

## NYÍLÁSZÁRÓ ÉS ÁRNYÉKOLÓ SZERKEZETEKEN ÁTHATOLÓ SUGÁRZÁSI HŐÁRAM MÉRÉSE

### Bevezetés

Az épületek hőtechnikai méretezésekor — elsősorban a könnyűszerkezetes, nagy üvegezett falfelületeket alkalmazó építésmódok esetén — fontos kiindulási adat a napsugárzás következtében a belső térbe hatoló hőáramok intenzitása. Ezen hőáramok vizsgálata egyre fontosabb szerepet kap a határolószerkezetek hőtechnikai kutatásában.

A 40-es évek végén az ASHAE clevelandi laboratóriumában dolgoztak ki mérési eljárást a nyílászáró szerkezeteken át történő sugárzási energia-behatolás vizsgálatára. [1—10].

1962-ben Franciaországban állítottak össze egy berendezést a nyílászáró szerkezeteken behatoló sugárzási energia mérésére. [11]

A két eljárás alkalmazásával számos, különféle árnyékolószerkezetekkel felszerelt nyílászáró szerkezet vizsgálatát végezték el. [1—12] Az eredmények jól egyeznek a számítások alapján várt értékekkel. Hátrányos azonban a fenti mérőberendezések költséges volta, valamint a hosszú mérési idők, és a mérőberendezések helyhezkööttsége.

A csak vázlatosan felsorolt kedvezőtlen paraméterek ismeretében egy olyan mérési eljárást dolgoztunk ki, amely egyszerű, és könnyen kezelhető, a mérési időt 4—5 percre szorítja le, a mérőberendezés kis súlya miatt szállítható, és a mérések pontossága kielégíti a hőtechnikai méretezés követelményeit. A mérőberendezés kialakításakor jelentős szerepet kapott az a követelmény, hogy a műszer sorozatmérésre legyen alkalmas.

### A mérés elve

A nyílászáró szerkezeten áthatoló energiaáram meghatározása, a nyílászáró szerkezet belső felületére helyezett jó sugárzáselnyelő felületű kaloriméterrel történik. (l. 1. ábra)

ahol  $i_Q$  a beeső energiaáram

$K$  a kaloriméter

$k$  a környezet

$t$  a termoelem

A kaloriméter a behatoló hőáram hatására melegedni kezd, a 2. ábrán látható módon.

$t$  a kaloriméter hőmérséklete

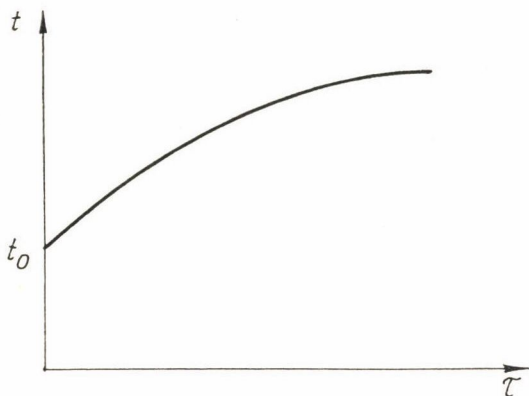
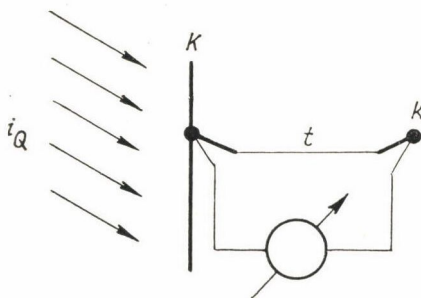
$t_0$  a kaloriméter kezdeti hőmérséklete

$\tau$  a felmelegedés kezdetétől eltelt idő

A kaloriméter által felvett hőáram, és a kaloriméter felmelegedési görbéje között a

$$\dot{Q} = C \frac{dt}{d\tau} \quad (1)$$

kapcsolat van, ahol  $C$  a kaloriméter hőkapacitása.  $C$  ismeretében  $\frac{dt}{d\tau}$  méréssel meghatározható a  $\dot{Q}$  hőáram.



A mérés egyszerűen végezhető, mivel a felmelegedés kezdeti szakaszán a  $\frac{dt}{d\tau}$  jó közelítéssel állandó és így az (1) egyenlet

$$\dot{Q} = C \frac{\Delta t}{\Delta \tau} \quad (2)$$

összefüggéssel jól közelítő, ahol  $\Delta t$   $\Delta \tau$  időtartam alatti hőmérséklet-növekedést jelent.

Az ismertett mérési elv alapján a belső térbe hatoló hőáram (2)-ből közvetlenül meghatározható lenne, ha a kaloriméter az összes ráeső sugárzást elnyelné, és a kaloriméter nem zavarná meg a sugárzás következtében

felmelegedett nyílászáró szerkezet, és a belső tér között kialakuló hőcserefolyamatot. Mivel egyik feltétel sem teljesül, ezért részletesebb vizsgálat szükséges, a kaloriméter által mért  $\dot{Q}$  és a belső térbe hatoló hőáramok közti kapcsolatot felderítésére.

### A kaloriméter által felvett $\dot{Q}'$ és a belső térbe hatoló sugárzásos hőáram $\dot{Q}_s$ közti kapcsolat

A kaloriméter által felvett  $\dot{Q}'$  hőáram a felmelegedés során csökken. A felmelegedés egy rövid kezdeti szakaszán  $\dot{Q}'$  jó közelítéssel állandónak tekinthető. Ezen a szakaszon, ha a kaloriméter hőmérséklete a belső tér  $t_b$  hőmérsékletéről indul, a kaloriméter által felvett sugárzásos hőáramösszetevő:

$$\dot{Q}'_s = A \dot{Q}_s \quad (3)$$

ahol  $A$  a kaloriméter sugárzáselnyelő-képessége.

A kaloriméter által felvett hőáram konvekciós összetevője

$$\dot{Q}'_k = \lambda_e \frac{F}{d} (t_f - t) \quad (4)$$

ahol  $\lambda_e$  a nyílászárószerkezet  $t_f$  hőmérsékletű  $F$  nagyságú belső felülete, és a kaloriméter között levő  $d$  vastagságú levegőréteg egyenértékű hővezetőképessége (13a),  $t$  a kaloriméter hőmérséklete.

A felmelegedés kezdeti szakaszán végzett mérésből kiszámítható  $\dot{Q}'$  hőáram a (3) és (4) összege,  $t = t_b$  helyettesítéssel.

$$\dot{Q}'_k + \dot{Q}'_s = \dot{Q}' = A \dot{Q}_s + \lambda_e \frac{F}{d} (t_f - t_b) \quad (5)$$

melyből

$$\dot{Q}_s = \frac{1}{A} \dot{Q}' - \frac{\lambda_e}{A} \frac{F}{d} (t_f - t_b) \quad (6)$$

(6) szerint, ha megmérjük a kaloriméter által felvett  $\dot{Q}'$  hőáramot, valamint mérjük a  $t_f$  és  $t_b$  hőmérsékleteket, és ismerjük a berendezés geometriai adatait, akkor meghatározhatjuk a belső térbe hatoló sugárzásos energiaáramot  $\dot{Q}_s$ -t.

### A belső térbe hatoló konvekciós energiaáram ( $\dot{Q}_k$ ) meghatározása

A belső térbe tartó hőáram konvekciós összetevője a nyílászárószerkezet belső felületeinek konvekciós hőátadási tényezője (13b) ismeretében egyszerűen számolható:

$$\dot{Q}_k = \alpha F (t_f - t_b) \quad (7)$$

#### A kaloriméter felépítése

A kaloriméter 36 db négyzet alakú, 153 mm-es oldalú 1 mm vastag vörösrézlemezéből áll. A lemezeket  $6 \times 6$ -os négyzetes elrendezésben, szögvaskeretre erősített textilbakelitesíkokra erősítettük.



A lemezek homlokfelületét jó sugárzáselnyelő fekete festékkel szórtuk be.

A lemezek hátoldali középpontjába, kissé süllyesztve, rézkonstantán termoelemek melegpontjait forrasztottuk. A termoelemeket sorba kötöttük. Több kivezetést készítettünk azért, hogy külön-külön mérni tudjuk a belső 4 és a belső 16 lemezből alkotott zóna hőmérsékleteinek a változását is.

### Műszerállandók

A sugárzásos hőáram összetevő kiszámítására szolgáló (6) összefüggésben szereplő  $\dot{Q}'$  értéket egyetlen lemez esetén (2) alapján számíthatnánk ki. A kaloriméter egy  $n$  lemezből álló zónája esetén a hőáram (2) alakú tagok összeg

$$\dot{Q}' = \sum_1^n \dot{Q}'_i = \sum_1^n C_i \frac{\Delta t_i}{\Delta \tau} = C_1 \frac{\Sigma \Delta t_i}{\Delta \tau} \quad (8)$$

A lemezek azonos  $C_1$  hőkapacitással rendelkeznek. A lemezek hőmérséklet-változásának összege felírható a termoelemek áramát mérő  $R_b$  belső-ellenállású galvanométeren leolvasható  $\Delta i$  áramváltozás segítségével:

$$\sum_1^n \Delta t_i = \frac{R_b + R'}{\beta} \Delta i \quad (9)$$

ahol  $\beta$  a termoelemek feszültségállandója és  $R'$  a termoelemek eredő belső-ellenállása.

A sugárzásos hőáramösszetevő (6) alatti kifejezése (8) és (9) felhasználásával:

$$\dot{Q}_s = \frac{C_1(R + R')}{A \cdot \beta} \frac{\Delta i}{\Delta \tau} - \frac{\lambda_e F}{A \cdot d} (t_f - t_b) \quad (10)$$

Új állandók bevezetésével, a  $\lambda_e$  egyenértékű hővezetési tényező hőmérséklet és méret függésének felhasználásával (13c)  $\dot{Q}_s$  egyszerűbb alakba írható:

$$\dot{Q}_s = K(R_b + R') \frac{\Delta i}{\Delta \tau} - L \frac{(\Delta T)^{3/4}}{d^{1/4}} \quad (11)$$

ahol  $\Delta T = t_f - t_b$  a belső felület és a belső tér hőmérsékletkülönbsége.

A konvenciók hőáramösszetevőben  $\alpha$ -nak hőmérséklet és geometriai függését figyelembevéve (13d)

$$\dot{Q}_k = M \cdot (\Delta T)^{4/3} \quad (12)$$

A (11) és (12) összefüggésekben  $\Delta i$ ,  $\Delta \tau$ ,  $\Delta T$ , és  $d$  a közvetlenül mérendő mennyiségek.

A  $K$ ,  $L$ ,  $M$  és  $R_b$  a kaloriméter jellemzői, ún. műszerállandók. Értéküket az I. táblázatban foglaltuk össze.

	I	II	III
$K \left( 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{ó}} \cdot \frac{\text{sec}}{\text{V}} \right)$	2,18	2,18	2,18
$L \left( \frac{\text{kcal}}{\text{ó}} \cdot \frac{\text{m}^{1/4}}{\text{C}^{\circ 5/4}} \right)$	0,039	0,155	0,35
$M \left( \frac{\text{kcal}}{\text{ó}} \frac{1}{\text{C}^{\circ 5/4}} \right)$	0,13	0,53	1,20
$R_b (\Omega)$	1,8	12	42

I, II, III-al a 4, 16, ill. 36 lemezből álló zónákat jelöltük.

A műszerre jellemző érték a  $\Delta\tau$  időtartam is, amelyen belül a felmelegedési görbe bizonyos pontossággal lineárisnak tekinthető. Mérőberendezésünk esetén a felmelegedési görbe meredeksége 5 másodpercenként 1%-kal csökken.

#### A mérések kivitelezése

A mérési eljárás célja a nyílászárószerkezeten a belső térbe hatoló hőáramok meghatározása.

A nyílászárószerkezeten áthatoló hőáram két részre bontható, amelyből az egyik a külső felületre eső napsugárzásból származik, míg a másik részét a külső és belső tér hőmérsékletkülönbsége tartja fenn.

Eszerint hőtechnikai szempontból a mérés ugyancsak kettős lehet

a) megmérjük a nyílászárószerkezeten  $t_k = t_b$  esetén áthaladó hőáramot, ahol  $t_b$  ill.  $t_k$  a külső, ill. a belső környezet hőmérsékletét jelöli.

b) megmérjük a nyílászárószerkezeten áthatoló mindkét hőáramot.

A mérési elrendezést attól függően kell kialakítani, hogy a kettő közül melyik hőáramot kívánjuk meghatározni.

Ha az a) pontban szereplő  $t_k = t_b$  feltétel mellett áthaladó hőáramot mérjük meg, akkor az eljárásunk a következő:

A külső és belső tér hőmérsékletének egyenlőségét úgy biztosítjuk, hogy a vizsgálni kívánt nyílászárószerkezetet szabadon állítjuk fel. A szerkezetet körülvevő levegő szabad áramlása révén a  $t_k = t_b$  feltétel teljesül.

A szabadon felállított nyílászárószerkezet mögötti „belső tér” gyakorlatilag végtelennek tekinthető (az átment hőáramot teljes mértékben elnyeli, jó közelítéssel ez különböző belső terekre is érvényes) ha más testektől elegetően távol helyeztük el. (Különösen a jó sugárzásvisszaverő felületű testek által visszavert sugárzástól kell védeni.)

Ha a  $t_k \neq t_b$  esetén fellépő teljes hőáramot kívánjuk mérni, akkor beépített nyílászárószerkezeten végezzük el a mérést.

Bármelyik mérést valósítjuk meg, ügyelnünk kell arra, hogy a számítások során tett hőtechnikai megfontolásaink a gyakorlatban kielégítő pontossággal megvalósuljanak.

### A mérés menete

1. Megvárjuk, míg a nyílászárószerkezet eléri az állandósult állapotnak megfelelő egyensúlyi helyzetet.
2. Megmérjük a belső felület és a belső tér  $\Delta T$  hőmérsékletkülönbségét.
3. Felhelyezzük a kalorimétert a nyílászárószerkezet belső felületére és a felmelegedés kezdeti szakaszán megmérjük a  $\Delta\tau$  idő alatti  $\Delta i$  áramnövekedést.
4. A nyílászárószerkezet belső felületének és a kaloriméter közötti  $d$  távolság lemérése után meghatározzuk a hőáram  $\dot{Q}_s$  és  $\dot{Q}_k$  összetevőit.

### Kísérleti eredmények

A mérési eljárás és a mérőberendezés ellenőrzését több méréssorozattal végeztük el.

A nyílászárószerkezetek jellemzésére francia szerzők (11) a napsugárzás következtében áthatolt és a belső hőáram hányadosával definiált

$$N = \frac{I}{I_0}$$

„naptényező” javasolták.

Kaloriméterünk segítségével meghatároztuk egy erre a célra készített kettős üvegezésű ablak „naptényezőjét”. A méréseket 1968. január 20-án végeztük. A beeső napsugárzás a vízszintessel  $\approx 22^\circ$ -os szöget zárt be.

A mérési adatokat a II. táblázatban foglaltuk össze.

II. Táblázat

Mérések sorszám	$\Delta T$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta i$ ( $\mu\text{A}$ )	$\Delta\tau$ (sec)	$I_0$ (kcal/ó)	I (kcal/ó)	N (%)
1	5,8	26	12,1	260	222	86
2	6,0	26	11,2	272	240	88
3	5,9	26	12,0	263	224	85
4	6,0	26	10,8	283	246	87
5	6,1	26	9,8	316	274	87
6	6,2	26	10,7	287	251	87
7	6,2	26	11,0	290	244	84
8	6,3	26	11,2	287	287	84

A mérések átlagolásával nyert 86%-os naptényezőérték jó egyezésben van az irodalomban közölt 85–90% közé eső értékekkel.

A fenti mérési eljárás lehetőséget nyújt különböző árnyékolószerkezetek hatásosságának kvantitatív értékelésére is. Ugyanis egy adott nyílászárószerkezetre alkalmazva különböző árnyékolószerkezeteket (redőny, zsaluzia stb.) és meghatározva az

$$N' = \frac{I}{I_0}$$

értékét, és ismerve az árnyékolás nélküli nyílászárószerkezet  $N$ -jét, alkalmas ad az árnyékolás jellemzésére.



*Fekete és fehér vászonredőnyökkel felszerelt kettős ablak N' naptényezője*

A kettős ablakokat fekete és fehér vászonredőny árnyékolással láttuk el. Vizsgáltuk az üvegezés előtti (*e*), az üvegezés közötti (*k*) és az üvegezés mögötti (*m*) árnyékolás hatásosságát. Az eredményeket sugárzásos  $\frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_0}$  és konvekciós  $\frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_0}$  naptényezőkre felbontva, valamint összegezve a III. táblázatban adtuk meg.

III. Táblázat

Az árnyékolás						
színe	fehér			fekete		
helyzete	e	k	m	e	k	m
$I_s/I_0$ (%)	18	26	35	12	21	30
$I_k/I_0$ (%)	2	3	8	2	9	13
$I/I_0$ (%)	20	29	43	14	30	43

IRODALOM

- [1] *Parmelee G. Aubele W. Huebscher R.*: Measurements of solar heat transmission through flat glass. Transactions A. S. H. V. E. 1948, p. 165—186.
- [2] *Parmelee G. Aubele W.*: The shading of sunlit glass: an analysis of the effect of uniformly spaced flat opaque slats. Transactions A. S. H. V. E. 1952, p. 337—398.
- [3] *Parmelee G. Aubele W.*: The shading of sunlit glass: an experimental study of slat type sun shades. Transactions A. S. H. V. E. 1953, p. 221—240.
- [4] *Parmelee G. Vild D.*: Design data for slat type sun shades for use in load estimating. Transactions A. S. H. V. E. 1952, p. 403—434.
- [5] *Grammer R., Neubauer L.*: Solar radiant gain through directional glass exposures. Heating, piping and Air Conditioning, november 1958.
- [6] *Ozsisik N., Schutrum L.*: Heat gain through windows shaded by canvas awnings. Transactions A. S. H. A. E. 1958, p. 463—480.
- [7] *Ozsisik N., Schutrum L.*: Heat gain through windows shaded by metal awnings. Heating, piping and Air Conditioning, 30 (7) juillet 1958.
- [8] *Ozsisik N., Schutrum L.*: Heat flow through glass with roller shades. A. S. H. R. A. E. Journal 1 (4), avril 1959.
- [9] *Ozsisik N., Schutrum L. F.*: Solar heat gain factors for windows with drapes. A. S. H. A. E. 1960. 6. p.
- [10] *Ozsisik L. F., Schutrum*: Solar heat gains through slat type between-glass shading devices.
- [11] *Borel J. C.*: La protection des baies vitrées contre le soleil. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment. Avril 1962. cah. 437.
- [12] *Anquez J., Borel J., Croiset, M.*: cím (11). 1965. febr. cah. 608.
- [13] *Mihejev M. A.*: A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó Bp. 1956.
  - a) 71—74 o.
  - b) 66—71 o.
  - c) 66—74 o.