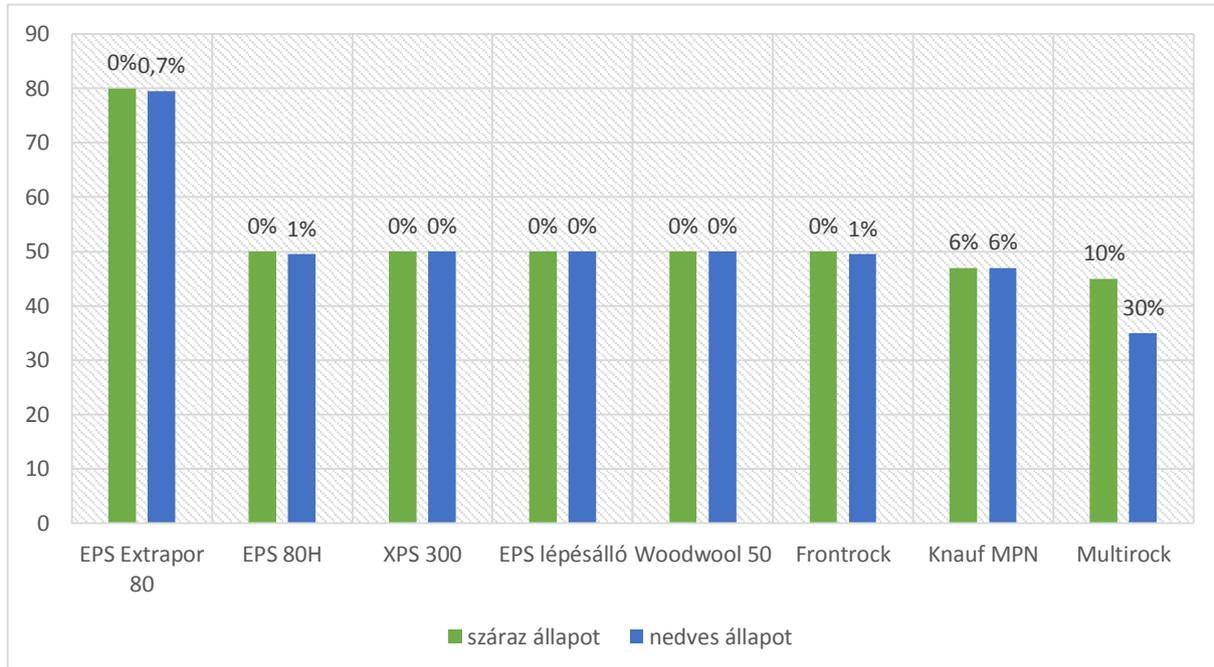
Hőszigeteléseinket érő legfőbb erőhatások – 11. ábra

A terhelés során felhasznált teherelosztó elem súlya részét alkotta a kísérleti tehernek minden esetben. A terheket bő 1 kg-os kerámialapok jelentették, melyek jellegük szerint fokozatos tehernövelést, illetve a teher mértékének nyomonkövethetőségét tették lehetővé. Az XPS terhelésében a kerámialapokon túl egy 40 kg-os építőipari termék is szerepet játszott leterhelésként.



Bachl XPS 300 összenyomódás vizsgálata – 5. Kép

Napjaink minősített hőszigetelési nyomószilárdságuk szempontjából meglehetősen jó minőségűek. Ahogyan azt a gyártói adatlapok adataiból sejteni lehetett, száraz körülmények között az elvárható teljesítményük messze felülműlják a kísérletben meghatározott terhelést.



Összenyomódás százalékban kimutató táblázat – átl. páratartalom: 71 % ; átl. hőmérséklet: 16 °C mellett – 12. Ábra

Ugyan a Knauf MPN és a RW Multirock termékei nincsenek összenyomódásra minősítve, a mérést ennek ellenére elvégeztük. Meglepő módon, a Knauf MPN terméke lágyabb szerkezete ellenére sem szenvedett el drasztikus alakváltozást. A Rockwool Multirock terméke a várható viselkedést mutatta, mely száraz állapotában a megadott vizsgálati körülmények közt 5 mm egyenesletes alakváltozást szenvedett el.



Knauf MPN nyomóteher alatti vizsgálata – 6. Kép

A kísérletet megismételtük olyan mintákkal, melyek átestek nedvességfelvételi kísérleten is. Az eredmény 3 felé bontható: a fagyapot, az XPS, valamint a beltéri lépésálló EPS termékek gyakorlatilag nem szenvedtek el alakváltozást; a homlokzati EPS, és annak grafitos változata, továbbá a Frontrock termékek nagyságrendileg 1 mm-es egyenletes alakváltozást szenvedtek el. A Knauf termék szintén 1 mm-es alakváltozást szenvedett el, ami a lágyabb szerkezetének, illetve egy részének vízzel telítettsége okán kifejezetten eredményesen szerepelt. A Multirock termék egyensúlya a vízzel telített állapotban felbomlott, s asszimmetrikus alakváltozást szenvedett a terhelés hatására.



*Rockwool Multirock nedvességfelvétel utáni terhelése – 6. Kép*

## **7. Célkitűzés, javaslatok jövőbeni kutatásokra**

### **7.1. Jelenlegi kísérleteink bővítése**

Kísérleteinket szeretnénk bővíteni a továbbiakban UV állóság vizsgálattal is, melynek érdekében egy teljes évre, de legalább egy nyári szezonra fedetlen helyre helyeznénk ki a már vizsgált hőszigetelés mintákat. Ezek után elvégeznénk rajtuk a hővezetési tényező méréseket, melyeket összehasonlítunk a katalógusokban megadott deklarált értékekből az egyes szituációkra (homlokzati, tetőtéri, járható tető/terasz helyzeti, illetve talajon fekvő padlóba installált pozíció) adaptált tervezési értékekkel.

A dolgozatban tárgyalt témakör összetettsége, valamint a felismert problémák számos lehetőséget kínálnak a további, részletekbe menő kutatások megkezdéséhez.

### **7.2 A tervezési hővezetési tényező adaptációjának teljessé tétele**

Hőszigeteléseink öregedésének matematikai leírása még nem áll rendelkezésre korunk tervezői számára. A vonatkozó szabvány (MSZ EN ISO10456) egyelőre a problémakör első lépcsőfokát tette meg: a hőszigetelések időarányos teljesítmény romlását felismerte, s egy matematikai összefüggéssel nem számítható tényezőt épített be a hővezetési tényező adaptációjának képletébe.

Vannak mérések, melyek a közel 30-40 éve épült panelépületek hőszigeteléseinek drasztikus, akár háromszoros teljesítményromlását mutatják. Magyarország panelépületeinek energetikai korszerűsítései során ennek figyelembevétele kiemelten fontos, ugyanakkor a konkrét helyi méréseken túl nincsen szabványosított, általánosan alkalmazható matematikai összefüggés a hőszigeteléseink öregedésének figyelembevételére.

Többféle rétegrendi felépítést szükséges tanulmányozni és méréseket végezni rajtuk, ezen kívül az egy év múlva mért adataink is rendelkezésre fognak állni. Ezáltal megállapíthatóvá tehető:

- mennyi idő elteltével érdemes kicserélni a hőszigeteléseket
- az optimális anyag és beépítési paraméter megválasztása az adott környezethez
- a meglévő szerkezet időben elszenvedett teljesítményromlása, így egy-egy speciálisabb energetikai felújítás hatékonyabbá tehető így egy-egy energetikai felújítás hatékonyabbá tehető (lásd: panelépületek korszerűsítése)

### 7.3 Egy egyszerűsített eljárás bevezetése hővezetési tényező változásának leírására

A javaslatunk szerint a hőhidak számításának metodikáját átvevő módszertannal kéne a hővezetési tényező változását figyelembe venni. Ezen gyakorlat alapján a tervezők rendelkezésére állna egy egyszerűsített eljárás is a részletes számítási mód mellett. Az egyszerűsített módszertan nem állna messze egy már korábban bevezetett módszertantól: az 1992-ben bevezetett, majd később visszavont MSZ-04-140/2-91 szabvány meghatározta a tervezési hővezetési tényező számítási módját: konkrét beépítési szituációkra vonatkozó korrekciós tényezőkkel operál. Egy ilyen adatbázis könnyen kezelhető és alkalmazható eszközt adhatna a tervezők kezébe a leggyakrabban előforduló helyzetekre.

Részlet a már visszavont MSZ-04-140/2-91 -ből

Anyag és beépítési mód	κ
Polisztirol hab - rávakolnak vagy rábetonoznak	0,42
Perlitbeton ( $\rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$ ) - rábetonoznak	0,57
Bitumoperlit ( $\rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$ ) - rábetonoznak	0,51
Expanzit - rávakolnak	0,20
Polisztirol hab - két falazott réteg között	0,10
Isolyth (ásványgyapot) - két falazott réteg között	0,10
Perlit ömlesztve - két falazott réteg között	0,38
Poliuretán ( $\rho \leq 40 \text{ kg/m}^3$ ) - kiszellőztetett légrétegben	0,25
Izofen - kiszellőztetett légrétegben	0,25
NIKECELL - kiszellőztetett légrétegben	0,50

Korrekciós tényezők a beépített hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjének meghatározásához hazai mérések alapján – 6. Táblázat

A módosított hővezetési tényező:  $\lambda_{be} = \lambda_{anyag} (1 + \kappa)$

Szigetelés beépítése	κ
Külső falburkolat vagy hidegtető alá, a külső levegővel érintkező légrétegbe beépített, légzáró bevonattal el nem látott hőszigetelés, a hőszigetelő réteg páradiffúziós ellenállásától függően, ha: $R_v \leq 0,8$ ; $R_v = 0,8-5$ ; $R_v > 5 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \text{ s Pa/kg}$	0,35; 0,25; 0,10
Porózus felületű hőszigetelő réteg, amelyre az építés vagy gyártás során habarcsréteget hordanak fel, vagy betonréteget öntenek	0,30
Higroszkopikus hőszigetelő anyagok, könnyűbetonok olyan helyiség térelhatároló szerkezetében, ahol a belső relatív nedvesség folyamatosan 80% felett van	
- ha a helyiség levegőjével közvetlenül érintkezik	0,25
- ha attól párafékező vagy beton réteg választja el	0,10
400 kg/m <sup>3</sup> -nél kisebb sűrűségű, az ülepedésre, vetemedésre, roskadásra hajlamos hőszigetelés függőleges rétegeként való beépítve	
- ásványgyapot táblák formájában előregyártva	0,25
- polisztirolhab táblák formájában előregyártva	0,10
Lapostetőkbe beépített hőszigetelő táblák egy rétegben tompa ütközéssel fektetve	
- kasírozás nélkül	0,25
- legalább egy oldalról kasírozva	0,10

A hőszigetelő réteg hővezetési tényezőjének helyesbítése a beépítési feltételek alapján – 7. Táblázat

A helyesbített hővezetési tényező:  $\lambda_{be} = \lambda_{anyag} (1 + \kappa)$

Ha egy adott esetben több hatás érvényesül, a korrekciós tényezők összeadódnak:

$$\lambda_{be} = \lambda_{anyag} (1 + \kappa_1 + \kappa_2)$$

A fentebb bemutatott táblázatok értelemszerűen felülbírálásra és bővítésre szorulnak, hiszen a – már időközben visszavont - szabvány bevezetésekor piacon megtalálható egyes termékeket már vagy nem gyártják, vagy olyan beépítési módjukat jelöli meg, mely jelenleg hatályos rendeleteket, jogszabályi előírásokat nem tudják kielégíteni. Egyes termékek olyan technológiai fejlődésen mentek keresztül – így például a kőzet és ásványgyapot termékek, a különböző műanyag alapú hőszigetelések (PIR, PUR, EPS, XPS) –, melyek szükségessé teszik a táblázat aktualizálását, továbbá – adott esetben – bővítését a már csúcstechnológiát képviselő innovációkkal, úgymint a VIP panelek, az aerogél, fahab.

Amennyiben az egyszerűsített módszertanon kívülre eső tervezési szituáció merülne fel, arra az érvényben lévő MSZ EN ISO 10456 részletes adaptációs számítási eljárása adna megoldást.

A javasolt metodika alapján vélhetően csökkenne a napjainkban egyelőre jóval bonyolultabb és emiatt mellőzött lépés kihagyása az energetikai tervezés során.

## **8. Köszönetnyilvánítás**

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani témavezetőnknek, Dr. Fülöp Zsuzsannának, a BME Épületszerkezettani Tanszék egyetemi docensének folyamatos útmutatásáért és áldozatos munkájáért, mellyel támogatta kutatási tevékenységünket.

Köszönetünket fejezzük ki továbbá Dr. Várfalvi János, a BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék nyugalmazott egyetemi docensének segítőkész támogatásáért és az általa rendelkezésünkre bocsátott információkért, melyek segítették dolgozatunk létrejöttét.

## 9. Irodalomjegyzék

- *MSZ-04-1140-2:1991 szabvány*
- *MSZ EN ISO 10456*
- <http://docplayer.hu/173189-Fogalmak-varhato-elettartam-epuletszerkezetek-es-epitmenyek-atlagos-elettartama.html>
- <http://www.tubaepiteszkft.hu/epuletenergetika/>
- <http://hetven9.hu/2016/01/2015-a-meteorologiai-rekorder/>
- <http://www.nordikal.hu/letolt/epuletfizika.pdf>
- <http://szigetelesinfo.hu/szaccikkek/hotechnikai-ajanlasok-szabvanyok-eloirasok-valtozasai-toerteneti-attekintes>
- Magyar Passzívház Szövetség: II. Magyar passzívház konferencia, Budapest, 2009. ISBN 978-963-88184-0-9

## 10. Hivatkozások

### Ábrák:

1. Ábra – *Hőátadási tényezők ( $\alpha$ )* – Forrás: <http://www.nordikal.hu/letolt/epuletfizika.pdf>
2. Ábra – *Vázolt rétegrend téli és nyári hőfok esési görbéje* - Forrás: saját készítésű
3. Ábra – *A vizsgált szerkezet páráviszonyainak alakulása* - Forrás: saját készítésű
4. Ábra – *Ázási veszélyek probléma térképe* - Forrás: saját készítésű ábra, Dr. Fülöp Zsuzsanna képeivel
5. Ábra – *Műanyag habok vízfelvétele* - Forrás: saját készítésű
6. Ábra – *Kőzetgyapot termékek és a fagyapot vízfelvétele* - Forrás: saját készítésű
7. Ábra – *Fagyás veszély probléma térképe* - Forrás: saját készítésű
8. Ábra – *Felületi hőmérséklet differencia térkép* - Forrás: saját készítésű
9. Ábra – *Felületi hőmérsékletek alakulása* - Forrás: saját készítésű
10. Ábra – *Felületi hőmérsékletek alakulása* - Forrás: saját készítésű
11. Ábra – *Hőszigeteléseinket érő legfőbb erőhatások* - Forrás: saját készítésű
12. Ábra – *Összenyomódást százalékban kimutató táblázat* - Forrás: saját készítésű

### Táblázatok:

1. Táblázat – *A hőátbocsátási tényező (2006 előtt "k") követelményértékének változása*  
„Magyar Passzívház Szövetség: II. Magyar passzívház konferencia” c. kiadványból
2. Táblázat – *A hőátbocsátási tényező (2006 után "U") változása*  
„Magyar Passzívház Szövetség: II. Magyar passzívház konferencia” c. kiadványból
3. Táblázat – *Adaptációs számítás kiinduló adatai* - Forrás: saját készítésű
4. Táblázat – *Páratartalmi adaptációs számítás kiinduló adatai* - Forrás: saját készítésű
5. Táblázat – *A hőszigetelő anyagok általunk mért, ill. gyártók által megadott paramétereit*  
- Forrás: saját készítésű
6. Táblázat – *Korrekciós tényezők a beépített hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjének meghatározásához hazai mérések alapján* - Forrás: MSZ-04-1140-2:1991 szabvány
7. Táblázat – *A hőszigetelő réteg hővezetési tényezőjének helyesbítése a beépítési feltételek alapján*  
- Forrás: MSZ-04-1140-2:1991 szabvány

### Képek:

1. Kép – *Nedvességfelvételi kísérlet* – Forrás: saját készítésű
2. Kép – *Fagyapot, ill. kőzetgyapot vízfelvétel után* – Forrás: saját készítésű
3. Kép – *Kőzetgyapot termékek fagyás-olvadás ciklus során (fagyott állapot)* – Forrás: saját készítésű

4. Kép – *Kísérlet a felületi hőmérsékletek mérésére – Forrás: saját készítésű*
5. Kép – *Knauf MPN nyomóteher alatti vizsgálata – Forrás: saját készítésű*
6. Kép – *Rockwool Multirock nedvességfelvétel utáni terhelése – Forrás: saját készítésű*