

MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET  
TÁMPÉLDÁNYA

MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET  
előadássorozatából 4090

---

Nagy Bertalan — Fülöp János

**Új építőanyagok (könnyűbetonok) hőtechnikai  
jellemzői és meghatározásának módszerei**

KEZIRAT

BUDAPEST

---

1962

Ára: 14,- Ft



MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET

TÁMPÉLDÁNYA

MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET

---

előadássorozatából: 4090

Nagy Bertalan - Fülöp János

ÚJ ÉPÍTŐANYAGOK /KÖNNYÜBETONOK/ HŐTECHNIKAI  
JELLEMZŐI ÉS MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI

KÉZIRAT

B u d a p e s t

---

1962

A kiadásért felelős: Talyigás Ferenc

Megrendelve: 1962. szeptember. Példányszám: 300

Készült Rotaprint eljárással az MSZ 5601-54 Á és MSZ 5602-55 Á szabványok  
szerint 5,2 (A/5) ív terjedelemben 34 ábrával

62-10431 – FELSOOKTATASI JEGYZETELLATÓ VALLALAT, BUDAPEST

## BEVEZETÉS

A korszerű tömeges építkezésekhez nemcsak új építési technológia, hanem új építőanyagok felhasználása is szükséges. Az új építőanyagok közül a hazai viszonylatban előállítható és a tömeges építkezésekhez használható különböző adalékanyagokkal készült könnyűbeton anyagokat vesszük tekintetbe.

Az épületek súlycsökkentése során az épülethatároló szerkezetek igen közel kerülnek a hőtechnikai minimumokhoz. A statikailag és szilárdságtanilag megfelelő épülethatároló sok esetben nem, vagy alig elégítik ki a hőtechnikai követelményeket, ezért azokat hőtechnikai szempontból is méretezni kell. A hagyományos módon készült épületeknél erre nincs szükség, mivel a statikai követelmények kielégítésével általában a hőtechnikai követelmények is kielégülnek.

Az új építőanyagokból készült lakó- vagy ipari épületekkel kapcsolatban néhány olyan fizikai jelenség lépett fel, amelyek a hagyományos épületek esetén nem játszottak szerepet. E jelenségek matematikai formába öntéséhez és a hőtechnikai méretezéshez szükség van a hőtechnikai jellemzők ismeretére. Néhány éve széleskörű kutatómunka folyik az új építőanyagok hőtechnikai jellemzőinek szisztematikus meghatározására, ezenkívül laboratóriumi, valamint helyszíni vizsgálatok folynak kész falszerkezetek hőtechnikai viselkedésére vonatkozóan.

A laboratóriumi és a kész épületeken végzett helyszíni vizsgálatok eredményei és tapasztalatai módot nyújtanak a két módszerrel kapott eredmények összehasonlítására. Az eddigi tapasztalatok alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a laboratóriumi vizsgálá-

latok alapján előre meghatározható az új építőanyagokból készült falszerkezetek hőtechnikai viselkedése. Nem szabad megfeledkeznünk azonban arról, hogy egy újfajta anyagból készült szerkezet nem mindig jellemezhető pontosan az alapanyagok jellemzőinek ismeretében, mert az új anyag vagy a belőle készült szerkezet valamilyen körülmény figyelmen kívül hagyása esetén meglephet bennünket tulajdonságának olyan oldalával, melyet még nem ismerünk eléggé és amelyet a továbbiakban kutatás tárgyává kell tenni. Éppen ezért szükség van arra is, hogy az új szerkezeteket elkészülésük után évekig figyelemmel kísérjük és megvizsgáljuk.

A hőtechnikai méretezéshez feltétlen ismerni kell az építőanyagok hőtechnikai tulajdonságait, mert csak így tudjuk biztosítani a külső határoló szerkezetek szükséges hőtechnikai értékét. Az épület-határoló szerkezetek hőtechnikai méretezésével kapcsolatos számítások pontossága nagymértékben az építőanyagok hőtechnikai tulajdonságait jellemző értékek megválasztásától és pontosságától függ.

A hőtechnikai jellemzők megválasztásakor minden esetben ismernünk kell az anyag összetételét, térfogatsúlyát és nedvességtartalmát stb. Éppen ezek ismeretének hiányában nem használhatók biztonsággal pl. a külföldi irodalomban közölt adatok.

A számításból nyert eredmények nem felelhetnek meg a valóságnak, ha az anyagok hőtechnikai tulajdonságait jellemző mutatószámok számításnál felvett értékei eltérnek a valóságos értékektől. Ezek a mutatószámok nem állandó értékek, hanem bizonyos feltételek szerint változnak, ezért a különböző mutatószámok számításra való megválasztása komoly nehézséget jelenthet. Különösen nehéz a feladat az új építőanyagok alkalmazásakor, mert ezek hőtechnikai tulajdonságaira csak nagyon rövid idő tapasztalatai állnak rendelkezésre. A tervezéshez minden esetben olyan hőtechnikai értékeket kell felvenni, melyek várhatóan a kész épületen ki fognak alakulni, tehát az ún. légszáraz állapothoz tartozó értékeket.

A hőtechnikai jellemzők meghatározását az alábbi két módszerrel végezhetjük:

- a/ Próbatesten végzett laboratóriumi,
- b/ Kész épületeken végzett helyszíni vizsgálatok.

Az eddigi tapasztalatok azt igazolják, hogy a két módszerrel nyert értékek csak olyan mértékben térnek el egymástól, amilyen mértékben az anyagok minősége eltér, vagyis a megengedett határon belül néhány %-ot. A vizsgálatok során kapott hőtechnikai jellemzőket az egyes anyagok térfogatsúlyának függvényében táblázatban adjuk meg. A tárgyalt anyagok hőtechnikai jellemzőit a tömör égetett agyagtégla hőtechnikai tulajdonságaival hasonlítjuk össze.

A továbbiakban felsoroljuk az ismertetni kívánt új építőanyagokat és hőtechnikai jellemzőiket.

#### Új építőanyagok

1. kohóhabsalak-beton
2. kazánsalak-beton
3. tufabeton /bodrogkereszturi/
4. pernyekavics-beton
5. keramzit-beton
6. perlitbeton
7. téglatörmelék-beton

#### Hőtechnikai jellemzők

- a/ térfogatsúly
- b/ hővezetési tényező
- c/ fajhő
- d/ légszáraz nedvességtartalom
- e/ szorbciós nedvességtartalom
- f/ páravezetési tényező
- g/ nedvességvezetési tényező

Az új építőanyagok hőtechnikai jellemzői

/Az adatok szobahőmérsékletre és légszáras állapotra vonatkoznak/

Anyag neve	Térf. súly kg/m <sup>3</sup>	Hővezetési tényező kcal/m°C°	Fajhő kcal/kg°C°	Páralevezetési tényező gr/mómmHg°	Légszáras nedv.tart. súly %
Tégla tömör	1700	0,65	0,20	0,016	0,2-1,5
Köhóhab-salakbeton	1100-1300	0,30	0,21	0,012	2-5
	1300-1500	0,40		0,010	
	1500-1600	0,50		0,009	
	1600-1700	0,55		0,008	
	1700-1750	0,60		0,007	
	1750-1800	0,65		0,007	
Kazánsalakbeton	1300-1400	0,40	0,20	0,010	3-6
	1400-1500	0,50		0,009	
	1500-1600	0,55		0,008	
	1600-1700	0,60		0,007	
Bodrogke-reszturi tufabeton /tömör/	1300-1400	0,60	0,22	0,014	5-12
	1400-1500	0,65		0,012	
	1500-1600	0,70		0,010	
Bodrogke-reszturi tufabeton kézielem	1350	0,45	0,22		5-12
	1450	0,50			
	1500	0,55			
Pernyeka-vics-beton	1200-1300	0,50	0,21	0,011	4-10
	1300-1400	0,55		0,007	
	1400-1500	0,60		0,006	
Keramzitbeton	700-800	0,30	0,20	0,024	4-8
	800-900	0,35		0,021	
	900-1000	0,40		0,018	
	1000-1150	0,50		0,014	
Perlitbeton	300-400	0,12	0,27	0,022	7-10
	400-500	0,14		0,020	
	500-600	0,17		0,019	
	600-700	0,21		0,018	
Téglatörmelékbeton	1500-1600	0,60	0,21	0,012	3-8
	1600-1700	0,65		0,011	

## Az új építőanyagok hőtechnikai jellemzői

### Térfogatsúly

A térfogatsúly az építőanyagok igen fontos jellemzője, mert megváltozásával rendszerint együttjár az anyag számos műszaki szempontból lényeges tulajdonságának /szilárdság, hőszigetelőképeség stb./ változása is.

Valamely anyag térfogatsúlyán az  $1 \text{ m}^3$  térfogatban foglalt anyag súlyát értjük. Meghatározásánál az anyagnak légszáras állapotát vesszük figyelembe, amely a valóságos viszonyok közt kialakul.

A térfogatsúly értéke mellé minden esetben az anyag mérés alatti nedvességtartalmát fel kell jegyezni. Így válik lehetővé a különböző kutatók által közölt eredmények összehasonlítása egy adott anyagra vonatkozóan.

Mértékegysége:  $\text{kg/m}^3$

Jele:  $\gamma$

A betonok térfogatsúlya az anyagi minőségen kívül a pórusosságtól, a tömörítés fokától és az adalékanyag fajtájától függ. A térfogatsúlynak fontos szerepe van a hőtechnikai számításokban és az építőanyagok hővezetési tényezőinek hozzávetőleges megítélésében. Az új építőanyagok térfogatsúlyai kisebbek vagy legfeljebb egyenlők a hagyományos tömör égetett agyagtégla térfogatsúlyával. Ez a tény az épületek súlycsökkentése szempontjából igen fontos tényező.

### Hővezetési tényező

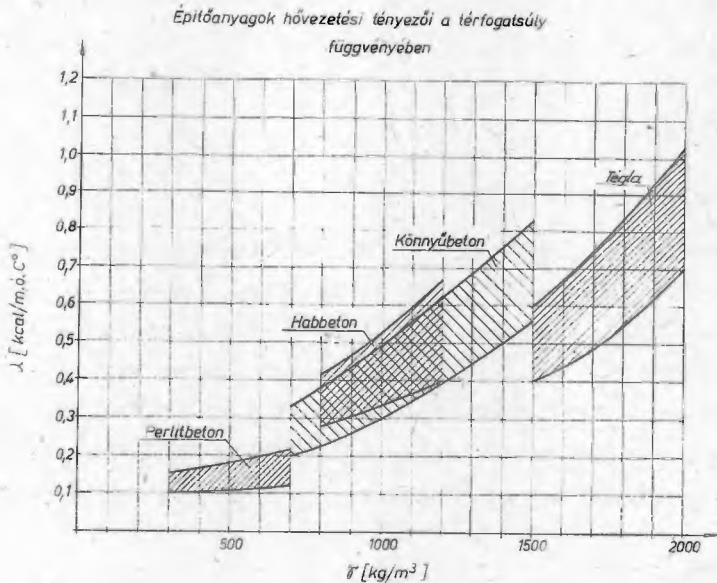
A hővezetési tényező hőtechnikai szempontból az építőanyagok egyik legfontosabb jellemzője. Számértéke megmutatja, hogy  $1 \text{ m}$  vast-

tag építőanyag 1 m<sup>2</sup> felületén mennyi kcal hőmennyiség halad át 1 C<sup>o</sup> hőmérsékletkülönbség hatására 1 óra alatt.

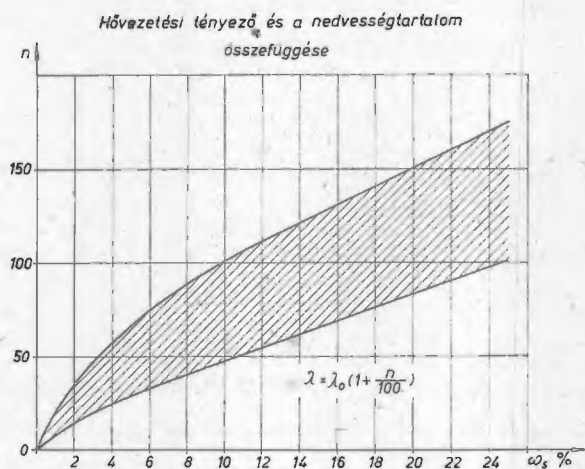
Mértékegysége: kcal/m<sup>o</sup>C<sup>o</sup>

Jele:  $\lambda$

A szóbanforgó építőanyagok hővezetési tényezőit - ahol erre lehetőségünk volt - a térfogatsúly függvényében adtuk meg. Az anyagok hőtechnikai jellemzőire vonatkozó táblázatból látható, hogy a hővezetési tényező függ a térfogatsúlytól. A nagyobb térfogatsúlyu anyag nagyobb, a kisebb térfogatsúlyu anyag kisebb hővezetési tényezővel rendelkezik /1. ábra/. Pontos összefüggést a hővezetési tényező és a térfogatsúly között nem lehet adni, mivel a hővezetési tényező nemcsak a térfogatsúlytól, hanem a nedvességtartalomtól és a porozusságtól is függ. A hővezetési tényező az anyag nedvességtartalmával ugyancsak növekszik /2. ábra/.



1. ábra



2. ábra

Az új könnyűbeton építőanyagok hővezetési tényezője 0,1 - 0,7 kcal/m<sup>2</sup>C<sup>0</sup> határok között változik. A felhasználás alkalmával az építőanyagokat úgy kell megválasztani, hogy az azokból készült szerkezetek hőtechnikai jellemzői minél jobbak legyenek és a minimális követelményeket feltétlenül kielégítsék.

### Fajhő

A fajhő az a hőmennyiség kcal-ban, amely az 1 kg tömegű anyag hőmérsékletét 1 C<sup>0</sup>-kal emeli.

Mértékegysége: kcal/kgC<sup>0</sup>

Jele: c

A fajhő értékei különböző építőanyagokra nem különböznek egymástól lényegesen. Általában a szervesetlen építőanyagokra 0,20-0,22 kcal/kgC<sup>0</sup> értékek között változnak. A könnyű perlit-beton aránylag magas 0,27 kcal/kgC<sup>0</sup> értékkel rendelkezik. A fajhőnek az építőanyagok hőelnyelése és hőtárolása szempontjából van jelentősége. Érté-

ke az anyag nedvességtartalmától is függ. A nedves anyag fajhője az alábbi képletből számolható:

$$c = \frac{c' + 0,010 \omega_s}{1 + 0,01 \omega_s}$$

ahol  $\omega_s$  az anyag nedvességtartalma súlyszázalékban "c'" pedig az anyag fajhője száraz állapotban.

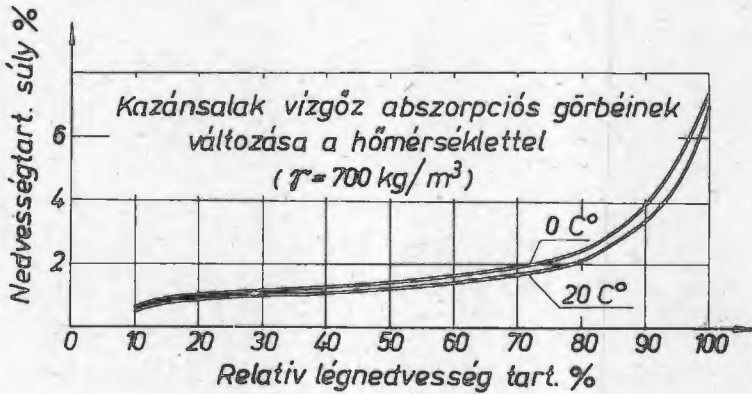
### Légszárász és szorbciós nedvességtartalom

Az anyag súlyállandóságig kiszáritott súlyára vonatkoztatott lekötött páramennyiség a különböző építőanyagokra igen változó érték, amelynek mennyisége a hőmérséklettől és a levegő páratartalmától függ. Az anyag légszárász nedvességtartalmát 18-22 °C hőmérséklet és 60-80 % relatív nedvességtartalomra vonatkozóan szokás megadni. Az építőanyagok nedvességtartalmának a levegő páratartalmától való függését különböző relatív nedvességu térben végzett szorbciós vizsgálatok adják meg. Az anyagok párafelvétele és leadása /nedvesedés és száradás/ azonos hőmérsékleten is bizonyos histerézis jelenséget mutat. A száradás alkalmával az anyagban bizonyos mennyiségű nedvességtartalom marad vissza, amit az anyag nem ad le a környezetének.

A különböző építőanyagok légszárász nedvességtartalmát táblázatban látjuk összefoglalva, szobahőmérsékletre vonatkozóan. A légszárász nedvességtartalmat az anyag normális nedvességtartalmának tekintjük, ennél magasabb nedvességtartalom már károsan hat ki az anyag viselkedésére és a hőtechnikai tulajdonságokat is igen lerontja.

A szorbciós nedvességtartalmat néhány fontosabb anyagra táblázatban és grafikonokon adjuk meg. A grafikonokon látható, hogy az anyagok nedvességtartalma a légszárász nedvesség felett aránylag rohamosan emelkedik.

Az anyagok szorpciós nedvességtartalma a hőmérséklet csökkenésével növekszik. A növekedés nagysága függ az anyagi minőségtől, valamint a hőmérséklet értékétől.



3. ábra

Ezért az építőanyagok szorpciós nedvességtartalmának a figyelembevételénél tekintettel kell lenni e fontos tényezőre.

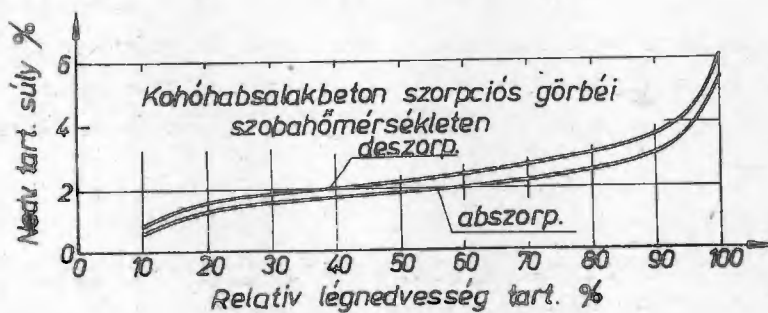
Ezt a tényt az építőanyagok légszáraz, illetve normális nedvességtartalmának megállapításánál nem szabad figyelmen kívül hagyni, mivel a tényleges nedvességtartalom megállapítása fontos, sok más hőtechnikai jellemző értékének megválasztásánál a tervezői gyakorlatban.

Az új építőanyagok deszorpciós /D/ és abszorpciós /A/ nedvességtartalma különböző relatív nedvességu terekben szobahőmérsékleten

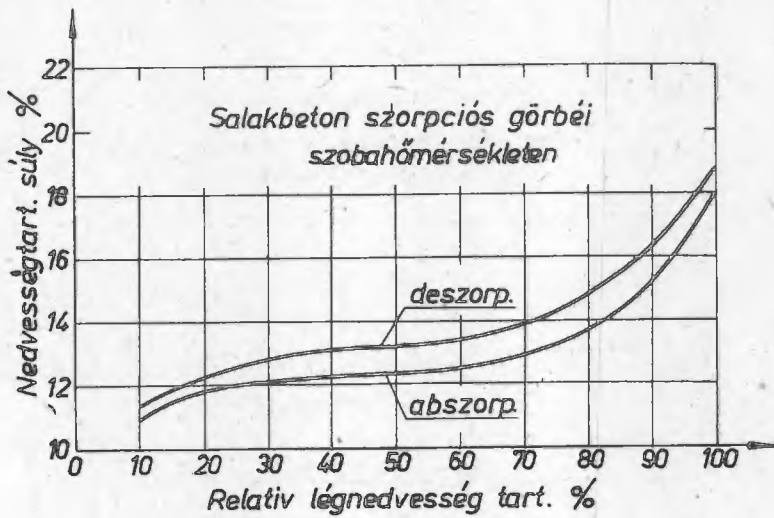
Relatív légnedv. tartalom		10%	33,5%	54%	76,5%	86,4%	93%	100%
Anyag megnevezése:		p á r a f e l v é t e l s u l y % - b a n						
Kohóhabsalak-beton	D	0,8	1,9	2,2	2,9	3,4	3,9	6,1
	A	0,6	0,3	1,8	2,4	2,8	3,2	5,5
Kazánsalak-beton	D	1,2	3,0	3,2	4,4	5,8	6,9	8,8
	A	0,8	2,2	2,5	3,3	4,6	5,8	8,1

Relatív légnedv. tartalom		10%	33,5%	54%	76,5%	86,4%	93%	100%
Bodrogkereszturi tufabeton	D	0,9	2,2	2,8	3,8	5,2	8,3	14,8
	A	0,7	1,6	2,0	2,3	3,0	4,4	10,1
Pernyékavicsbeton	D	0,9	2,3	2,5	3,1	4,3	6,2	11,0
	A	0,6	1,9	2,0	2,3	3,0	4,4	8,5
Keranzitbeton	D	1,1	1,8	2,1	2,6	4,2	6,0	10,5
	A	0,7	1,3	1,5	1,7	2,4	3,8	7,9
Perlitbeton	A	2,1	2,9	3,5	5,8	7,6	12,4	25,3
Téglatörmelékbeton	D	0,7	1,3	1,7	2,5	3,6	6,0	11,0
	A	0,3	0,8	1,1	1,3	2,2	3,8	8,7
Égetett tömör-agyagtégla	D							
	A	0,06	0,1	0,18	0,25	0,31	0,48	0,89

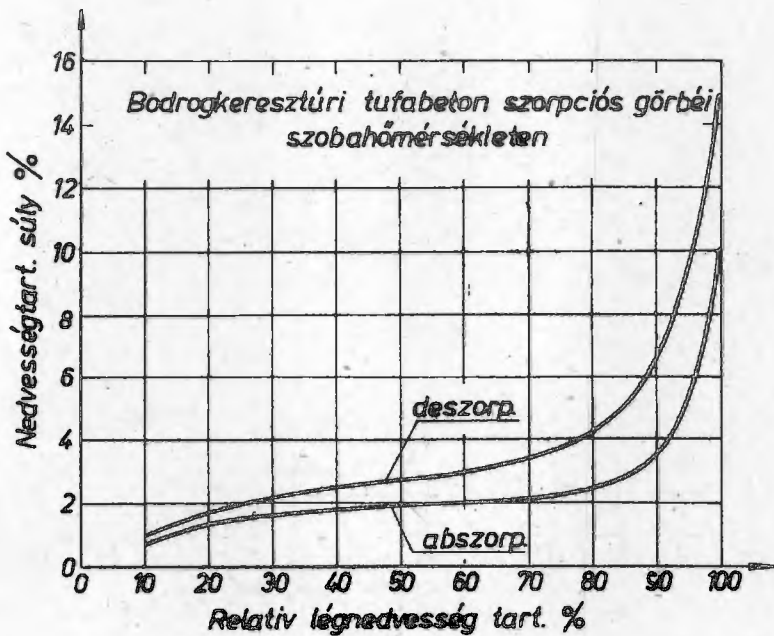
Mint a táblázatból látható a tufabeton és a perlitbeton hajlamosak magas nedvességtartalom felvételére, ezért a két anyagnál erre a tulajdonságra fokozottan figyelemmel kell lenni.



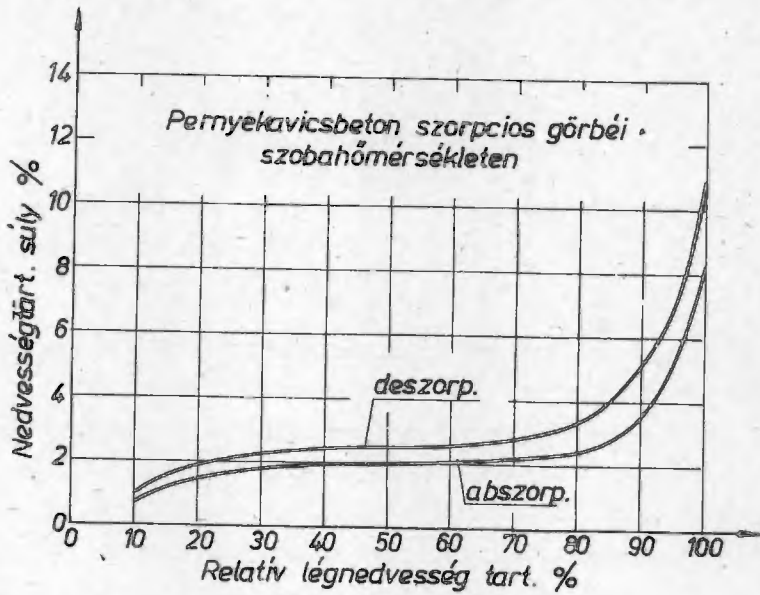
4. ábra



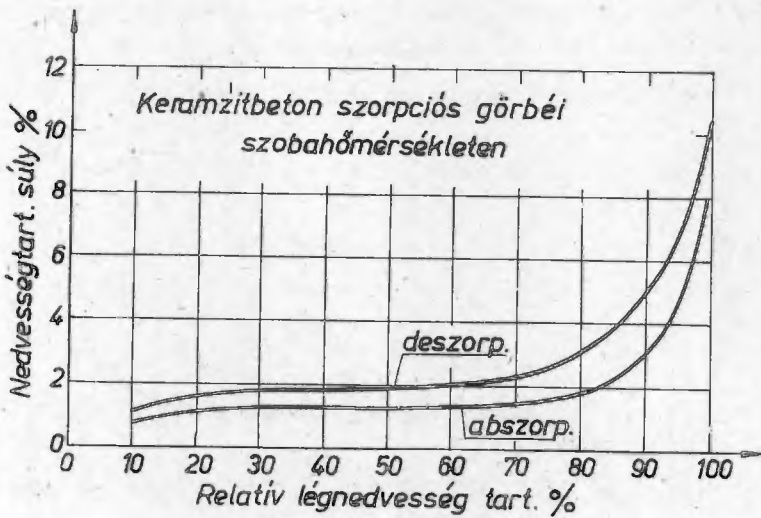
5. ábra



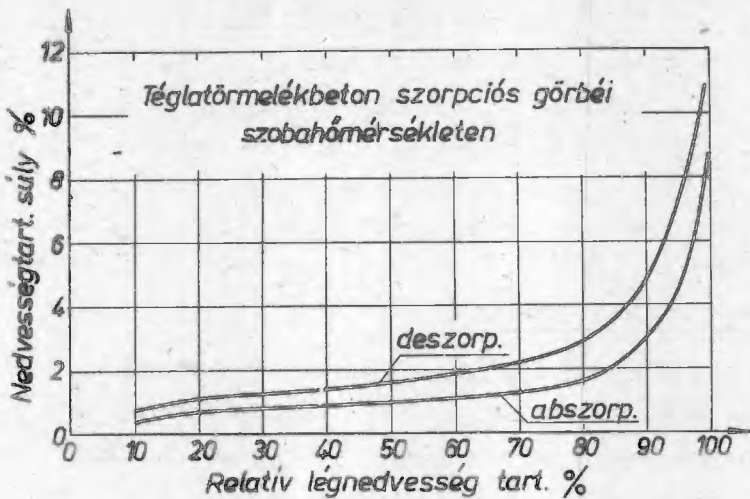
6. ábra



7. ábra



8. ábra



9. ábra

### Páravezetési tényező

A páravezetési tényező a hővezetési tényező mellett az építőanyagok második igen lényeges hőtechnikai jellemzője, amely az anyag belsejében kialakuló páradiffúzióra ad felvilágosítást. Értéke megmutatja, hogy az építőanyag  $1 \text{ m}^2$  felületén  $1 \text{ m}$  anyagvastagság és  $1 \text{ mm Hg}$  kétoldali párányomás különbség mellett hány gramm pára halad át  $1$  óra alatt.

Mértékegysége:  $\text{gr}/\text{mómmHg}$

Jele:  $\mu$

Az új építőanyagok páravezetési tényezői  $0,006 - 0,024$  értékek között változnak. A hagyományos égetett tömör agyagtégla hasonló jellemzője közbülső helyet foglal el  $0,016$  értékkel. Bizonyos esetekben az alacsony páravezetési tényezővel rendelkező anyag gátolhatja az alacsonyabb párányomású tér felé tartó párafrontok mozgásában s így az anyag belsejében nagy mennyiségű párafelhalmozódás történhet, ami kihat mind az anyag belsejére mind a külső felületek további sorsára és nagymértékben lerontja az anyag hőtechni-

kai jellemzőit. A tárgyalt új építőanyagoknál a páravezetési tényező alacsony értékű, azonban általában párazárásról még nincs szó, mivel a pára záráshoz a páravezetési tényező értékének gyakorlatilag 0,005 értéknél kisebbnek kell lenni a szobajöhető rétegvastagságok esetén. Az egyes anyagokra vonatkozó páravezetési tényező értéket az 1. táblázatban láthatjuk összefoglalva.

### Nedvességvezetési tényező

A nedvességvezetési tényező az anyag folyékony halmazállapotú nedvességszállítással kapcsolatos tulajdonságairól ad felvilágosítást az anyagnedvesség tartalmának függvényében. Értéke megmutatja, hogy az anyag adott nedvességtartalma mellett hány gramm vizet szállít  $1 \text{ m}^2$  keresztmetszet és  $1 \text{ m}$  vastagság mellett 1 óra alatt 1 súly% nedvességtartalom különbség hatására.

Mértékegysége: gr/mó suly%

Jele:  $\beta$

A nagymennyiségű nedvesség általában kellemetlen következményekkel jár a falszerkezetben, ezért a kisebb nedvességvezetési tényezőjű anyagok kedvezőbbnek mondhatók, mint az erősen nedvszívó tulajdonságúak. Az anyagnedvesség tartalmának növekedésével a nedvességvezetési tényező csaknem minden építőanyagnál rohamosan növekszik. A nedvességvezetési tényező értékeit néhány építőanyagra a III. táblázatban foglaltuk össze.

### Új építőanyagok nedvességvezetési tényezői /adatok szobahőmérsékleten értendő/

III. táblázat

Anyag megnevezése	Térfogatsúly kg/m <sup>3</sup>	Anyag nedv. tart. suly%-ban		
		nedv. vezetési tényező gr/mó%		
Tömör égetett agyagtégla	1700	0,5	2	5
		0	0,09	0,17
Kohósalakbeton	1700	2	5	10
		0,01	0,05	0,09
Kazánsalakbeton	1500	2	5	10
		0,001	0,008	0,03

Anyag megnevezése	Térfogatsúly kg/m <sup>3</sup>	Anyag nedv.tart. súly%-ban		
		nedv. vezetési tényező	gr/mó%	
Bodrogkereszturi tufabeton	1400	$\frac{5}{0,031}$	$\frac{15}{0,092}$	$\frac{25}{0,32}$
Perlitbeton	500	$\frac{2}{0,45}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{15}{46}$

### Hőtechnikai jellemzők értékelése

Az új építőanyagok kisebb térfogatsúlya és hővezetési tényezője lehetővé teszi az épületek súlycsökkenését, a hőtechnikai minimumok kielégítése mellett. A hagyományos építési módszerek elhagyásával fokozni lehet az építkezések ütemét és gazdaságosságát. A hőtechnikai jellemzők ismeretében módunk nyílik az anyagok hőtechnikai tulajdonságainak kedvező /maximális/ kihasználására. Az eddig végzett laboratóriumi kísérleti kutató munkánk és méréseink, valamint a kész épületeken végzett helyszíni vizsgálatok azt bizonyítják, hogy az új építőanyagok kielégítik a velük szemben támasztott követelményeket, ha a tulajdonságaiknak megfelelően tervezzük és építjük be azokat.

Az új építőanyagokból készült hőtechnikailag helyesen méretezett épülethatároló szerkezetek alkalmasak arra, hogy belőlük a hagyományos módon készülő épületekkel egyenértékű vagy annál jobb épületeket építsünk.

### Hőtechnikai jellemzők meghatározásának módszerei

#### Térfogatsúly meghatározása

Anyagok térfogatsúlyának meghatározására szolgáló közvetlen be rendezéseket, vagy műszereket nem ismerünk. Térfogatsúlyt végső soron mindig az anyag súlyának és térfogatának méréséből határozzuk meg a

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{képlet alapján,}$$

ahol  $\gamma$  = térfogatsúly /kg/m<sup>3</sup>/  
 $G$  = a test súlya /kg/  
 $V$  = a test térfogata /m<sup>3</sup>/

A gyakorlatban alkalmazott módszereket aszerint, hogy szabályos, vagy szabálytalan mértani alakzattal rendelkező testekről van szó, két csoportra oszthatjuk.

A szabályos alaku szilárd testek /kocka, henger, hasáb stb./ térfogatát elegendő pontossággal meghatározhatjuk méreteiből.

A szabálytalan alaku testek térfogatát méreteiből nem számolhatjuk, ezért ilyen esetekben a test térfogatát víz alatti súlyméréssel határozzuk meg. Mivel az építőanyagok gyakran porózus testek, a mérés során gondoskodni kell arról, hogy az anyag által fel szívott vízmennyiség ne rontsa a mérés pontosságát.

A víz-beszívódást egyrészt úgy küszöbölhetjük ki, hogy az anyagot a térfogatmérés előtt hosszabb ideig víz alatt tartjuk, vagy - ha a vízfelvétel igen számottevő, illetve az anyag vízbe oldódik - vékonyan parafin réteggel vonjuk be. Ez esetben a térfogatsúlyt az alábbi képletből határozhatjuk meg,

$$\gamma = \frac{G}{G - G_v}$$

ahol  $\gamma$  = az anyag térfogatsúlya /kg/m<sup>3</sup>/  
 $G$  = a test súlya levegőn mérve /kg/  
 $G_v$  = a test súlya víz alatt mérve /kg/

A test súlyát minden esetben megfelelő mérlegen a kívánt pontossággal meghatározhatjuk.

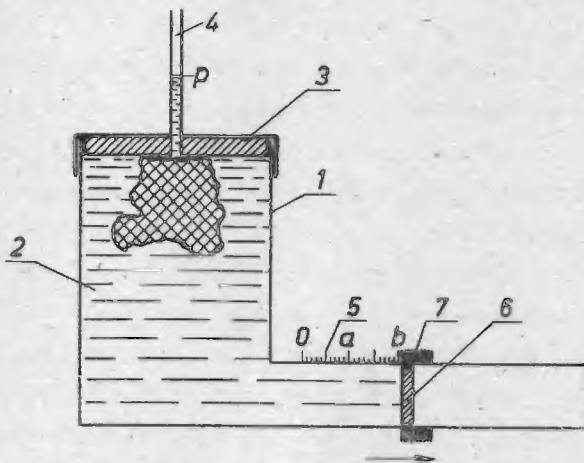
Gyorsan, de kevésbé pontosan a test térfogatát úgy is meghatározhatjuk, hogy a vízzel telített, vagy parafinnal bevont anyagot egy vizet tartalmazó ürmérték beosztással ellátott üvegedénybe he-

lyezzük. Az anyag bemejtése után észlelt térfogat növekedésből a test térfogata meghatározható.

A m s l e r - f é l e volumen mérő készülékkel egyszerű és gyors módon határozható meg fából, fémből vagy más anyagokból készült próbatestek térfogata feltéve, hogy a kérdéses anyagot a készülékbe alkalmazott higany nem támadja meg. A test súlyát megfelelő pontossággal mérleggen határozzuk meg.

A készülék /10. ábra/ lényegében egy hengeralaku acéltartályból áll. A tartályt higanyal töltjük meg és tetejét csavarmentes fedővel lezárjuk, mely

légmentesen fekszik a henger szélén és amelynek közepéből jellel ellátott üvegcső nyulik ki felfelé. Az üvegcső alul és felül nyílással van ellátva, hogy a higany emelkedésekor a tartályból /1/ a levegő könnyen eltávozhasson.



10. ábra

A fedő belső kiképzésénél fogva a higany bármikor behatolhat az üvegcső alsó nyílásába a próbatest behelyezése után is. A tartály oldalán vízszintesen elhelyezett henger van, amelyben egy becsiszolt dugattyú /6/ előre és hátra eltolható egy mikrométer csavar segítségével. A mikrométer csavar és ezáltal a dugattyú mindenkori helyzete hengeren levő /5/ beosztásról leolvasható. A dugattyú keresztmetszete olyan, hogy a mikrométer csavar egy fordulata  $0,3 \text{ cm}^3$  térfogatváltozásnak felel meg.

A mérés ezek után úgy végezhető el, hogy a /7/ dob forgatásával a higanynívót a cső /4/ "p" jeléig szorítjuk. Ebben az állásban leolvassuk a dugattyú állását "a"-t, majd a dugattyút visszavisszük,

hogy a higany felszine lesüllyedjen, mert a próbatest behelyezése során a higany az üvegcsőbe olyan magasságot érne el, amelynél kifolyás következne be. A próbatest behelyezése után a csavart addig forgatjuk, míg a higanyszint újra el nem éri az üvegcsővön levő karcolt jelet. Feljegyezve a henger állását  $/b/$  a test térfogatát a

$$v = /b - a/ \cdot 0,3 \text{ cm}^3$$

képlettel számolhatjuk ki. A térfogatsúlyt pedig a  $\gamma^* = \frac{G}{V}$  képletből az ismert módon határozhatjuk meg.

Ö m l e s z t e t t vagy p o r s z e r ű anyagok térfogatsúlyának meghatározásakor megkülönböztetünk lazán beeresztett vagy berázott állapotban mért térfogatsúlyt.

A lazán beeresztett ömlesztett anyagok térfogatsúlyát úgy határozzuk meg, hogy adott térfogatu hengeres edényt óvatosan szórva teleöntik annyira, hogy az anyag az edény szélein tulömlőjék. A felesleges anyagot az edény tetejéről eltávolítva és az edényben levő anyag súlyát lemérve, térfogatsúlyt az előbb ismertetett számítási módok egyikével határozhatjuk meg.

A berázott állapotban mért térfogatsúly meghatározásakor a mérőedényt megtöltése után ütögetéssel, rázással tömörítjük, majd ismét feltöltve rázzuk és ütögetjük mindaddig, míg az edény meg nem telik. Az edény tetejéről a felesleges anyag eltávolítása után a térfogatsúly az előzőkhöz hasonlóképpen határozható meg.

### Fajhő mérése

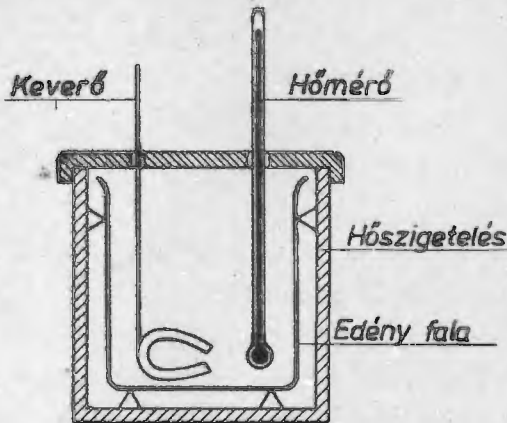
Az építőanyagok fajhőjének meghatározását különböző kaloriméterekben végezhetjük el. E helyen a kalorimétereknek két fajtáját ismertetjük:

a/ vizkalori méter,

b/ jég kaloriméter.

a/ A v i z k a l o r i m é t e r hőmérővel és vizkeverővel felszerelt kettősfalú, belül fényezett felületű edény /Deward-palack/ dugóval elzárható nyílással /ll. ábra/.

A fajhő mérése úgy történik, hogy a kaloriméterbe ismert tömegű vízmennyiséget  $m_v$  öntünk és belehelyezzük a hőmérőt és a vizkavarót. A használt hőmérőnek a vízhőmérséklet kellő pontossággal történő méréséhez legalább  $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ , vagy ennél finomabb beosztásnak kell lennie. Miután a kaloriméter és a beleöntött víz közös hőmérséklete kialakult /kb. 10 perc/, leolvassuk a hőmérő állását  $t_v$  és a kaloriméterbe beletesszük a  $t_m$  hőmérsékletre felmelegített ismeretlen  $c_x$  fajhőjű és ismert  $m_2$  tömegű testet. A víz, a kaloriméter és az anyag közös hőmérsékletének kialakulását kavargatással segítjük elő, majd feljegyezzük a hőmérő által mutatott közös  $t_k$  hőmérséklet értéket. Az ismeretlen fajhőjű test által leadott hőmennyiséget  $Q_1$  a kaloriméterben levő folyadék veszi fel és a folyadék hőmérséklet változásából kiszámíthatjuk az általa felvett hőmennyiséget a



11. ábra

képlet alapján,

$$Q_1 = c_v / m_v + V / \cdot / t_k - t_v /$$

ahol  $V$  = a kaloriméter vizértéke.

Az ismeretlen fajhőjű test által leadott hőmennyiséget pedig a

$$Q_2 = c_x m_2 \cdot t_2$$

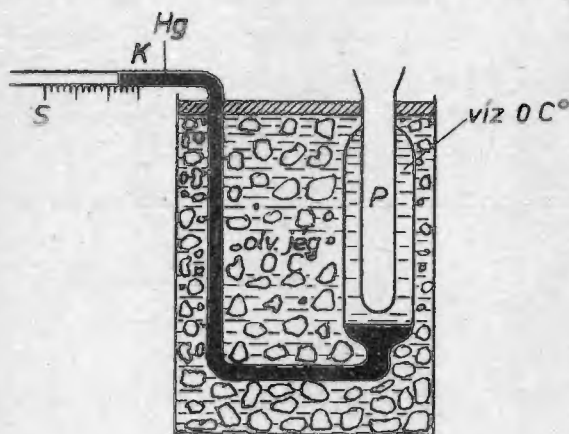
képlet adja.

A víz és a kaloriméter által felvett hőmennyiségek, valamint az ismeretlen fajhőjű melegebb test által leadott hőmennyiség egyenlőségéből következik, hogy az ismeretlen fajhőjű test fajhőjét az alábbi képletből számolhatjuk

$$c_x = \frac{m_v + V / t_k - t_v}{m_2 \beta t_m - t_k}$$

A mérés alkalmával ha nem kívánjuk a hőcserélődés alkalmával fellépő és a hőmérsékletek méréséből adódó hibákat figyelmen kívül hagyni, igen ajánlatos az  $t_k - t_v \approx 5 \text{ C}^\circ$  különbséget betartani, szobahőmérsékletű, vagy ennél valamivel alacsonyabb hőmérsékletű víz használata esetén.

A mérés alkalmával a mérendő anyagot célszerű apró darabokra törni, hogy a hőcserélődés aránylag nagy felületen gyorsan menjen végbe, állandó kavargatás közben. A mérendő anyagot legcélszerűbb forrásban levő víz gőzében melegíteni, hogy minél pontosabban ismerjük a mérendő test hőmérsékletét. Ugyanis a mérendő anyagminta hőmérsékletének pontos mérése igen körülményes és más módon való méréssel igen pontatlan lehet.



12. ábra

A kaloriméter vizértékét /a vizérték azzal a vízmennyiséggel egyenlő, amelyet a kaloriméter és tartozékai által felvett hőmennyiség  $1 \text{ C}^\circ$ -kal melegítene fel/ a fent ismertetett módon határozhatjuk meg, mikoris  $m_x = m_v$

$$\text{és } c_x = \frac{1 \text{ kal}}{\text{gr}} .$$

b/ Bunsen-féle jégkaloriméter /12. ábra/.

A K kapilláris csőbe öntött higanyszloppal tiszta vizet zárunk el, amely teljes egészében megtölti a P próbacsövet tartalmazó burát. A mérés előtt a berendezést olvadó jég és víz keverékébe he-

lyezzük és a P próbacső külső falára bizonyos mennyiségű vizet fagasztunk rá /só-oldattal, éter, alkohol stb./.

Mivel a jégnek nagyobb a fajtérfogata mint a víznek, ezért a K kapillárisban a higanyszál eltolódik és a higanynivó az S skálán leolvasható. Ezután az ismeretlen fajhőjű anyagból ismert  $m$  tömegű mennyiséget a P próbacsőbe helyezünk, melynek a hőmérséklete a behelyezés előtt  $t$  C°. A hőcsere befejezésével  $m_1$  tömegű jég megolvad, a mérendő test pedig lehül  $0$  C°-ra. A jég megolvadása következtében létrejött térfogatváltozást a K kapilláris csőben levő higanyszál elmozdulásából meghatározhatjuk és a mért anyag fajhőjét a

$$c_x = \frac{v}{t \cdot m} \cdot 879,2 \text{ cal/grC}^\circ \quad \text{képletből számolhatjuk, ahol}$$

$c_x$  = az ismeretlen fajhőjű anyag fajhője

$v$  = a jég térfogatváltozása

$t$  = a próbatest mérés előtti hőmérséklete

$m$  = az ismeretlen fajhőjű anyag tömege.

#### Párovezetési tényező mérése

A vizsgálandó  $10 \times 10 \times 10$  cm próbatestet a 13. ábrán bemutatott berendezésbe építjük be olymódon, hogy a minta felső részén 100 %-os relatív nedvességű teret állítunk elő, a minta alatt pedig 0 % relatív nedvességű tér van. A 100 %-os teret szabad vízfelület párolgásával valósítjuk meg, a 0 %-os teret pedig olymódon, hogy az alsó zárt térben páraabszorbens anyagot /szilikagél, vízmentes kalciumklorid, molekula szűrő stb./ helyezünk el. A felső térben levő nagyobb párányomás hatására a vízgőz a próbatesten keresztül az alsó térbe diffundál, ahol az abszorbens anyag teljes mennyiségben elnyeli. A minta vastagságának, a kétoldali párányomás különbségének és az időegységre jutó áthaladt páramennyiség ismeretében a párovezetés tényezőt az alábbi képletből számolhatjuk:

$$\mu = \frac{G \cdot \delta}{\Delta p \cdot \tau \cdot F}$$

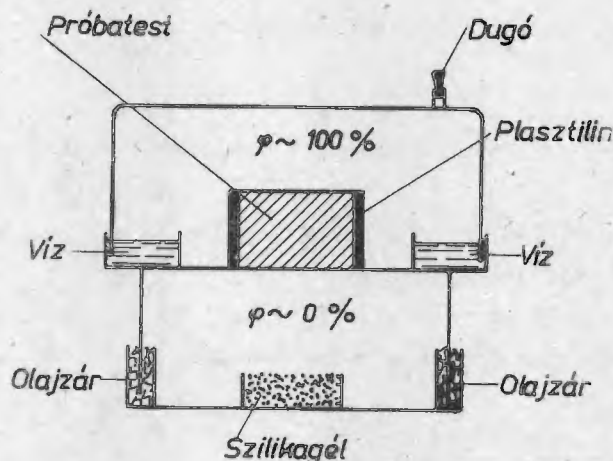
ahol  $G$  = az 1 nap alatt átjutott páramennyiség

$\delta$  = a próbatest vastagsága

$\Delta p$  = a kétoldali páramennyiség különbség higanymilliméterben

$\tau$  = 24 óra

$F$  = a próbatest páradiffúziós irányra merőleges felülete  $m^2$ -ben.



13. ábra

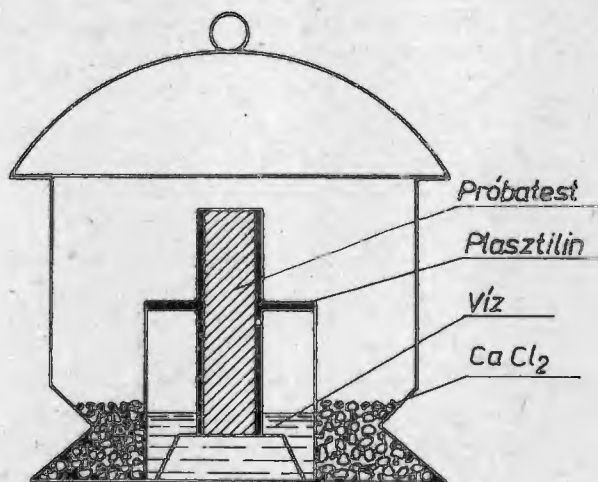
### Szorpciós nedvesedés mérése

A vizsgálandó  $7 \times 7 \times 7$  cm méretű anyagmintákat különböző relatív légnedvességű térbe helyezzük. A különböző légnedvességű tereket megfelelő telített sóoldatok fölött levő zárt térben kialakult nedvességű tér szolgáltatja. A próbatestek a fenti terekben különböző mennyiségű vizet nyelnek el, amelynek mennyiségét súlyméréssel határozhatjuk meg és a súlyállandóságig kiszáritott anyag súlyára vonatkoztatva súly%-ban szokás megadni. A különböző relatív légnedvességű terekben az építőanyagok az anyagi minőségüktől,

az adalékanyag fajtájától, hőmérséklettől stb. függően különbözőképpen nedvesednek. A 60-80 % relatív légnedvesség és szobahőmérséklet mellett elnyelt nedvességet "légszáraz" nedvességtartalomnak szokás nevezni. A jól tervezett és kivitelezett épületszerkezetekben az építőanyagok normális esetben, üzemszerűen légszáraz állapotban vannak. A nedvességtartalom - relatív légnedvességgörbét szorpciós görbéknek nevezzük. Ezek megadják adott légnedvességtartalom és léghőmérséklet mellett valamely anyag egyensúlyi nedvességtartalmát.

#### Nedvességvezetési tényező mérése

Ha az építőanyag nedvességgel közvetlenül jut érintkezésbe /páralecsapódás, csapóeső, talajvíz stb./, akkor az építőanyag a folyékony állapotú nedvességet a kapilláris nedvességvezetés útján továbbítja. Ennek mértékére a nedvességvezetési tényező a jellemző. A nedvességvezetési tényezőt a 14. ábra szerinti berendezésben vizsgálhatjuk. Egy 7 x 7 x 25 cm méretű súlyállandóságig kiszáritott próbatestet, amelynek a 4 oldalát vízzáró plasztilinnel vonjuk be, 3 cm mélységig vízbe mártunk.



14. ábra

Az anyagban felszívódott nedvességet, amely a minta felső szabad felületén elpárolog, az edény alján elhelyezett  $\text{CaCl}_2$  elnyeli.

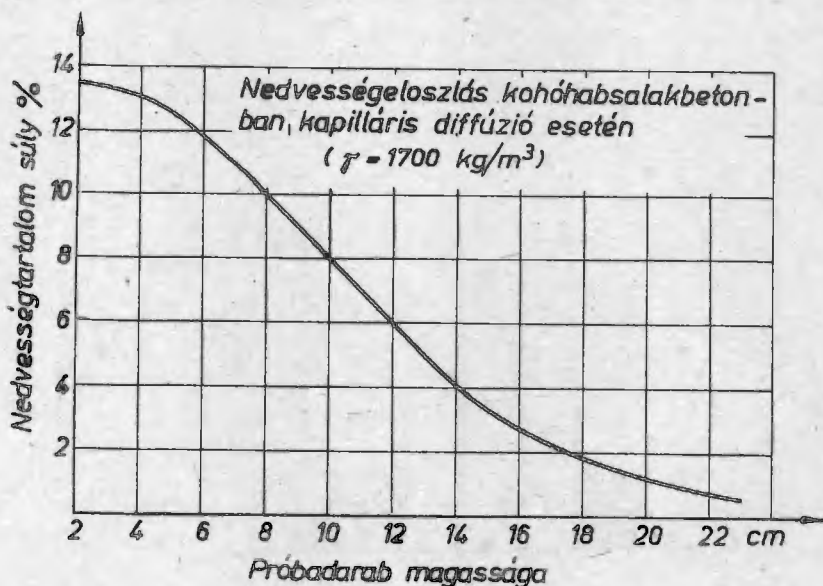
Ennek mennyisége a próbatestet tartalmazó edény súlycsökkenéséből meghatározható. Az egyensúlyi állapot beállta után a próbatestet kb. 3 cm vastagságu szeletekre vágjuk és súlyméréssel meghatározzuk az egyes szeletek nedvességtartalmát. A nedvesség eloszlási görbe /15. ábra/ iránytangenséből, valamint az időegység alatt átvándorolt nedvességmennyiségből a nedvességvezetési tényezőt az alábbi képlet alapján határozhatjuk meg adott nedvességtartalom és hőmérséklet mellett:

$$\beta = \frac{\frac{G}{\tau}}{\frac{d\omega_s}{dx}}$$

ahol  $G$  = az 1 nap alatt elvezetett nedvesség mennyisége gr-okban

$\tau$  = 24 óra

$\frac{d\omega_s}{dx}$  = nedvességeloszlási görbe iránytangense.



15. ábra

## Hővezetési tényező meghatározásának módszerei

A hővezetési tényezőt általában a hőáramlás állandósult /stationárius/ állapotában határozzák meg. Ez a mérési módszer hosszadalmas, sok esetben napokat, sőt heteket vesz igénybe. A hővezetési tényező gyors meghatározására szolgáló módszerek szerint a méréseket nem állandósult hőáramban végzik, így a mérés időtartama számottevően rövidebb, egyes esetekben csak néhány percet vesz igénybe. Ez utóbbi mérési eljárások azonban pontosságban elmaradnak az állandósult hőáramlási módszerektől és csak megközelítő értéket adnak.

A hővezetési tényező meghatározásához a szigetelőanyagból egyszerű mértani alakú próbatesteket vágunk ki, sík lap, üreges henger, vagy üreges gömbhéj alakot. Bonyolult formákkal megbízható eredményhez nehezen és körülményesen juthatnánk.

### a/ A hővezetési tényező mérése állandósult hőáramlásnál

Sík lapokkal határolt idomtestekben vagy lemezekben a Poensgen módszerrel, csövekben és üreges henger alakú testekben a Van'Rinsum-módszerrel, szálak, szemcsés és porszerű anyagokban a Nuselt-módszerrel, falak vagy falszerkezetek vizsgálatakor a Hencky-féle segédfalas-módszerrel, üzemi helyszíni méréskor pedig a segédfalas eljárás elvén alapuló Schmidt-féle mérőszalagos módszerrel mérik a hővezetési tényezőt.

A hőáramlást általában villamos energiával létesítik. A  $Q$  hőmennyiség az áram feszültségéből és az áram erősségéből a

$$Q = 0,86ei$$

képlet alapján számítandó, ahol  $e$  a feszültség voltban,  $i$  az áram erőssége amperben.

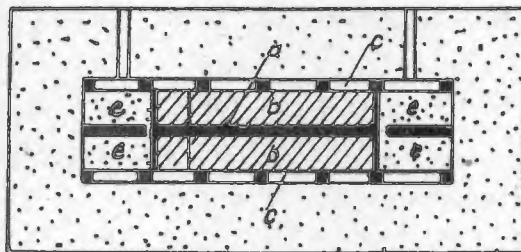
## A Poensgen-eljárás és változatai

Sík felületek által határolt lemezek és idomtestek hővezetési tényezőjének megállapítására alkalmazzák, de laza szerkezetű anyagok vizsgálatára is felhasználható. A párhuzamos sík felületekkel határolt egyenletes vastagságú próbatesten a felületre merőleges irányban állandósult hőáramlás mellett  $Q$  hőmennyiséget vezetnek át. Az óránként átáramló hő mennyisége  $Q$  kcal/ó, a vizsgált lap felülete  $F$  m<sup>2</sup> és vastagsága  $\delta$  m, végül a vizsgált test felületein mért hőmérsékletkülönbség  $\Delta t$  C<sup>o</sup>, a hővezetési tényező kcal/móC<sup>o</sup>-ban a következő képletből számítható

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot \Delta t} \text{ kcal/móC}^o$$

### Poensgen-féle készülék

A készülékben egy négyzet alakú elektromos fűtőtest /a/ van, amelynek felületéhez szimmetrikusan illesztjük a síklapu /b-b/ próbatesteket, amelyeknek külső felülete hidegvíz árammal hűtött fémlapokhoz /c-c/ simul. Az oldalirányú hőáramlás megakadályozása céljából a négyzetes fűtőtest elektromos keretfűtőlappal /d/ van körülvéve, amelynek mindkét oldalára ugyancsak szimmetrikusan, lehetőleg kísérleti anyagból készült szigetelő kereteket /e-e/ helyezünk, amelyeknek vastagsága megegyezik a próbatestek vastagságával.



16. ábra

Poensgen-készülék

a/ fűtőlap; b/ próbatestek; c/ hűtőlapok; d/ keretfűtés;  
e/ védőszigetelés

A hűtőlapok ezeket a keretlapokat is befedik /16. ábra/. A vizsgálathoz a /d/ keretfűtőlap fűtését úgy kell beállítani, hogy a keretfűtőlap felületi hőmérséklete azonos legyen az /a/ négyzetes fűtőlap felületi hőmérsékletével. Ezáltal a középső négyzetes fűtőtest termelte hőmennyiség oldalirányú veszteség nélkül a próbatesten keresztül a próbatest felületére merőlegesen haladva adódik át a hűtőlapoknak.

A keretfűtés szabályozására, valamint a próbatestek külső felületi hőmérsékletének mérésére hőelemeket használnak. Állandó-sult hőáramlás és a keretfűtőlapok hőmérsékletének megfelelő beállítás esetén a próbatesten áthaladó hőmennyiség megegyezik a középső négyzetes fűtőlap által termelt hőmennyiséggel.

$$Q = 2 \frac{\lambda}{\delta} F / t_b - t_k / \text{ kcal/ó.}$$

ahol  $Q$  kcal/ó a középső fűtőtestben óránként termelt hőmennyiség,  $\lambda$  a próbatest hővezetési tényezője kcal/móC<sup>o</sup>-ban,  $\delta$  a próbatest vastagsága m-ben,  $F$  a próbatest felülete m<sup>2</sup> ben,  $t_b$  és  $t_k$  és a próbatest belső /fűtött/ és külső /hűtött/ felületén az átlagos felületi hőmérséklet. Ebből a hővezetési tényező

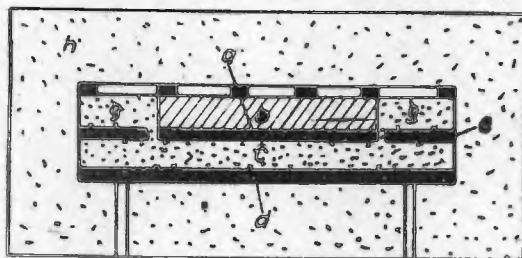
$$\lambda = \frac{Q \delta}{2 F / t_b - t_k} \text{ kcal/móC}^o$$

A vizsgálatra beépítendő próbatest felülete legalább akkora legyen, mint a középső fűtőtest felülete. Általában a középső négyzetes fűtőtest legkisebb élhossza ne legyen kisebb 25 cm-nél. A próbatest vastagsága 10-120 mm között van. Homogén anyagok vizsgálatához a négyzetes fűtőtest kisebb méretben és köralakban is készülhet, de a négyzetes fűtőtest élhossza, körkeresztmetszetű fűtőtestnek pedig az átmérője legalább 120 mm, a keretfűtőtest szélessége pedig a középső fűtőtest élhosszához, illetve átmérőjéhez legalább 1/4-e legyen.

A készüléket a mérés tartama alatt jól szigetelő anyagba ágyazzuk.

### Jakob-féle készülék

A Poensgen-mérést megnehezíti, hogy a fűtőtestet két oldalról kell burkolni a vizsgálandó anyaggal, és a lapoknak teljesen egyforma vastagoknak kell lenni azért, hogy a középső fűtőtestben termelt hőmennyiség egyenletesen megosztva haladjon át a próbatesteken. Ezt a hátrányt küszöböli ki a Jakob-féle vizsgálati módszer, amely lényegileg a Poensgen-mérés elvén alapszik, de a vizsgálathoz csak egy próbatestre van szükség. Ezt a berendezést a Poensgen-eljárás egyik változatának lehet tekinteni. A berendezés működési elvét a 17. ábra tünteti fel.



17. ábra

#### Jakob-készülék

a/ fűtőlap; b/ próbatest; c/ szigetelőlap; d/ kompenzáló fűtőtest; e/ keretfűtőlap; g/ és h/ szigetelés

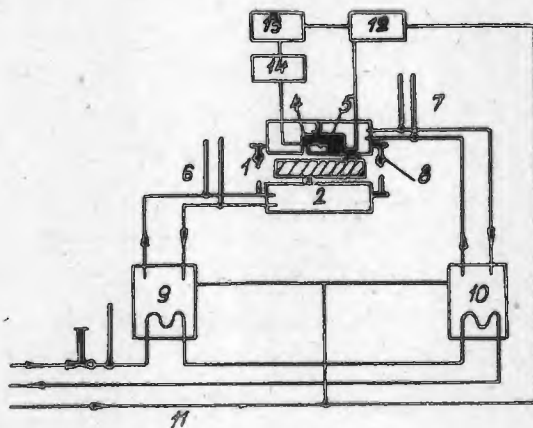
A készülékben a fűtőtest /a/ csak egyik oldalán van a vizsgálandó mintadarabbal /b/ befedve, a másik oldalon szigetelőlapon /c/ fekszik, amelyet alul egy kompenzáló fűtőtesttel /d/ fűtenek. A készülék a Poensgen-készüléknél ismertetett keretfűtőlappal /e/ is el van látva. Mérés alkalmával az alsó és a keretfűtőtesteket akkora hőmérsékletre kell felfűteni, mint amilyen hőmérsékletű a középső

fűtőtest. Szálat az oldal és a lefelé irányuló hővesztés a /d/ és /e/ fűtőtestek révén kiegyenlítődik, a középső fűtőtest által termelt hőmennyiség teljes egészében a vizsgált mintadarabon halad át és a hűtőlap nyeli el. A hővesztés csökkentésére a készülék gondosan van szigetelve /g, és h/. A hővezetési tényező a vizsgálati adatokból:

$$\lambda = \frac{Q \delta}{F \cdot (t_b - t_k)} \quad \text{kcal/m}^2\text{C}^\circ$$

### A Bock-féle készülék

A módszer lényegében azonos a Jakob-féle módszerrel. A berendezés azonban automatikus hőmérséklet szabályozó készülékkel van ellátva. A berendezés vázlatos rajzát a 18. ábra szemlélteti.



18. ábra

### Bock-készülék

1. kísérleti anyag; 2. hűtőlap; 3. vízfűtés; 4. fűtőlap;
5. hőelem sorozat; 6. higanyhőmérők; 7. higanyhőmérők; 8. mikrométer;
9. termosztát; 10. termosztát; 11. váltakozó-áramú hálózati vezeték;
12. ejtőkengyeles hőmérséklet szabályozó; 13. áramszámláló; 14. feszültségelosztó; 15. higanyhőmérő és rotarimérő

A készülék két vízzel fűtött, illetve hűtött 250 x 250 mm felületű fémszekrényből áll, ezek közé helyezik a vizsgálandó anyagot. A két szekrényben termosztáttal állandó hőmérsékleten tartott víz kering. Az elektromos fűtőtestet a felső szekrényben helyezik el. Automatikus ki-bekapcsoló berendezéssel a fűtőtest próbadarabjal érintkező felületét olyan hőmérsékleten tartják, mint amilyen hőmérsékletű a szekrényben a víz hőmérséklete. Ezáltal kiküszöbölődik a szélvesztés, a fűtőtestben termelt hőmennyiség egész mennyiségében a vizsgált lapon keresztül halad át. A készüléket a hőmennyiség mérésére wattmérővel, a fűtési teljesítmény szabályozására szolgáló műszerekkel, a szekrényben áramoltatott víz hőfokának mérésére tizedes beosztású higanyhőmérőkkel szerelik fel.

A vizsgált minta legalább 130 mm átmérőjű kör alakú, vagy legfeljebb 250 x 250 mm négyzetes idomdarab, amelynek a fűtő- és hűtőfelülettel érintkező felületei párhuzamosak és a tökéletes érintkezés céljából gondosan egyenesre csiszoltak, nehogy a mintalap és a készülék érintkező felületei között légréteg legyen, amely a mérési eredményt befolyásolná. Ha a minta felületi síkjai minden gondosság ellenére is nem teljesen egyenesek vagy simák, ajánlatos a légrétegeket paraffinnal, gipsszel stb. kitölteni. A vizsgálandó minta vastagsága legfeljebb 110 mm lehet.

A termosztátokat úgy kell beállítani, hogy a felső és alsó szekrényekben áramló víz átlagos hőmérsékletkülönbsége legalább  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  legyen. Az elektromos fűtőtest működését úgy kell beszabályozni, hogy a fűtőtest be- és kikapcsolási ideje egyenlő legyen. Ez a készülék ellenőrző tábláján jelzőfényekkel ellenőrizhető. A mérést állandósult hőáramlási állapotban kell elvégezni.

A vizsgálatnál mérni kell: a kísérleti időt / $t$ /, a fűtőtest energiafogyasztását / $kW$ /, a fűtött és hűtött oldalon a víz átlaghőmérsékletét / $^{\circ}\text{C}$ /, továbbá fel kell jegyezni a teljesítményfokot. A vizsgált mintán a keresztülménő hőmennyiséget  $Q$ -t a wattóra fogyasztásából, a kísérleti időből és a műszer  $K$  állandójából határozzák meg:

$$Q = \frac{KN}{\tau} \text{ kcal/ó,}$$

ahol  $Q$  állandósult állapotban az elektromos fűtőtestben termelt hőmennyiség kcal/ó;  $K$  a fűtőtéljesítmény egyes fokozatainak megfelelő állandó;  $N$  az árammérő fogyasztása a kísérlet ideje alatt kWó; a kísérleti idő ó.

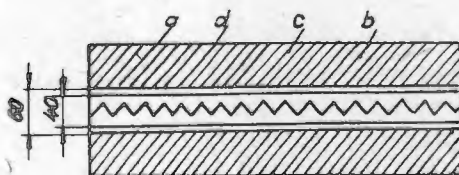
A mért értékekből a hővezetési tényező értéke

$$\lambda = \frac{Q\delta}{\Delta t - QW} \text{ kcal/m}^2\text{C}^\circ$$

ahol  $Q$  a mintadarabon áthaladó óránkénti hőmennyiség kcal/ó;  $\delta$  a mintadarab vastagsága mm;  $\Delta t$  a fűtött és hűtött oldalon a keringő víz hőmérsékletkülönbsége  $^\circ\text{C}$ ;  $W$  a készülék állandója;  $QW$  a hőmérsékletkülönbséget helyesbitő tényező, oly kis érték, hogy vastagabb és kis hővezetési tényezőjű próbadarabok mérésénél elhanyagolható.

#### Van'Rinsum-féle készülék

A Van'Rinsum-féle készülékkel /19. ábra/ üreges henger alakú minták, csőhéjak hővezetési tényezőjét határozzák meg. A készülék 2 vagy 3 méter hosszú vascső, amelyre a használatnak megfelelően szerelik fel a vizsgálandó anyagot. A cső hosszában elektromos fűtőtest van. A fűtőtest termelte hőmennyiség egyenletes elosztása céljából a fűtőtestet kb. 40 mm átmérőjű rézcsőbe helyezik.



19. ábra

Van'Rinsum-készülék

a/ vizsgálati csőhéj; b/ vascső; c/ rézcső; d/ fűtőtest

A hővezetési tényezőt az alábbi képletből nyerjük:

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{d_k}{d_b}}{2\pi l / t_b - t_k / } \quad \text{kcal/m}^2\text{C}^\circ,$$

ahol  $Q$  a fűtőtestben óránként termelt hőmennyiség kcal/ó;  $d_k$  és  $d_b$  a szigetelés külső és belső átmérője, m;  $l$  a cső hossza, m;  $t_k$  és  $t_b$  a hengeres test külső és belső felületi hőmérséklete,  $^\circ\text{C}$ . A hőmérsékleteket hőelemekkel mérjük.

Ebben az összefüggésben feltételezzük, hogy a kísérleti cső-szigetelés homloklapján hőveszteség nincs, a mintadarabbal egyenlő hosszúságu elektromos fűtőtestben termelt hőmennyiség a fűtőtestre merőleges irányban teljes egészében a szigetelésen halad át. A homloklapfelületi hőáramlás megakadályozására mint a Poengen-eljárásnál, védőfűtést is lehet alkalmazni. A kiegyenlítő védőfűtést úgy kell szabályozni, hogy a csőfelületi hőmérséklet megegyezzen a mérőcső felületi hőmérsékletével.

Tekintettel azonban arra, hogy a védőfűtéssel való mérés hosszadalmas és körülményes, Van Rinsum egy számítási eljárást adott meg, amellyel védőfűtés nélküli berendezés homloklapfelületi hőveszteségeit figyelembe veszik. A cső közepén mért felületi hőmérséklet helyett egy olyan nagyobb felületű hőmérséklettel számolnak, amely akkor lenne, ha homlokveszteség nem volna. Ez a helyesbitő hőmérséklet a következő összefüggésből számítható ki:

$$t_x = \frac{t_b - t_c}{\text{chx} \sqrt{c}} \quad \text{C}^\circ$$

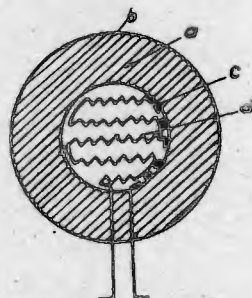
Ebben az összefüggésben  $t_x$  a helyesbitési hőmérséklet, amellyel a ténylegesen mért csőfelületi hőmérsékletet emelni kell,  $t_b$  a cső közepén,  $t_c$  a cső közepétől  $x$  m távolságra mért felületi hőmérséklet,  $c$  állandó pedig a következő egyenletből számítható ki:

$$c = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{d_k}{d_b} / f_1 \lambda_1 + f_2 \lambda_2 /}$$

ahol  $\lambda$  a szigetelés hővezetési tényezője, kcal/m°C<sup>0</sup>;  $d_k$  és  $d_b$  a szigetelés külső és belső átmérője, m;  $f_1$  a kísérleti cső keresztmetszete, m<sup>2</sup>;  $f_2$  a fűtőcső keresztmetszete, m<sup>2</sup>;  $\lambda_1$  a kísérleti cső,  $\lambda_2$  a fűtőcső hővezetési tényezője. Ebben az összefüggésben a szigetelőanyag hővezetési tényezőjének ismerete szükséges, amelyet előzőleg megközelítőleg számítunk ki a nyers értékekből. Ez az érték nem különbözik lényegesen a tényleges értéktől, és a végleges eredményt nem befolyásolja.

### Nusselt-féle készülék

Ezt a mérési módszert laza szerkezetű, szálas, szemcsés vagy por alaku anyagok hővezetési tényezőjének meghatározására használják. A vizsgáló berendezés két koncentrikus elhelyezésű rézgömbből áll. A belső gömbben fűtőttest van, amely a gömb felületi hőmérsékletét mindenütt egyformán tartja. A két gömb közötti teret a vizsgálandó anyaggal töltik ki. Előkészítéskor a gömbök központi elhelyezésére nagy gondot kell fordítani. Azért, hogy a kitöltés tökéletesen megvalósítható legyen, a külső gömb felső fele még egy külön lecsavarható fedéllel is el van látva. A felületi hőmérsékleteket hőelemekkel mérjük /20. ábra/. A hővezetési tényező a következő képlettel számítható ki:



20. ábra

Nusselt-készülék  
a/ vizsgált szigetelőanyag, b/ külső gömb, c/ belső fűtőgomb, d/ fűtőttest /méretek mm-ben/

$$\lambda = \frac{Q / d_k - d_b /}{2 \pi / t_b - t_k / d_b d_k} \quad \text{kcal/m°C}^0,$$

ahol  $Q$  a fűtőttest óránként termelte hőmennyiség, kcal/ó;  $d_k$  és  $d_b$  a szigetelőréteget határoló külső és belső gömbfelület átmérője, m;  $t_k$  és  $t_b$  a felület hőmérséklete  $^{\circ}\text{C}$ -ban.

Ennek a mérési módnak előnye, hogy a méréshez termelt hőmennyiség teljes egészében a vizsgált szigetelőanyagon halad át, hőveszteséggel nem kell számolni, a hibaforrás tehát a legkisebbre szorítható.

### Hencky-féle segédfalas eljárás és változatai

Épületszerkezetek, falak, mennyezetek és kész szigetelések hővezetési tényezőjét körülményes, sőt gyakran nem is lehet az előzőekben ismertetett eljárásokkal meghatározni. Erre a célra a legalkalmasabb módszerek a segédfal elvén alapuló mérési eljárások.

#### Hencky-féle eljárás

A segédfal elvén alapuló mérési módszerrel a vizsgált fal hővezetési tényezőjét úgy határozzák meg, hogy a vizsgálandó falra segédfalat helyeznek ismert, előzőleg már laboratóriumban megállapított hővezetési tényezőjű anyagból. A mérés alapelve az a törvényszerűség, hogy ha a hő a hőáram irányára merőlegesen álló, több egymás után következő rétegen halad át, állandósult hőáramláskor az egyes rétegeken átmenő hőmennyiség egyenlő. Ha tehát a vizsgálandó fal vagy falszerkezet belső és a segédfal külső felületének hőmérsékletkülönbsége nem változik és oldalirányú hőáramlás nincs, akkor a segédfalon átmenő hőmennyiség megegyezik a vizsgálandó falon áthaladó hőmennyiséggel.

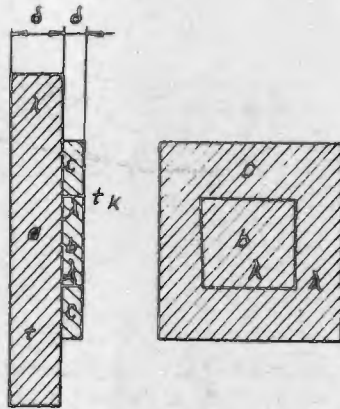
Legyen  $\delta$  és  $\delta'$  a vizsgálandó és a segédfal vastagsága m-ben,  $t_b$  a vizsgálandó fal belső felülete,  $t'$  a vizsgálandó és segédfal közös határfelületének,  $t_k$  a segédfal külső határfelületének hőmérséklete  $^{\circ}\text{C}$ -ban,  $\lambda$  és  $\lambda'$  a vizsgálandó és kísérleti fal hővezetési tényezője kcal/móC $^{\circ}$ -ban. Állandó hőáramlás esetén

$$\frac{\lambda}{\delta} / t_b - t' / \frac{\lambda'}{\delta'} / t' - t_k / \text{ kcal/m}^2\text{ó},$$

amiből a keresett hővezetési tényező:

$$\lambda = \lambda' \frac{\delta / t' - t_k /}{\delta' / t_b - t' /} \text{ kcal/m}^2\text{ó}^{\circ}$$

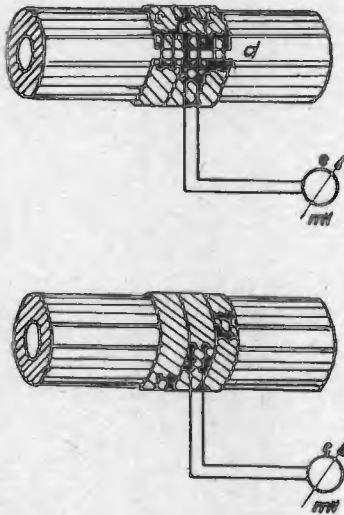
Az oldalirányú hőáramlás megakadályozására a segédfalat vele megegyező vastagságú és azonos hővezetési tényezőjű védőréteggel körülderetkezük. A segédfalnak és a védőkeretnek a vizsgálandó falra szorosan kell felfeküdni úgy, hogy közöttük légréteg ne legyen. A segédfal és védőkeret között se legyen hézag. A vizsgálatkor a falon átmenő hőmennyiség kisebb mint akkor, amikor segédfal nincsen a vizsgálandó falon azért, mert a segédfal szigetelőréteggént is szerepel. A hővezetési tényező szempontjából ez azonban nem játszik szerepet. Lényeges az, hogy a mérések a hőáramlás állandósult állapotában történjenek. Hátránya ennek a mérési módszernek, hogy ismerni kell a segédfal hővezetési tényezőjét, amely függ a nedvességtől, hőmérséklettől, esetleg egyéb tényezőtől, amelyek az időben változhatnak.



21. ábra  
Falazat hővezetési tényezőjének mérése segédfallal  
a/ vizsgált fal; b/ segédfal; c/ védőkeret

A Schmidt-féle eljárás üzemeltetés alatt álló kész csővezeték hővezetési tényezőjének megállapítására szolgál. Előnye, hogy a berendezés felszerelése és a mérések az üzemeltetés megszakítása nélkül végezhetők el.

A készülék egy mérő, két védőszalagból és millivoltmérőből áll. A szalagok kis hőkapacitású 60 cm hosszú, 6 cm széles és mintegy 5 mm vastag gumiszalagok.



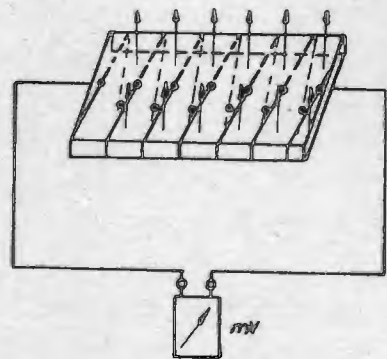
22. ábra

Schmidt-féle mérőszalag felerősítése a csőszigetelésre

- a/ 200 mm-nél nagyobb csőátmérőknél;
- b/ 200 mm-nél kisebb csőátmérőknél.

A vizsgálandó fal és szalag közötti levegőhézagnak nem szabad lenni. 200 mm-nél nagyobb átmérőjű csővezeték vizsgálatához a szalagokat úgy kell felerősíteni, hogy mind a 3 szalag egymás után kapcsolódjon és az összekötött szalagokat csavarvonalban, szorosan egymás mellé kell feltekerni a szigetelésre. A 200 mm-nél na-

A mérőszalag a tulajdonképpen segédfal, amelynek felületébe sorbakapcsolt hőelemek úgy vannak beágyazva, hogy állandósult hőáramláskor a gummilap két felülete között keletkezett hőmérsékletkülönbségre, a hőelemsorozat 2 szabadon álló végén millivoltmérővel mérhető thermoelektromos feszültség áll elő, amely arányos a gummilapon áthaladó hőmennyiséggel. A készülék elvét a 23. ábra szemlélteti. A mérőszalagon átáramló és a millivoltmérő kitérése közötti összefüggés hitelesítéssel határozható meg. A hitelesített millivoltmérőről közvetlenül leolvasható az  $1 \text{ m}^2$  felületen áthaladó hőmennyiség.



23. ábra

Schmidt-féle mérési mód alapelve

gyobb átmérőjű szigeteléseken a szalagokat a 22. ábra szerint szoros-  
 san egymás mellé helyezük úgy, hogy a mérőszalag végei a hengerpa-  
 lást alsó- és felső alkotóitól egyenlő távolságban legyenek. Mivel  
 a szalagok gumiból vannak, a műszer csak kb. 90 °C-ig alkalmazható.

A hőmennyiség mérésében a szalag szigetelő hatása is jelentke-  
 zik. A normál típusu szalag többlet hőellenállása miatt az át-  
 áramló hőmennyiség mintegy 2 %-kal csökken. A szalag felületi su-  
 gárzása csak igen kis mértékben különbözik a szokásos szigetelő  
 anyagok sugárzási tényezőjétől, ezért a sugárzás befolyása elha-  
 nyagolható. A fémfelületek pl. vas, vagy alumínium lemezzel való  
 burkolása esetén, a sugárzás már nem hanyagolható el, s így a  
 Schmidt-féle mérési mód már nem ad megbízható értéket. Ahhoz, hogy  
 fémfelületen ezzel az eljárással megbízható méréseket lehessen  
 elvégezni, a felületet olyan anyaggal kell burkolni, amelynek su-  
 gárzása a gummilap sugárzásával közel azonos.

Tekintettel arra, hogy a mérőszalagot sík felületen hitelesít-  
 tik, a hengeres felületen mért hőmennyiséget egy helyesbitő  $f$  té-  
 nyezővel kell beszorozni, hogy a tényleg átáramló hőmennyiséget kap-  
 juk meg.

A helyesbitő tényező értékeit a mérőszalag típusának és a szí-  
 getelés átmérőjének függvényében a IV. táblázat tartalmazza.

IV. táblázat

Szigetelés átmérője mm	$f$ a helyesbitő tényező, ha a mérőszalag	
	F és SB típusu	R típusu
40	1,105	-
50	1,093	1,135
60	1,078	1,115
80	1,059	1,086
100	1,047	1,069
150	1,032	1,046
200	1,024	1,034
250	1,019	1,027
300	1,016	1,023

Szigetelés átmérője mm	f a helyesbitő tényező, ha a mérőszalag F és SB tipusu	R típusu
400	1,012	1,017
500	1,010	1,013
600	1,008	1,011
800	1,006	1,008
1000	1,005	1,007

A szigetelés  $1 \text{ m}^2$  felületén átáramló hőmennyiség  $q'$  tehát a millivoltmérőn leolvasott  $q$  mérési adatból és a szigetelés átmérőjétől függő helyesbitő tényezőtől számítható ki

$$q' = fq \quad \text{kcal/m}^2\text{ó}$$

A hővezetési tényező meghatározásához mérni kell a szigetelés belső felületi és a külső felület mérő, vagy védőszalag alatti hőmérsékletét. A felületi hőmérséklet mérésére hőelemeket használnak. A belső felületi hőmérsékletet ajánlatos több méter távolságra a műszer felszerelési helyétől mérni, nehogy a megbontott szigetelés miatt a mérés hibás legyen. Ha  $q$  a millivoltmérő leolvasott óránkénti  $1 \text{ m}^2$  felületen átáramló hőmennyiség  $\text{kcal/m}^2$  órában,  $t_b$  és  $t_k$  a szigetelés belső és külső felületi hőmérséklete  $^\circ\text{C}$ -ban,  $\delta$  a szigetelés vastagsága,  $d_k$  és  $d_b$  a szigetelés külső és belső átmérője  $\text{m}$ -ben,  $f$  a táblázatból kivett helyesbitési tényező, akkor a hővezetési tényező egyenes síkfal esetén:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{t_b - t_k} \quad \text{kcal/m}^2\text{ó}^\circ\text{C}$$

hengeresfal esetén:

$$\lambda = \frac{fq \cdot d_k \ln \frac{d_k}{d_b}}{2 / t_k - t_b /} \quad \text{kcal/m}^2\text{ó}^\circ\text{C}$$

A mérőműszerrel mért hőmennyiség kisebb annál a hőmennyiségnél, amely akkor áramlana át, ha a mérőszalag nem lenne a mért

felületen. A mérőlappal nem fedett szigetelésen átáramló hőmennyiségre van szükség, akkor az előzőekben megadott mérési adatokon kívül mérni kell még a szigetelésnek mérőlappal nem fedett felületi hőmérsékletét is. A mérőlappal nem fedett szigetelésen átáramló hőmennyiség sík felületen:

$$q = \frac{l}{\frac{1}{q'} - \frac{l}{\lambda g} \cdot \frac{1}{t_1 - t_2}} \quad \text{kcal/m}^2\text{ó}$$

hengeres szigetelés esetén:

$$q = \frac{l}{\frac{1}{q'} - \frac{\ln \frac{d_{sz}}{d}}{2 \lambda g} / t_1 - t_2} \quad \text{kcal/m}^2\text{ó}$$

ahol  $q$  a szigetelésen tényleg átáramló hőmennyiség,  $q'$  a mérőszalaggal mért hőmennyiség /helyesbítés figyelembevételével/  $d_{sz}$  a szalag külső átmérője feltekerés után,  $d$  a szalag belső átmérője feltekerés után méterben,  $\lambda g$  a gumi hővezetési tényezője a hőmérséklettől függően az alábbi:

$t = 0$	$^{\circ}\text{C}$ -nál	=	0,2	kcal/m <sup>2</sup> ó
$t = 50$	$^{\circ}\text{C}$ -nál	=	0,23	"
$t = 100$	$^{\circ}\text{C}$ -nál	=	0,25	"

A hőmennyiségmérő lappal nem lehet olyan helyen mérni, ahol a szigetelés körül a levegő nagyobb sebességgel áramlik /szél, huzat, stb./ akkor sem, ha a szalag meleg vagy hideg felületek sugárzásának van kitéve. Ilyenkor a gumilapokat sugárzástól védeni kell, a szigetelés körüli nagyobb légmozgás esetén a szalagokat nemez

parafa burkolattal kell körülvenni. Nagyobb légmozgás esetén az S.B. típusú mérőlapokat használják, amelyeken a külső légmozgás okozta hatás csillapítására 5 mm vastag gummiréteg van a hőelemek felett. A mérőlapok nagyobb vastagsága miatt a szalag hőellenállása növekedik, ezért a szokványos védőszalagokon kívül még 2 db háromszoros hosszúságú védőszalagot is alkalmaznak. Az R típusú szalagokat kis hőáramok méréséhez, pl. hűtőházak szigetelési mérésénél alkalmazzák. Itt a védőréteg vastagsága nagyobb, a millivoltmérő pedig érzékenyebb.

A pontos mérés feltétele a hőáramlás állandósult állapota, az egyenletes vastagság, hengeres szigetelésnél a központos hőszigetelés. Lényeges, hogy a mérés helyén és annak közelében a szigetelés felületi hőmérsékletei egyformák legyenek, a mérés helyén a szigetelt felületek ne legyenek kitéve szigeteletlen cső, kompenzátor, szerelvények stb. sugárzó hatásának. Nem ad megbízható eredményt a szigeteléseket védő fémburkolatokon való mérésen. Ilyenkor a bádog burkolatot előzőleg nagy szélességben nemezzel parafával, vagy papírral kell burkolni. A burkolásnak olyan szélességűnek kell lennie, hogy a fémburkolat a hőt oldalirányban ne vezesse. Plasztikus szigetelésen méréseket csak akkor lehet végezni, ha az már teljesen száraz állapotban van. Az állandósult hőáramlás megállapítására - ha nem használnak regisztráló millivoltmérőt -, 5 percenként kell leolvasni a hőmérsékleti adatokat. Az állandósult állapot akkor áll fenn, ha a mért adatok már állandó értékűek.

#### Hofbauer-féle eljárás

A segédfal elvén alapuló mérés egyszerűsíthető az ún. Hofbauer féle hőmennyiség mérő lappal. A laphoz kapcsolt millivoltmérőn a falra helyezett mérőlapon, illetve állandósult hőáramláskor a vizsgált falon átmenő hőmennyiség  $1 \text{ m}^2$  felületre vonatkoztatva közvetlenül leolvasható.

A Hofbauer-féle hőmennyiségmérő lap az ismertetett Schmidt-féle hőmennyiségmérő szalag elvén alapszik, azzal a különbséggel,

hogy a leolvadó műszer érzékenységének fokozására több mérőszalag van sorbakapcsolva. A hőmennyiségmérő lap egy  $50 \times 50 \text{ cm}^2$  felületű kb. 5-6 mm vastag gummilap, amelynek két felületére több száz, sorbakapcsolt hőelem van beágyazva. A gummilap két felülete között fellépő igen kis hőmérsékletkülönbség okozta termoelektromos erő a hőelem-sorozat két szabadon álló végéhez kapcsolt mill. voltmé-  
rőn a hőmérséklet különbségnek megfelelő kitérést okoz. Mivel a gummilapon átáramló hőmennyiség arányos a hőmérsékletkülönbséggel, a hőelemek termelte termoelektromos erő is arányos az átáramló hőmennyiséggel. Hitelesítéssel, pl. Poengsen-eljárás elvén működő hitelesítő berendezésen megállapítható a lapon átáramló hőmennyiség és a kapcsoknál keletkezett termoelektromos erők közötti összefüggés. A millivoltmérőt úgy hitelesítik, hogy skáláján közvetlenül leolvasható  $1 \text{ m}^2$  felületen áthaladó hőmennyiség kcal/ó-ban. A fal vagy falszerkezet felületi hőmérsékletét hőelemekkel határozzuk meg.

Méréskor a vizsgálandó falat kocsira helyeztünk kb.  $1,4 \times 1,2 \text{ m}^2$  felületű keretbe építik be, majd ezt úgy építik be egy klimaszekrénybe, hogy a fallal a klimaszekrényt két részre osztjuk. Az egyik részben elektromos fűtéssel kb.  $20 \text{ C}^\circ$ , a másik részben hűtőgéppel kb.  $-10 \text{ C}^\circ$  hőmérsékletű térhőmérsékletet állítunk elő. Kontakt higanyhőmérővel a fenti hőmérsékleteket állandó értéken tartjuk.

A mérőlapot azzal egyenlő vastagságú és azonos hővezetési tényezőjű gummilap kerettel vesszük körül, hogy a falra helyezett hőmennyiségmérőn oldalirányú hőveszteség ne legyen, és a mérőlapon mért hőmennyiség teljes egészében a falra merőleges irányban haladjon át. Fontos, hogy a hőmennyiségmérő lap a falra teljesen felfeküdjön, a fal és a gummilap között hőszigetelő légréteg ne legyen, ezért a gummilapot helyenként a felületre odaszoritjuk. Mindkét térben a levegőt ventilátorral mozgásban tartjuk. A falazat hideg és meleg oldalán a felületi hőmérsékleteket hőelemekkel mérjük.

Allandósult hőáramlás esetén a fal hővezetési tényezője a következő összefüggésből számítható ki:

$$\lambda = \frac{q \delta}{t_b - t_k} \quad \text{kcal/m}^2\text{óC}^\circ$$

ahol  $q$  a fal  $1 \text{ m}^2$  felületén óránként átáramló hőmennyiség, kcal/m<sup>2</sup>óC<sup>o</sup>;  $\delta$  a vizsgált fal vastagsága, m;  $t_b$  a fal melegebb oldalán a mérőlap alatt;  $t_k$  a hideg oldalon mért átlagos felületi hőmérséklet C<sup>o</sup>-ban.

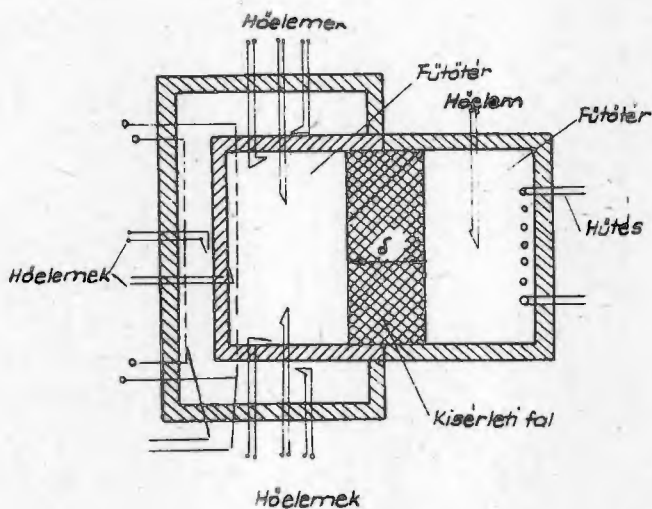
### Hottinger-féle eljárás

E vizsgálathoz a kísérleti falat vagy falszerkezetet egy parafaszekrénybe építik be úgy, hogy a fal két oldalán zárt tér legyen. Ebben a két térben azután olyan hőmérsékletű viszonyokat tartanak fenn, amilyenek a vizsgálati fal a gyakorlatban ki van téve. Épületfal vagy falszerkezet, pl. fűtött helyiségnek megfelelő oldalon 20 C<sup>o</sup> hőmérsékletű levegővel, a másik oldalon pedig a külső légköri viszonyoknak megfelelően -10, -15 C<sup>o</sup>-u és kb. 90 % relatív nedvességű levegővel érintkezik.

A fűtött teret még egy további parafafállal veszik körül és a két fal körüli térben a levegőt a fűtött tér léghőmérsékletével azonos értéken tartják, hogy a fűtött térben termelt hőmennyiség veszteség nélkül a vizsgálati falon haladjon át. A fűtött térben termelt  $Q$  kcal/ó hőmennyiségből, a fűtött és hűtött oldalon a levegő  $t_1$  és  $t_2$ , illetve a felületi hőmérsékletekből  $\vartheta_1$  és  $\vartheta_2$ , a vizsgált fal nagyságából  $F, \text{ m}^2$  és vastagságából  $\delta \text{ m}$ , a hővezetési tényező, illetve a hőátbocsátási tényező a következő összefüggésekből állapítható meg:

hővezetési tényező: 
$$\lambda = \frac{q \delta}{F/\vartheta_1 - \vartheta_2} \quad \text{kcal/m}^2\text{óC}^\circ,$$

a hőátbocsátási tényező: 
$$k = \frac{Q}{F/t_1 - t_2} \quad \text{kcal/m}^2\text{óC}^\circ$$



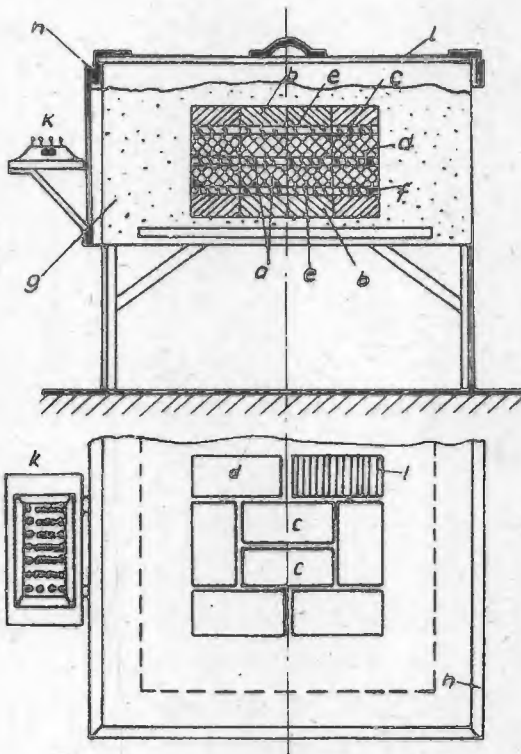
Hőelemek  
24. ábra  
Hottinger-féle kísérleti ház

Az épületek falainak hőveszteségeit ezzel a módszerrel lehet legpontosabban meghatározni. Nagy előnye ennek a mérési eljárásnak, hogy nemcsak a hővezetési tényezőt, hanem a hőátbocsátási tényezőt is kísérletileg lehet megállapítani.

#### Raisch-féle eljárás

A közönséges Poensgen-berendezéssel mintegy  $500\text{ C}^{\circ}$ -ig lehet a hővezetési tényezőt meghatározni. A hővezetési tényezőt nagyobb hőmérsékleten legalkalmasabban a müncheni Forschungheim für Wärmeschutz intézetben készített Raisch-féle berendezéssel lehet meghatározni. Működési elvét a 25. ábra szemlélteti. A készülék a Poensgen-mérési módszer elvén működik. Az eltérés az, hogy a hűtőlapok helyett fűtőlapok vannak, amelyeket még szigetelőanyag is körülvesz. A keretfűtés megfelelő beállításával biztosítható az a feltétel, hogy a hőáramlás merőleges legyen a vizsgálandó lapok felületére

és a középső fűtőtestben termelt hőmennyiség teljes egészében a középső fűtőtesttel megegyező felületű próbatesten haladjon át. A 25 x 25 cm méretű középső fűtőtestben termelt hő itt is fele-fele arányban a két oldalra osztódik el. A középső és a külső fűtőtestek különböző értéken tartásával a vizsgált szigetelőanyagok átlagos hőmérsékletét tetszőleges határok közt lehet tartani. Mind a közép-



25. ábra

Raisch-készülék

a/ próbatestek; b/ szigetelő lapok; c/ fűtőtest; d/ keretfűtés; e/ kompenzáló fűtés; f/ kompenzáló keretfűtés; g/ szigetelés; h/ma 3-4 hét, tömités; i/ gázbevezetés; k/ kapcsolótábla hőelemekhez; l/ krómnikkel szalagfűtés

ső, mind a keretfűtőtest kb. 3 mm vastag, 12,5 x 25 cm teljesen simára csiszolt porcelánlap, ezekre az idomtestekre csévélik fel a 3 mm széles és 3/10 mm vastag krómnikkel fűtőszalagot. A felületi hőmérsékletet 0,5 mm vastag nikkell-krómnikkel hőelemekkel mérik. A vizsgáló berendezést égetett magnéziummal kitöltött, légmentesen zárható szekrénybe helyezik. A szekrény belső terét semleges gázzal, pl. nitrogénnel is kitölthetik. Ezzel a berendezéssel kb. 1000 C<sup>o</sup>-ig lehet az anyagokat vizsgálni.

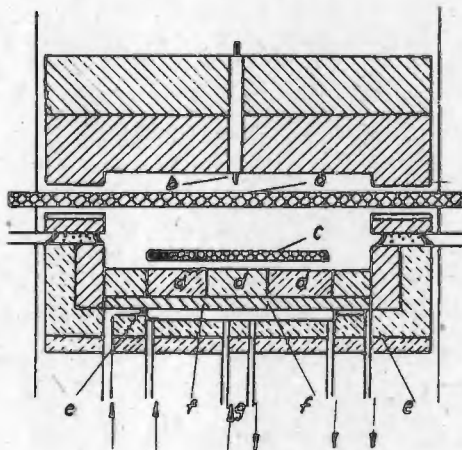
A vizsgálat időtartata

## A Wilkes-féle eljárás

A Wilkes-féle eljárással tűzálló anyagok és tűzálló vagy nagy hőállóságú hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjét lehet meghatározni magas hőmérsékleten. A készülék lényegében meghatározott méretű és elrendezésű villamosfűtési kemence, amelynek fenéklapjába építjük be a vizsgálandó anyagot. Az átáramló hőmennyiséget vizkálóríméterekkel mérjük. A készülék  $1500\text{ C}^{\circ}$  felületi hőmérsékletig használható.

A készülék első része a tulajdonképpeni kemence, amelyet szilítbot ellenállásfűtéssel hevítünk fel a kívánt hőmérsékletekre /26. ábra/. A kemence hőmérséklete  $\pm 2\text{ C}^{\circ}$  pontossággal szabályozható és a megkívánt hőmérséklet legalább 24 órán át tartható a kemencetérben. A kemence fenéklapján hézagmentesen elhelyezett próbatesteket vékony, kb. 2,5 cm vastagságú szilíciumkarbid lemezzel fedik le és így megvédik a szilítbot közvetlen sugárzásától, valamint biztosítják az egyenletes felületi hőmérsékletet. A próbatest felületeibe a hőmérséklet megállapítására hőelemeket építünk be.

A berendezés második fontos része a kemence fenéklapja alatt elhelyezett vizkálóríméter-rendszer /27. ábra/.

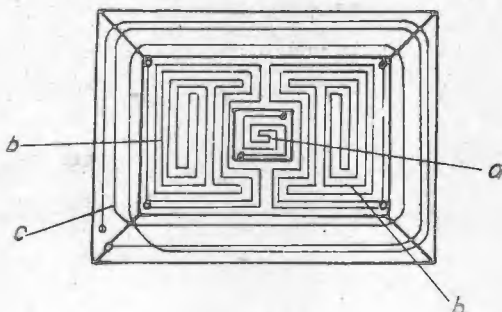


26. ábra

Wilkes-készülék

a/ szilítbot; b/ hőelem; c/ szilíciumkarbidlap; d/ próbatestek; e/ hűtőkigyó; f/ keret kaloriméter; g/ mérőkálóríméter

A pontos mérést lehetővé tevő középső vizkaloriméter körül egy másik keretszerűen elhelyezkedő vizkaloriméter van, amelynek mérési



27. ábra

Wilkes-készülék vizkaloriméter rendszere

a/ mérőkaloriméter; b/ keretkaloriméter; c/ fűtőkigyó

eredményei helyesen végzett mérésnél alig térnek el a középső kaloriméterben mért értékektől, tehát a hőmérsékleteloszlás az alsó felületen egyenletes. A keretkalorimétert védőhűtés veszi körül, ez biztosítja a próbatest széleinek azonos felületi hőmérsékletét. A kaloriméteren átáramló víz be-, illetve kilépési hőmérsékletét termoelemoszloppal mérik.

A készülék harmadik része a kaloriméterekhez állandóan azonos hőmérsékletű és nyomású vizet szolgáltató berendezés.

A készülék konstrukciója olyan, hogy a felülről lefelé áramló hő áramvonalai a fenéklapra merőlegesek, az oldalirányú hőveszteség minimális.

A hővezetési tényező  $\lambda$  - a vizkaloriméterekben meghatározott és óránként átáramló hőmennyiség  $Q$ , a középső kaloriméter felületé  $F$  és a felületi hőmérsékletek  $t_1$  és  $t_2$  és a próbatest vastagsága  $\delta$  ismeretében - a következő képlet alapján számítható:

$$\lambda = \frac{Q \delta}{F / t_1 - t_2} \quad \text{kcal/m}^2\text{C}^\circ$$

Krischer-féle eljárás

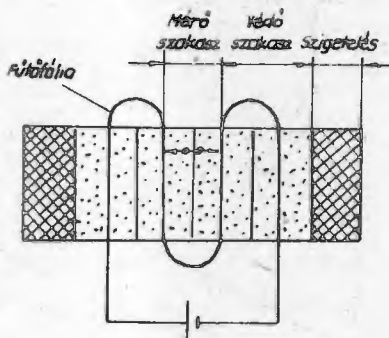
A hővezetési tényezőnek állandósult hőáramlás melletti mérése aránylag hosszadalmas és nagy nedvességtartalmu anyagok mérésére nem alkalmas, mert a hőmérsékletesés irányában nedvességáramlás van és a nedvesség a hideg felületen lecsapódik. Így a mért hővezetési tényező mindig szárazabb anyagra vonatkozik, mint amilyen az eredeti nedvességű anyag. Nem állandósult hőáramlásnál végzett méréseket ezek a hibák kevésbé befolyásolják.

A klasszikus mérési módszerekkel szemben ennek a mérési módszernek előnye, hogy a mérés időtartama lényegesen rövidebb, a mérési időtartam néhány percig, esetleg fél óráig tart s így nagy nedvességtartalmu anyagok mérésére alkalmas. Ezzel szemben a mérési pontossága kisebb, de a gyakorlatban többnyire megfelel.

A Krischer-féle mérőberendezés elvi elrendezését a 28. ábra szemlélteti.

A vizsgált szigetelőanyagból meghatározott méretű, pl. 100 x 100x15 mm-es idomtesteket készítünk, amelyeket egymásra helyezünk úgy, hogy közöttük semmiféle hézag ne legyen. A próbatestek között elektromos fűtési fólialapok vannak, amelyek a vizsgálati mintalapokat teljesen befedik. A fűtőfóliák egymással sorba vannak kapcsolva. A

vizsgálathoz 8 db egyforma próbatestre van szükség. A tulajdonképeni mérőkörzetbe a középső 4 minta esik, a két-két szélső minta az oldalirányú hőveszteséget kompenzálja.



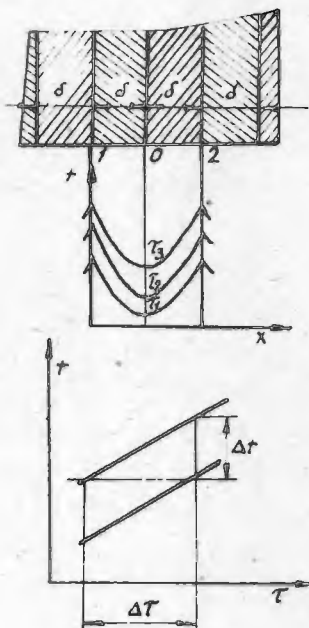
28. ábra

Krischer-féle mérési mód

A széleken ezeken kívül a hőveszteség csökkentése céljából még egy vastagabb hőszigetelőlapot helyeznek el. A lapok között a felületi hőmérsékletet vékony hőelemek mérnek. A vizsgált minták oldalain fellépő hőveszteség kiküszöbölésére egyrészt a lemezvastagságot kell kicsire venni, másrészt a vizsgált lapok szélesebbek, mint a fólia. Ezenkívül a külső hőszigetelés csökkentésére az összeállított lapokat fényes, légzáró burkolattal veszik körül.

Ha a fűtőáramkörbe áramot vezetünk, a termelt hő a vizsgált lapokba hatol /felfűtési ütem/. Ha külső hőveszteség nincs, kvazistacioner hőáramlás áll be, tehát a fűtőfólia és a próbatest fűtetlen oldali felületei közti hőmérsékletkülönbség a közepen elhelyezett fűtőfóliákra vonatkoztatva ugyanazon idő alatt állandó. Így

tehát a fűtött fólia felületi hőmérsékletének emelkedésével a hőmérsékletváltozás a mintákban azonos, de eltolódott parabolában jelentkezik és a minták fűtött és nem fűtött felületei közötti hőmérsékletkülönbség a mérési körzetben állandó marad. A két felületen mért hőmérsékleteket az idő függvényében felrajzolva, a rajzolt görbék egymással párhuzamosak /29. ábra/.



29. ábra  
A minták felületi hőmérsékletének változása

A fűtőfóliák termelte hőmennyiségből / $q$  kcal/m<sup>2</sup>ó/, a fűtött és nem fűtött felület közötti hőmérsékletkülönbségből / $\Delta T^0$ / és a lemezvastagságból / $\delta$  m/ a hővezetési tényező

$$\lambda = \frac{q\delta}{2\Delta T^0} \quad \text{kcal/m}^0\text{C}^0$$

Építési és hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjének  
meghatározása a tranziens hőállapotból

A hővezetési tényező meghatározására igen sok, már klasszikus-sá vált módszer ismeretes, lényegüket tekintve azonban, elvi alapjaik egyezők. Meghatározott alakú /általában laposhasáb/ próbadarabban, megfelelő feltételek biztosításával, stationer állapotú, egyirányú hővezetés előállításával, a mért hőfokok és hőmennyiségek segítségével a hővezetési tényező meghatározható.

Az ilyen mérési módok igen egyszerű számítási eljárásokhoz vezetnek, azonban az egyirányú, stationer állapotú hővezetés biztosítása igen nehéz feladat, megvalósításához aránylag bonyolult berendezések szükségesek.

Egyirányú, stationer hőáramlás esetén lapos hasáb alakú próbatestben a hővezetési tényező meghatározására a

$$\lambda = \frac{Q \delta}{F \Delta t}$$

összefüggés szolgál, ahol

$Q$  = a betáplált hőmennyiség

$\delta$  = a próbadarab vastagsága

$F$  = a hőáramlásra merőleges felület

$t$  = a hőáramlásra merőleges felületek hőfok különbsége.

A hővezetési tényező meghatározására használt laboratóriumi készülékeket általában villamos energiával fűtik. A hőmennyiséget az áram feszültsége és az áram erőssége alapján számítjuk ki:

$$Q = 0,86 UJ$$

ahol  $U$  a feszültség voltokban,  $J$  az áramerősség amperekben.

A próbadarab vastagsága, valamint a hőáramlásra merőleges felületek nagysága könnyen mérhető, de a két felület hőfokkülönbségének mérése magában foglalja mindazon nehézségeket, amelyek ismertek a szakirodalomban a felületi hőfokméréssel kapcsolatban.

Lapos hasáb alakú próbatesteknek a fenti elvek alapján történő hővezetéstényező meghatározása a Poensgen-féle készülékkel történik. A Poensgen-féle készülékben az egyirányú hőáramlást igen nehezen beszabályozható, keretfűtőlappal kell biztosítani. A keretfűtőlapok elektromos automatikája teszi bonyolulttá a mérőberendezést.

Beépített anyagok hővezetési tényezőjének meghatározása a síkfalak esetén ismert segédfal módszerrel történik, henger alakú csőszigetelések esetén pedig lényegében a segédfal elvén alapuló hőárammérő-szalaggal történik.

A segédfal módszer alkalmazásakor hőmennyiség mérésére szükegetelen, csupán felületi hőfokot kell mérni és ismerni kell a segédfal hővezetési ellenállását. A segédfal általában gumból készül. A guminak hővezetési ellenállása a gumi öregedése következtében változik, aminek következtében időnként kontrollmérésekkel ellenőrizni kell a segédfal hővezetési ellenállását. Az oldal-irányú hővezetés meggátolásáról ebben az esetben is védőkerettel kell gondoskodni.

A mérésekkel kapcsolatos nehézségek mellett, amely nehézséget nagyrészt az egyirányú hőáramlás biztosítása okozza, hibája még a fent felsorolt klasszikus módszereknek az, hogy a stacioner hőállapot beálltához aránylag hosszú idő szükséges. Szokásos próbatest méretek mellett /25 x 25 x 5 cm/ a hőfokvezetési tényezőtől függően ez az idő több órát tesz ki, a tulajdonképpeni mérés pedig csak a stacioner hőállapot beállta után kezdődhet, vagyis egyetlen próbadarab hővezetési tényezőjének a meghatározásához minimálisan egy munkanap szükséges.

Ez a mérési sebesség már nehezen tudja kielégíteni az igényeket, mivel az új építőanyagok hővezetési tényezőjének meghatározásához igen sok mérés szükséges, mert csak ilyen módon lehet a különböző anyagösszetételek és nedvességtartalmak hatását megállapítani. Több berendezés beszerzése, illetve üzembeállítása nehézségekbe ütközik, ezért előtérbe kerül a mérés időtartamának a csökkentése.

Az eddigi mérési módszerek hibáinak kiküszöbölése érdekében az új mérési módszerre vonatkozó célkitűzésünk az, hogy a hővezetési tényező meghatározása rövid idő alatt és a lehető legegyszerűbb mérési berendezéssel történjék.

A mérési idő csökkentésére lehetőséget ad az a tény, hogy a hővezetési tényező kiszámítható a stationer hőállapotot megelőző tranzienst hőállapotból is. Ez a módszer igen nagy matematikai apparátust igényel, azonban a számítás elvégzésére nomogramok készíthetők, így a gyors mérés és aránylag egyszerű mérési berendezés érdekében vállalt matematikai nehézségek a mérés elvégzésekor illetve feldolgozásakor már nem jelentkeznek.

Ez a mérési módszer világszerte foglalkoztatja a hőtechnikai szakembereket. Különböző elrendezésekben, különböző feltételek biztosításával tranzienst hőmérsékletmezőket hoznak létre és a hővezetési tényezőt különböző eljárásokkal számítják ki.

Minden tranzienst méréshez elengedhetetlenül szükséges a hőmérsékletmező teljes analitikai ismerete. A hőmérsékletmező a hővezetés differenciálegyenletének felhasználásával

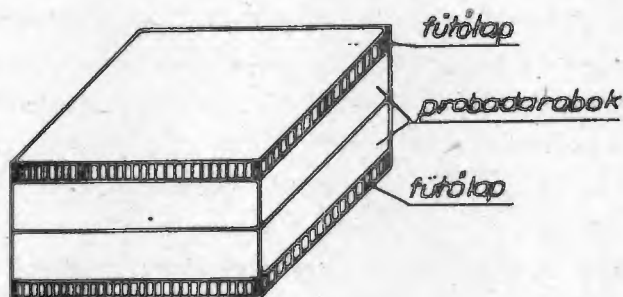
$$\frac{\delta t}{\partial \tau} = a \cdot \text{divgrad} t$$

állítható elő.

Az általunk választott mérési elrendezés, valamint a szükséges analitikai levezetések, függetlenek minden, általunk ismert, szakirodalmi publikációtól. Olyan mérési elrendezést kívántunk kialakítani, amely elegendő tesz a következő követelményeknek:

1. A mérési eredményekből a hővezetési tényező egyszerű módon meghatározható legyen.

2. Az elméleti megfontolások során támasztott hőtechnikai feltételek a valóságban, megfelelő pontossággal megvalósíthatók legyenek.



30. ábra

Ezeket a feltételeket próbáltuk kielégíteni a 30. ábrán látható mérési elrendezéssel. A vizsgálandó anyagból készített 2 db, teljesen egyforma laposhasábot az ábra szerint egymásra kell helyezni és az így kialakított hasáb /továbbiakban próbadarab/ súlypontjában /M/ termoelem segítségével mérni kell a hőmérsékletet.

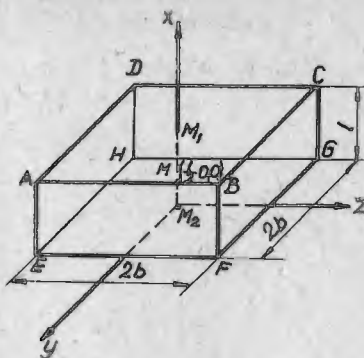
Az egész próbadarab kezdeti hőmérsékletének egyenlőnek kell lenni a környező levegő  $T_K$  hőfokával. Ez a kezdeti feltétel úgy valósítható meg, hogy a mérendő próbadarabot huzamosabb ideig a  $T_K$  hőmérsékletű légtérben tartjuk, lehetőleg kis hőelnyelési tényezőjű anyagra kis felületen felfektetve.

Az alap /EFGH/ és fedőlapon /ABCD/ vezetés útján hirtelen hőmérsékletváltozást kell előidézni /31. ábra/. Ez állandó  $T_1$  hőmérsékletű, igen nagy hőelnyelési tényezőjű fűtőlapoknak a próbatest alap és fedőlapjára helyezésével valósítható meg. Szükséges, hogy a fűtőlapnak a próbadarábbal érintkező felülete az egész mérés alatt állandóan  $T_1$  C° legyen.

Az M pontban helyezett termoelem és egy stopperóra segítségével regisztrálható az M pont felmelegedési görbéje:

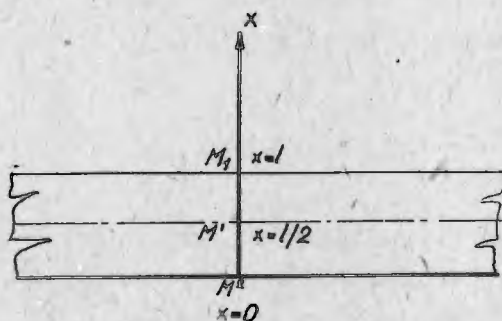
$$t_M = f/\tau$$

A hővezetési tényező kiszámításának módja az M pont felmelegedésére vonatkozó kísérletileg meghatározott görbének és analitikusan levezetett függvénynek összevetéséből adódik.



31. ábra

A hőmérsékletmező meghatározásához fel kell venni egy koordinátarendszert /32. ábra/, majd ennek segítségével matematikai alakban meg kell adni a próbadarab "kezdeti" és "perem" feltételeit. Ezek az egyenletekbe öntött feltételek szükségesek ahhoz, hogy a



32. ábra

hővezetés térbeli Fourier-féle parciális differenciálegyenlet általános megoldásából a próbadarabban, a mérés során kialakult hőmérséklet mezőre vonatkozó partikuláris megoldást kapjuk. A hővezetés parciális differenciálegyenlete:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial t}{\partial x^2} + \frac{\partial t}{\partial y^2} + \frac{\partial t}{\partial z^2} \right)$$

alaku, ahol

$t$  = a hőmérséklet  $C^0$ -ban, helytől és időtől függően

$\tau$  = hirtelen hőmérséklet változástól számított idő órákban

"a" = a vizsgálandó anyag hőfokvezetési tényezője:  $m^2/ó$ .

Az előzőek szerint a próbatest kezdeti hőmérsékletelosztása homogén, és megegyezik a környező levegő hőfokával, azaz

$$t = T_K \text{ °C ha } \tau = 0$$

Az alap és fedőlap hőmérséklete az egész mérés alatt állandó, tehát

$$t = T_1 \text{ ha } x = 0, \quad x = \ell \text{ és } \tau > 0$$

A próbadarab oldallapjain konvekciós hőátadás van a  $T_K$  °C-u levegő felé:

$$\frac{\partial t}{\partial y} \pm h / t - T_K / = 0 \quad \text{ha } y = \pm b$$

$$\frac{\partial t}{\partial z} \pm h / t - T_K / = 0 \quad \text{ha } z = \pm b$$

A Fourier-féle parciális differenciálegyenlet partikuláris megoldása a fenti kezdeti és peremfeltételek figyelembevételével, valamint az M súlypont koordinátáinak behelyettesítésével:

$$\frac{t_M - T_K}{T_1 - T_K} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4h^2}{\cos \alpha_n b \cos \alpha_m b [(\alpha_n^2 + h^2)b + h][(\alpha_m^2 + h^2)b + h] ch \frac{Ka\ell}{2}} -$$

$$- \frac{8h^2\pi}{\ell^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{\mu=1}^{\infty} \frac{\mu [1 - (-1)^\mu] \sin \frac{\mu\pi}{2} e^{-\beta_{nm\mu}\tau}}{\beta_{nm\mu} [(\alpha_n^2 + h^2)b + h][(\alpha_m^2 + h^2)b + h] \cos \alpha_n b \cos \alpha_m b}$$

ahol  $h = \frac{\alpha_K}{\lambda} / 1/m/$

$\alpha_K$  = a próbadarab oldallapján a konvekciós hőátadási tényező:

$$\alpha_K = 1.2 \text{ kcal/m}^2\text{°C}^0$$

$\lambda$  = a próbadarab hővezetési tényezője kcal/m°C<sup>0</sup>

$$\alpha_n \text{ és } \alpha_m \text{ gyökei az } \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_n b = h$$

$$\alpha_m \operatorname{tg} \alpha_m b = h$$

transzcendens egyenleteknek.

$$\beta_{mn\mu} = \alpha_n^2 + \alpha_m^2 + \frac{\mu^2 \pi^2}{l^2}$$

Ez a képlet igen bonyolult összetétele miatt számításra nem igen alkalmas. A hőmérséklet időfüggvény ilyen exakt meghatározása mindezek ellenére igen hasznos, ugyanis a következőkben az M. pont hőmérséklet-idő összefüggését egyszerűsített feltételekből is meg fogjuk határozni, és az előbbi exakt képlet módját fog nyújtani arra, hogy megvizsgáljuk a közelítés pontosságát, illetve szükség esetén korrekciót alkalmazzunk. Mivel az M mérési pont a próbadarab súlypontja, kézenfekvő az a közelítés, hogy a próbadarab M súlypontjában, illetve az  $M_1 M M_2$  középvonalában a hővezetést egyirányúnak fogjuk fel. Megfelelően lapos hasáb esetén, a transziens hőállapotban, ez a közelítés igen jó, vastagabb próbadarabokra pedig megfelelő korrekciós görbéket lehet meghatározni.

Ezzel a közelítéssel tulajdonképpen eltekintünk a próbadarab oldallapjain levő konvekciós hőveszteség hatásától, azaz y és z irányban végtelen kiterjedést tételezünk fel.

Az előzőekben közölt kezdeti és peremfeltételek figyelembevételével az egyirányú hőáramlást a

$$\frac{T_1 - t_M^*}{T_1 - T_K} = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n} e^{-n\pi/l^2 Fo} \sin \frac{n\pi}{2}$$

függvény írja le, ahol  $Fo = \frac{a\tau}{l^2}$  a Fourier-féle hasonlósági kritérium.

A hővezetési tényezőt ezen egyszerűbb összefüggésből fogjuk számítani. Mivel azonban a mérésből az ettől némileg eltérő valóságos hőmérséklet-idő összefüggést nyerjük, szükséges az M pont-

ban mért hőmérsékletet olyan mértékben növelni, amennyivel az végtelen oldalirányu kiterjedés esetén nagyobb volna:

$$t_M^* = t_M + \Delta / T_1 - T_K /$$

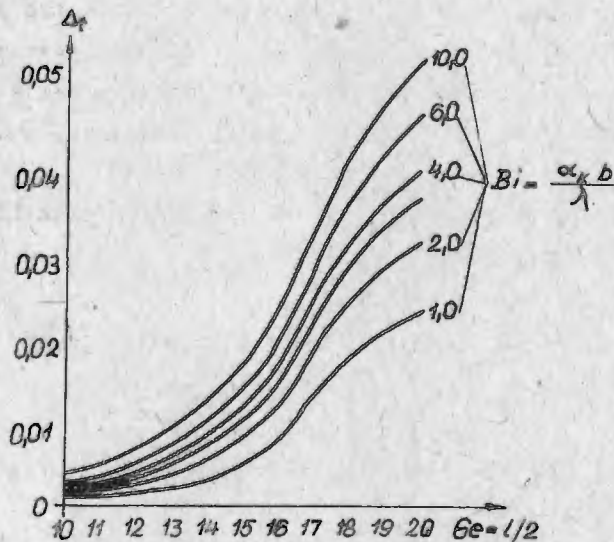
Ebben az összefüggésben  $t_M^*$  jelenti a végtelen kiterjedésű síklap középvezonáának hőmérsékletét,  $t_M$  pedig a valóságos próbadarab M pontjának hőmérséklete,  $\Delta$  a korrekciós tényező.

$\Delta$  értéke az előzőek során levezetett képletekből határozható meg, kiszámított értékeit a következő két ábra mutatja, ahol

$$Bi = \frac{\alpha_K b}{\lambda} \quad \text{a Biot-féle hasonlósági kritérium}$$

$$Fo = \frac{a \tau}{l^2} \quad \text{a Fourier-féle hasonlósági kritérium}$$

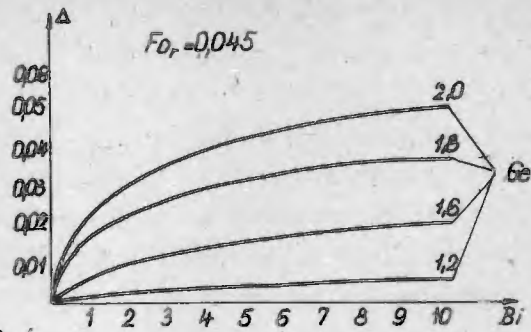
$$Ge = \frac{l}{b} \quad \text{a geometriai hasonlósági kritérium}$$



33. ábra

A próbadarab tranziens hőmérsékletterére vonatkozó eddigi elméleti levezetések lehetőséget adnak a hővezetési tényező kiszámítására.

Az elméleti megfontolásokból belátható:



$$t_M = T_1 - \frac{\Delta}{0.8168} / (T_1 - T_K)$$

34. ábra

a/  $T_1$ ,  $T_K$  és  $\Delta$  ismeretében  $t_M$  kiszámítható az előző képletből.

b/ A mérés során meghatározott hőmérséklet-idő gorbéból az M pontra vonatkozóan leolvasható a  $t_M$ -hez tartozó idő  $\tau$ .

c/ Ezen leolvasott időérték segítségével a hőfokvezetési tényező az alábbi képletből határozható meg:

$$a = \frac{l^2}{\tau} \cdot 0,045$$

d/ A hőfokvezetési tényezőtől a hővezetési tényező

$$\lambda = ac \gamma$$

ahol  $c$  a próbadarab fajhője, kcal/kg C°

$\gamma$  a próbadarab térfogatsúlya kg/m<sup>3</sup>.

Mivel a hővezetési tényező kiszámításához a korrekció függvényt előre fel kell venni, a számításnak iteratív jellege van.

A hővezetési tényező értéke függ az anyag hőmérsékletétől. Ezért meg kell határozni a mérés folyamán kialakuló átlaghőmérsékletet is. Erre vonatkozóan levezethető a

$$T_{\text{átl}} = T_1 - 0,655 \frac{\Delta}{T_1 - T_K}$$

összefüggés.

A klasszikus hővezetési tényezőmeghatározási módszerek hibáit és nehézségeit a laboratóriumi mérések során tapasztalva egy olyan eljárás kidolgozását tűztük ki célul, amely ezeket a nehézségeket és hiányokat kiküszöböli.

A kettős cél az volt, hogy lehető legegyszerűbb és olcsón előállítható berendezéssel a hővezetési tényező a klasszikus eljárásokhoz viszonyítva rövidebb idő alatt meghatározható legyen. Ennek érdekében vállaltuk azokat a nehézségeket, amelyet egyrészt a próbadarab tranziens hőmérsékletterének analitikai levezetése, másrészt a korrekciófüggvény numerikus kiszámítása jelentett. A mérési eredményekből és a mérőberendezés leírásából megállapítható, hogy a kitűzött célunkat elértük: a mérési időt sikerült a klasszikus módszerek mérési idejének mintegy tized részére csökkenteni, míg a mérőberendezése - amely csupán a peremfeltételt biztosító fűtőlapokból és az M súlypont hőmérsékletét regisztráló termoelemből áll - a klasszikus berendezéseknél lényegesen egyszerűbb és olcsóbb.

Annak érdekében, hogy a mérési eredményekből a hővezetési tényező kiszámítása gyorsan és egyszerűen történjen, az analitikus összefüggés idevonatkozó egyenleteiből nomogramok készíthetők. A nomogramokból a mért eredmények felhasználásával a hővezetési tényező kiszámítását az arra betanított laboratóriumi segédszemélyzet is el tudja végezni.

Ilyen módon a hővezetési tényező meghatározásának ez az új módszere jelentős segítséget fog tudni nyújtani az ilyen irányú méréseket végző intézetek és laboratóriumok munkájában.



T. sz.: 62—10431