

KÖZPONTI FŰTÉSI RENDSZEREK LEHŰLÉSI VISZONYAI

TAKSONY GYÖRGY,

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
ALUMÍNIUMIPARI TERVEZŐ IRODA

[Beérkezett 1964. június 20-án]

A központi fűtéses épületek lehülési viszonyainak két szempontból van jelentősége: megfelelő fűtési ütemezés választásával számottevően csökkenteni lehet a beruházási költségeket, illetőleg kisebb fűtési rendszereknél az üzemviteli költségeket; a nagy hőszolgáltató erőművekből ellátott távfűtő rendszereknél pedig lényegesen javíthatjuk a komplex hőszolgáltató és villamosenergiatermelő erőmű együttes gazdaságosságát. A lehülés vizsgálatánál a legjelentősebb tényező az épület lehülése, de számottevő kihatása van a központi fűtési rendszer lehülésének is. A szerző tanulmányában eljárást dolgoz ki a központi fűtési rendszerek lehülésének számítására. A levezetett összefüggések gyakorlati felhasználásának megkönnyítésére a szokásos fűtési rendszerekre diagramokat ad. Az eredményeket a szerző összeveti néhány e tárgyban végzett mérés eredményével.

Jelölések

t_k	külső hőmérséklet, C°;
t	a lehülés során változó belső hőmérséklet, C°;
t'	a helyiség középhőmérséklete a lehülés során (előzetes), C°;
h	az idő, mint változó érték a lehülés kezdetétől számítva, óra;
τ	a központi fűtőrendszer közepes hőmérséklete (változó érték), C°;
τ_k	kifutó víz hőmérséklet házi fűtőközpontnál, C°;
τ_{v}	visszatérő víz hőmérséklet házi fűtőközpontnál, C°;
τ_{k0}	központi fűtési rendszer (fűtő közeg) számításának alapjául szolgáló hőmérséklete a házi fűtőközpontnál, C°;
τ_0	központi fűtési rendszer (fűtő közeg) számítási alapul szolgáló hőmérséklete a radiátoronál, C°;
τ_1	központi fűtési rendszer (fűtő közeg) középhőmérséklete radiátoronál (egyenletes fűtésnél állandó), C°;
$\Delta\tau_a$	radiátor (ill. abban levő közeg) és fűtött helyiség hőmérséklete közötti különbség számítási alapul szolgáló értéke, C°;
k	fűtőttest hőátbocsátási tényezője (változó érték), kcal/m ² , óra, C°;
k_a	a hőátbocsátási tényező adott $\Delta\tau_a$ -nál, kcal/m ² , óra, C°;
F_f	kcal/óra-eső fajlagos fűtőttest (és fűtés céljára szolgáló csőrendszer) felület, m ² , óra/kcal;
F	fűtőttest (és a fűtés céljára szolgáló csőrendszer) felület, m ² ;
W	a fűtési rendszer vízértéke (a fűtésre is szolgáló csőrendszerrel és vízfűtésnél mindkettőben levő melegvízzel), kcal/C°;
p^+	a hőfokvesztés értéke a kifutó csőrendszerben, %;
l_i	az i jelű azonos átmérőjű csőszakasz hossza, m;
d_i	az i jelű csőszakasz belső átmérője, mm;
a_0, b_0, τ_0	fűtőttestekre (radiátorokra) jellemző állandó;
a_1	a fűtési rendszertől függő állandó.

I. A lehülés számítása

A központi fűtési rendszer lehülésének vizsgálatánál az egész rendszerben megkülönböztethető a fűtő közeg, a hőátadó felület és a csővezeték. Az alábbiakban ennek a rendszernek közepes hőmérsékletét a fűtőfelületben levő fűtőközeg közepes hőmérsékletével jellemezzük. Ettől ugyan minimális mértékben eltér magának a hőátadó felületnek acél stb. anyaga, és kismértékben eltérhet a viszonylag kisebb vízértékű kifutó és visszatérő csővezetékek hőmérséklete, ezt a különbséget azonban elhanyagoljuk.

A központi fűtési rendszer és a benne levő közeg (pl. forró víz) dh idő alatt $d\tau$ hőmérséklettel hűl le. Ez a hőmennyiség egyenlő (fűtési szünetről lévén szó) a fűtőfelület által átadott hőmennyiséggel, vagyis

$$W d\tau = -k F(\tau - t) dh.$$

A központi fűtésekhez használatos radiátoroknál és csöveknél hőátbocsátási tényező a különböző hőmérsékleteken nem állandó. Az értékét az irodalomban használatos következő értékkel vettük figyelembe [2]:

$$\frac{k}{k_a} = \sqrt[3]{\frac{\tau - t}{\Delta \tau_a}}.$$

Megjegyezzük, hogy egyes különösen korábbi irodalmi források gyökkitevőben más, pl. 4 értéket javasolnak, különben azonos kifejezés mellett.

Figyelemmel arra, hogy a τ változásához képest a t változása nagyságrendileg kisebb, a t helyett írhatunk egy állandónak felvett előzetes t' értéket. Ez lehet akár a belső helyiség előzetesen számított leghidegebb hőfoka, vagy későbbi számításainknál általában alkalmazott középhőfoka. k_a és $\Delta \tau_a$ összetartozó állandó értékek. Ezt helyettesítve, a differenciálegyenlet a következő alakot veszi fel:

$$W d\tau = -\frac{k_a}{\sqrt[3]{\Delta \tau_a}} \sqrt[3]{\tau - t'} (\tau - t') F dh.$$

A differenciálegyenletet rendezve, a következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{d\tau}{(\tau - t')^{\frac{4}{3}}} = -\frac{k_a}{\sqrt[3]{\Delta \tau_a}} \cdot \frac{F}{W} dh.$$

A szétválasztott differenciálegyenlet integrálható, és így a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{(\tau - t')^{-\frac{1}{3}}}{-\frac{1}{3}} = -\frac{k_a}{\sqrt[3]{\Delta\tau_a}} \cdot \frac{F}{W} h + C.$$

A $h = 0$ időpontban $\tau = \tau_1$, és így $C = -3/\sqrt[3]{\tau_1 - t'}$. Helyettesítve és rendezve az egyenletet a következő összefüggés adódik:

$$\tau - t' = \frac{27\Delta\tau_a(\tau_1 - t')}{\left[3\sqrt[3]{\Delta\tau_a} + \frac{F}{W}k_a\sqrt[3]{\tau_1 - t'}h\right]^3} = \frac{a_0}{(b_0 + c_0h)^3}, \quad (1)$$

a_0 , b_0 és c_0 állandó mennyiségek: a radiátor állandó (adott, hőmérsékletkülönbséghez tartozó) hőátbocsátási tényezőjétől és fűtési jellemzőktől függenek. Kifejezésüket az előző képlet két utolsó oldalának összehasonlításából minden további nélkül elvégezhetjük, számszerű értékeiket a III. táblázat mutatja.

II. Közeghőmérséklet vízfűtésnél

A τ_1 értéket a radiátornál mért közepes vízhőmérsékletet a következő képlet alapján számoltuk:

$$\tau_1 = \frac{\tau_k + \tau_w}{2} - \frac{p^+}{100} a_1 (\tau_k - \tau_w),$$

ahol az a_1 érték az elosztás rendszerétől függő állandó; későbbiekben alsó elosztást és az $a_1 = 1/200$ értéket vettük figyelembe. A gőzfűtésnél a radiátorban levő fűtőközeg hőmérsékletet 100 C°-ra vettük és $p^+ = 30\%$ -kal számoltunk.

III. A központi fűtés néhány jellemzője

A fűtőrendszer lehűlésének számításához, amennyiben nem akarjuk az egész konkrét központi fűtési rendszert tételesen és meglehetősen aprólékosan végigszámolni, minden egyes esetben, átlagadatokat kell gyűjtenünk vagy közelítően számítanunk.

Elsősorban csővezetéki rendszert vizsgáltunk. Vizsgálatainknál kiindulásul MACSKÁSY ÁRPÁD professzornak az 1955. évi Épületgépészeti Konferencián ismertetett (más célra készült) [1] adatgyűjtését vettük, és ezt számoltuk tovább. Az adatokat az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat
Kivitelezett központi fűtések egyes jellemzői

Épület	Q [kcal/óra]	$\Sigma l_i d_i$ [m · mm]	$\frac{\Sigma l_i d_i}{Q}$ [$\frac{\text{óra} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}}{\text{kcal}}$]
1	110 000	18 770	0,17
2	108 000	23 223	0,214
3	154 000	28 960	0,18
4	428 000	107 078	0,25
5	163 500	24 360	0,149
6	189 500	31 550	0,167
7	338 500	40 800	0,12
8	356 000	40 960	0,114
9	89 800	12 360	0,137
10	110 050	14 040	0,128
11	116 500	15 150	0,129
12	316 440	42 260	0,133
13	341 000	47 240	0,138
Összesen	2 821 290	446 751	2,029

Az I. táblázat egy-egy sora egy-egy épületet jelent, a sorrend egyezik az [1]-ben alkalmazott sorrenddel. Idézett forrásban az I. táblázatban szereplő épületek megnevezése és egyes további adatai is megtalálhatók.

A mi céljainkhoz az épületenkénti $\Sigma l_i d_i / Q$ értékeket számítottuk ki. Az I. táblázatban ezeket az értékeket is feltüntettük. Amint látható, az egyes épületeknél a $\Sigma l_i d_i / Q$ érték 0,11-től általában 0,18-ig ingadozik, két épületnél (2 és 4 jelű) 0,214, ill. 0,25; a 13 épület átlaga 0,155; kiemelve a 4 jelű, bizonyos szempontból különleges épületet 0,15. Ez azt jelenti, hogy 10^6 kcal/óra fűtési csúcs-hőigényre melegvízfűtés esetében az alapvezetéket is beszámítva a csővezeték $\Sigma l_i d_i$ értéke 150 000 körül van. Ha az alapvezetéket figyelmen kívül hagyjuk, a $\Sigma l_i d_i$ érték 100 000 körül van.

Abban az esetben, ha az átlag cső keresztmetszetét $3/4''$ -ra vesszük (belső átmérő 21,25 mm), úgy az első (alapvezetékekkel együtt számított) értéknek megfelel 7050 m egyenértékű csőhossz, 3900 kcal/C° vízárték (vasanyagra és benne levő vízre együtt); a számítási alapul szolgáló külső hőmérsékletnél, vagyis csúcsban $\Delta \tau_a = 60$ C°-nál $0,42 \times 10^6$ kcal/óra a hőleadás.

Abban az esetben, ha az átlag cső keresztmetszetet nem $3/4''$ -ra, hanem $1''$ -ra vesszük (belső átmérő 27 mm) — bár ez valószínűleg túl nagy érték —, az előző bekezdésben szereplő mennyiségek értékei a következők: az egyenértékű csőhossz 5600 m, a vízárték 4820 kcal/C°, a hőleadás $0,4 \times 10^6$ kcal/óra.

A későbbi számításainknál a radiátoroknál 1 millió kcal/óra szállításhoz szükséges épületen belüli csővezeték hasznos hőleadását biztonsággal (a hő egy része nem hasznos célt szolgál) $0,2-0,3 \times 10^6$ kcal/órával vettük figyelembe.

A csővezeték után nézzük a radiátorokat, illetőleg a két tényezőt együtt. 90/70°-os rendszernél 10^6 kcal/óra csúcs-hőleadáshoz 2500 m² radiátorral számoltunk. A radiátor és a benne levő víz együttes vízértékét 9 kcal/mC° értékkel vettük.

Tájékoztatásul megemlítjük, hogy néhány jelenleg gyártott hazai öntöttvas radiátor és víztöltése 1 m²-re eső vízértéke a következő kcal/C°-ban Graciosa 2 oszlopos radiátorok:

Közcsavartáv 500 (472) mm	9,
„ 600 (624) mm	8,46,
„ 1000 (1006) mm	8,18.

A Graciosa 3 oszlopos radiátorok közül az 1000 (1006) mm közcsavartávú radiátornál a vízérték 1 m²-re 7,94 kcal/C°.

Ezekkel az adatokkal 10^6 kcal/óra összes hőigényre együttesen esik kereken 2300 m² radiátor és csőfelület, amelynek vízértéke 20 000 kcal/C°. A fenti számítás, amint jeleztük, 90/70°-os melegvízfűtésre vonatkozik, továbbá öntöttvas radiátorokra. Ugyanezeket a tájékoztató értékeket melegvízfűtésnél kovácsoltvas radiátorral, illetőleg kisnyomású gőzfűtésnél a két radiátortípussal a következőkben adjuk meg a csővezeték rendszerre és radiátorra együtt 10^6 összes kcal/óra vonatkoztatva (II. táblázat).

II. táblázat

Radiátorok és csővezeték rendszer fajlagos felülete és vízértéke 10^6 kcal/óra-ra vonatkoztatva

Fűtési mód, radiátor	F [m ²]	W [kcal/C°]
Melegvízfűtés, öntöttvas radiátor	2 300	20 000
Melegvízfűtés, kovácsoltvas radiátor	2 300	12 700
Gőzfűtés, öntöttvas radiátor	1 700	5 500
Gőzfűtés, kovácsoltvas radiátor	1 700	2 680

A táblázattal kapcsolatban megemlítjük, hogy melegvízfűtésnél 1 m² lemezzradiátor és víztartalma együttes vízértékét 5 kcal/C° értékkel vettük figyelembe.

A mai hazai lemezzradiátoroknál (MSZ 2875) például a következő vízértékek vannak 1 m² radiátorra és a víztöltésre együtt kcal/C°-ban:

4 oszlopos lemezzradiátor 500 mm közcsavartávval 5,38;
6 oszlopos lemezzradiátor 1000 mm közcsavartávval pedig 4,55.

III. táblázat

Fűtési rendszerek lehülési jellemzői

	t_k [C°]	τ_1 [C°]	Öntöttvas radiátor			
			$\left[\frac{F/W}{\text{kcal}} \right]$	a_0	b_0	c_0
Melegvíz- fűtésnél	-15°	77	0,115	95 500	11,745	3,04
	-10°	70	0,115	84 000	11,745	2,92
	0°	55,3	0,115	60 800	11,745	2,62
	+10°	41,5	0,115	38 000	11,745	2,25
Gőzfűtésnél		100°	0,312	176 000	12,927	10,4
	t_k [C°]	τ_1 [C°]	Kovácsoltvas radiátor			
			$\left[\frac{F/W}{\text{kcal}} \right]$	a_0	b_0	c_0
Melegvíz- fűtésnél	-15°	77	0,18	95 500	11,745	4,74
	-10°	70	0,18	84 000	11,745	4,54
	0°	55,3	0,18	60 900	11,745	4,08
	+10°	41,5	0,18	38 000	11,745	3,52
Gőzfűtésnél		100°	0,630	176 000	12,927	21,2

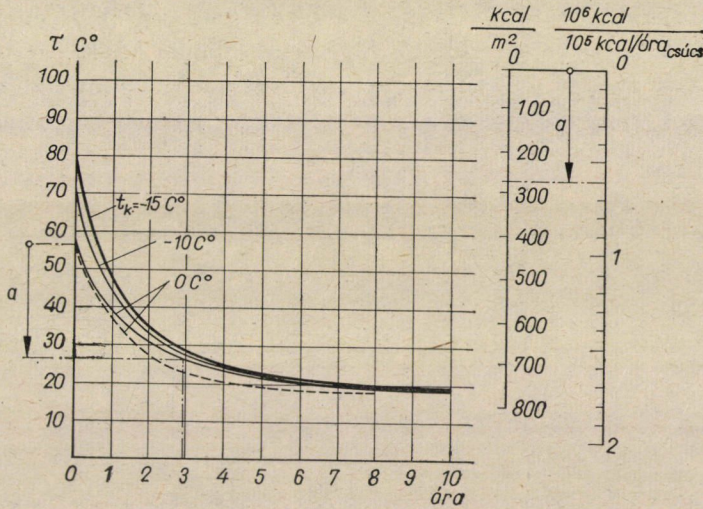
A k_0 érték irodalmi adatok szerint pl. [2] 90/70°-os melegvízfűtésnél 6,8, gőzfűtésnél 7,7 kcal/m² C°. Fenti kiinduló adatokkal kiszámíthatjuk a központi fűtőrendszer lehülésénél szükséges korábban ismertetett (1) jelű képlet a_0 b_0 c_0 állandóit (III. táblázat).

Ezek alapján az (1) képlet felhasználásával kiszámítottuk a különböző radiátortípusoknál (öntöttvas és kovácsoltvas), valamint fűtémódoknál különböző külső hőmérsékletek esetén a központi fűtési rendszer lehülését. Az eredményeket 1., 2. és 3. ábrákban foglaltuk össze.

Az ábráknál a t' értékét egységesen 18 C°-kal vettük figyelembe. A csővezetéki rendszert lehülési hőmérséklet szempontjából azonosnak vettük a radiátorral. A különböző radiátortípusoknál a lehülés mértéke megadja a fel szabaduló hőmennyiséget is. Az ábrákban megadtuk azt a skálát is, amellyel az 1 m² radiátorfelület által a lehüléskor leadott hőmennyiség közvetlenül is leolvasható (felvett adataink esetén).

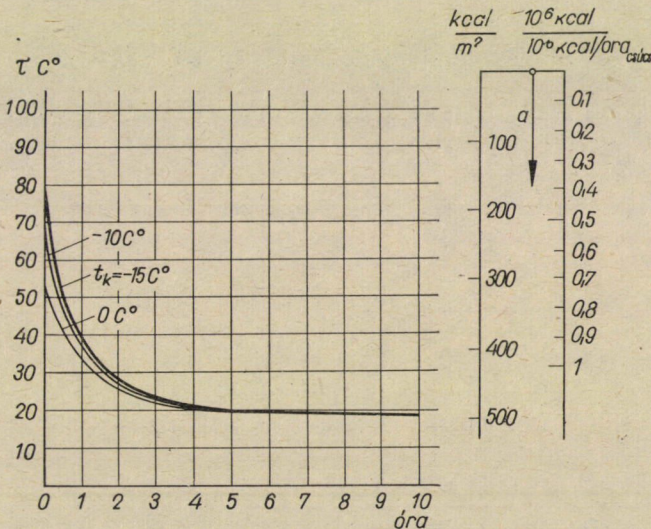
Az ábrák használatának ezt a részét kissé megvilágítjuk az 1. ábra kapcsán.

0 C° külső hőmérséklet esetén a 0 C°-nak megfelelő görbén dolgozunk. Az ábrába rajzolt példánál a lehülés első három órájában a rendszer a C°-kal hűl le. Az ábra jobb oldalán levő két segédskálát úgy szerkesztettük meg, hogy 0 pontjából lefelé mérve a értéket a gyakorlat számára szükséges két hőmennyiség értékét leolvashatjuk. A bal oldali segédskálán leolvashatjuk, hogy



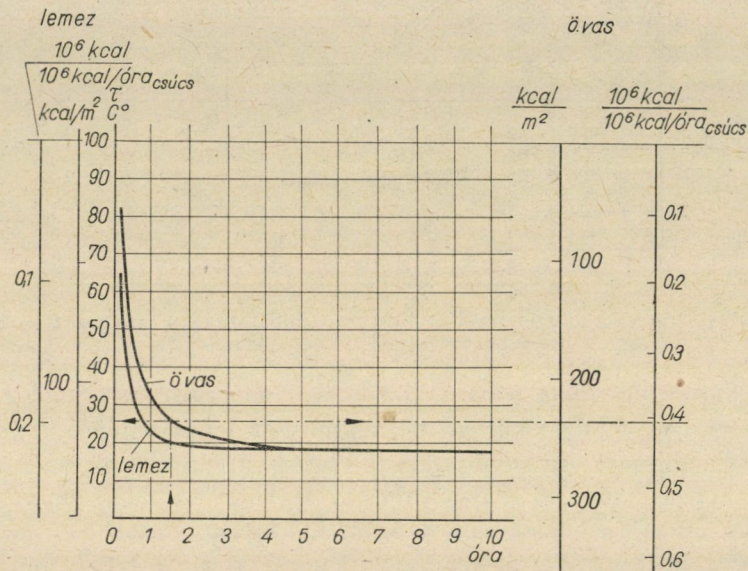
1. ábra. Melegvízfűtési rendszer lehülése öntöttvas radiátornál (a szaggatott görbe esetében a hőátbocsátási tényező állandó)

a jelzett három óra alatt hány millió kcal hőmennyiséget ad le az együttes fűtőrendszer 1 m² felülete külső fűtés nélkül csak lehülése révén. A jobb oldali segédskála pedig megadja az általunk felvett kiinduló adatok mellett 1 millió kcal/óra névleges csúcs-hőigénynél, tehát a leghidegebb külső napra számított hőigénynél adott (példa szerint 3 órás) időtartam alatt hány millió kcal szolgáltat a leállított fűtési rendszer. Tetszés szerinti teljesítményű fűtési rendszernél természetesen utóbbi értéket be kell szorozni a millió kalóriában számított névleges csúcs-hőigénnyel.



2. ábra. Melegvízfűtési rendszer lehülése kovácsoltvas radiátornál

A 3. ábránál gőzfűtésről lévén szó a fűtési rendszer lehűlésének kiinduló hőmérséklete a külső hőmérséklettől független, állandó érték, ezért az előbbi mennyiségek közvetlen kivetítéssel meghatározhatók, amint azt az ábrába rajzolt (jobbra irányuló) eredményvonal mutatja. A segédskálák egyebekben egyeznek a korábban ismertetettekkel.



3. ábra. Gőzfűtési rendszer lehűlése öntöttvas, illetőleg kovácsoltvas radiátornál

IV. Lehűlés állandó hőátbocsátási tényező esetén

Az I. fejezetben a hőátbocsátási tényező hőmérséklet függését harmadik gyökös képlettel számoltuk. A teljesség kedvéért megnéztük azt az esetet is, mint változatot, ha a lehűlés során a radiátor hőátbocsátási tényezője állandóan k_a értékű lett volna, bár ez a feltételezés nem helyes.

Ez esetben a lehűlésre felírt differenciálegyenlet szétválasztva a következő alakot veszi fel:

$$\frac{d\tau}{\tau - t'} = - \frac{k_a F}{W} dh$$

és integrálva

$$\ln(\tau - t') = - \frac{k_a F}{W} h + C.$$

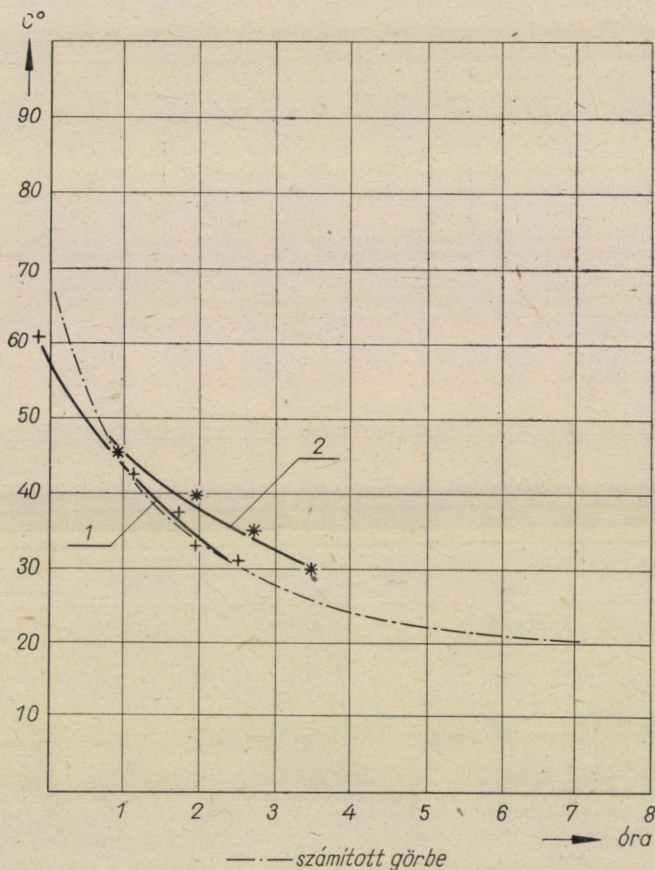
A $h = 0$ -nál $\tau = \tau_1$, ebből C -t kiszámítva és az egyenletet τ -ra megoldva azt kapjuk, hogy

$$\tau - t' = (\tau_1 - t') e^{-\frac{k_a F}{W} h}.$$

Szemléltetés kedvéért vízfűtésnél $t_k = 0$ C° esetére az 1. ábrába berajzoltuk szaggatott vonallal ezt a (nem helyes) megoldást is összehasonlításul.

V. Ellenőrző mérések

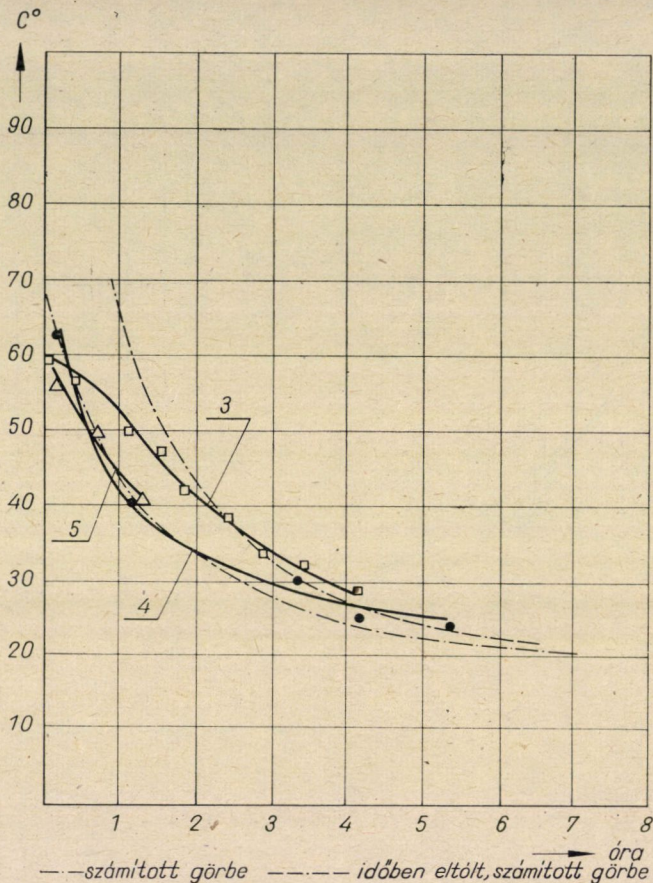
A központi fűtési rendszer lehűlésére vonatkozó számításainkat tájékoztató mérésorozattal ellenőriztük. A mérésekből bemutatunk néhányat. Le-bonyolításukkal kapcsolatban a következőket említjük meg. Tájékoztató



4. ábra. Radiátor mért lehűlése öntöttvas radiátor esetén, melegvízfűtésnél

értékeket kívántunk kapni, ezért költségesebb laboratóriumi vizsgálatok helyett a tényleges üzemmenet során mértük egyes helyiségek radiátorainak lehűlését. A hőmérsékletet tapintó kettős fém (bimetál) hőmérővel mértük, ilyképpen egyrészt a fűtőtest külső felületének hőmérsékletét kaptuk meg, másrészt 2 C°-nál nagyobb pontossági igényvel nem léptünk fel. A méréseknél néha zavart jelentett, hogy a fűtési leállítás nem volt teljes. (Valószínűleg nem zárták el tömören a rendszer leválasztó szerelvényét.) Ezeket az eseteket a mérési eredményekből jól lehet rekonstruálni. A lehűlésre az induló hőmérséklet és a fűtőtest kialakításon kívül befolyással van a helyiség-hőmérséklet.

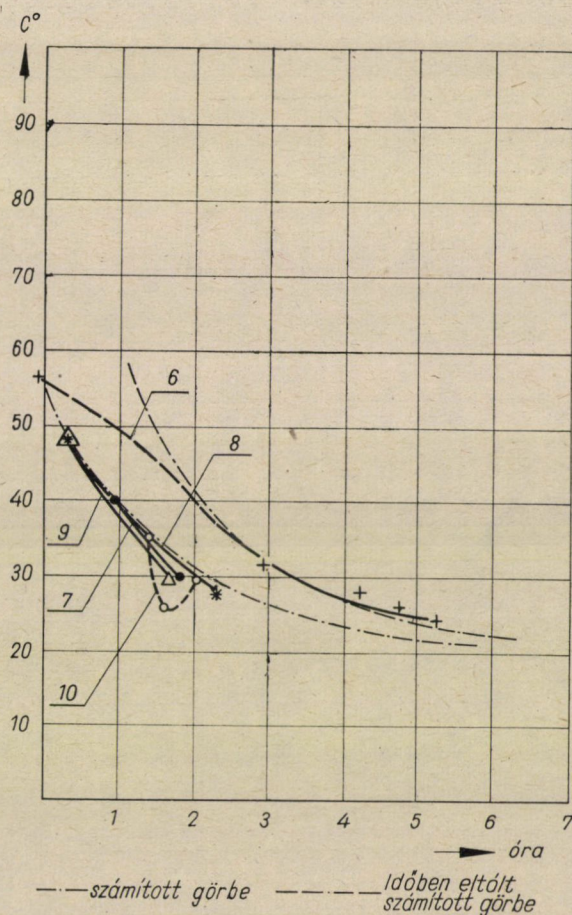
A belső hőmérséklet általában $18 \div 22 \text{ C}^\circ$ között volt, nagyobb mértékben nem befolyásolta a lehülést, és ezért lefolyását nem tüntettük fel. Néhány esetben szándékosan szellőzési időben végeztük a méréseket, ez esetben a belső hőmérséklet jelentősen lecsökkent, pl. 10 C° -ig, esetleg ez alá. Ezenkívül különösen azokban az esetekben, mikor a szellőzés a helyiség alsó részében is



5. ábra. Radiátor mért lehülése öntöttvas radiátor esetén, melegvízfűtésnél

folyt (erkélyajtón keresztül), az érzékelhető légáram miatt nőtt a levegősebesség, és ezzel együtt a hőátadási tényező. Ilyképpen számottevően lecsökken a fűtőtest felületi hőmérséklete. Érdekesség okából ezekből a mérésekből is feltüntetünk néhányat, megkülönböztetésül azonban szaggatott vonallal rajzoltuk be. Az ábrákban mindenütt berajzoltuk eredményvonallal jelen tanulmány szerint például számított görbét is. A 4. ábrán régebbi típusú melegvízfűtésű radiátor lehülését mutatjuk. A 2 jelű görbénél a magasabb hőfokú rész kissé eltér, a többi rész tűrhetően egyezik megfelelő időbeli eltolás figyelembevételével a számított görbével.

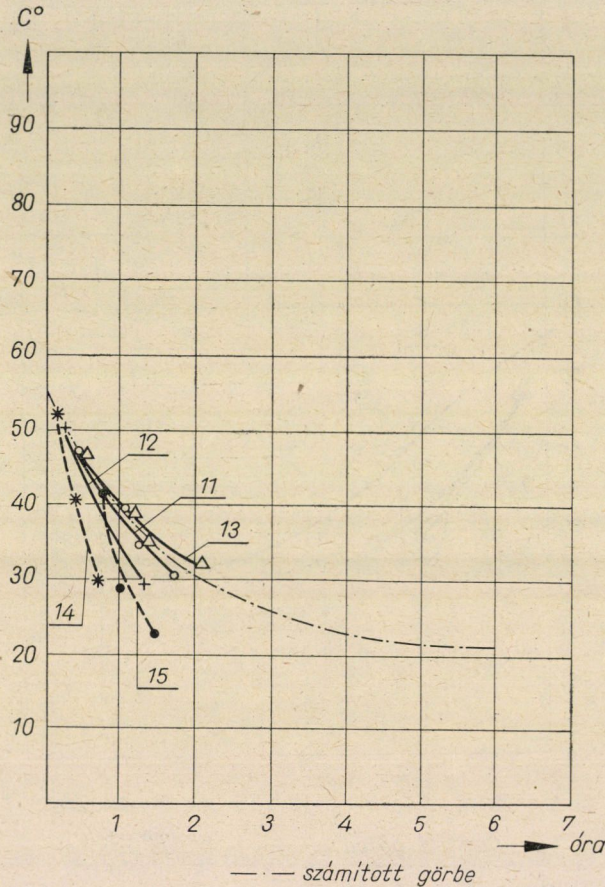
Az 5. ábrán az előbbiekkal egyező típusú radiátornál 3 jelű görbénél a lehűlés első részében még volt fűtés kb. 1 óráig, a mérés megindulása után. Ezután a melegítés megszűnt, és a görbe lefolyása jól közelíti a számított görbét, illetőleg 1 jelű görbét; természetesen időben eltolva. Ugyancsak jól



6. ábra. Radiátor mért lehűlése öntöttvas radiátor esetén, gőzfűtés

vágnak a számított görbével a hasonló típusú, de más helyiségben levő melegvíz-fűtési radiátoroknál felvett 4 és 5 jelű görbék. Érintett görbéknél a számított görbétől való kismértékű eltérés mindenütt egy irányban (a kissé lassúbb lehűlés irányában) jelentkezik. Ez érthető, mert a mért régebbi típusú radiátoroknál az 1 m² fűtőfelületre eső vízérték nagyobb annál, mint amivel a III. fejezetben számoltunk. A 6. és 7. ábra görbéi két oszlopos újabb típusú radiátorokra vonatkoznak. A 6 jelű görbénél a mérés indulása után kb. 2,5 órán keresztül még volt valami hőszolgáltatás. Ezután a görbe jól vág az időben

eltolt számított görbével. A 7, 8 és 9 jelű görbék ugyancsak jól közelítik a számított görbét. A 10 jelű görbénél szellőztetés volt. A 11, 12 és 13 jelű görbék közül a középső érzékelhetően eltér a számítotttól (feltételezhetően mérési hiba), a 14 és 15 jelű görbéknél szellőztetés volt oly mértékben, hogy a helyiség belső hőmérséklete 10, illetőleg 11 C°-ig ment le.



7. ábra

IRODALOM

1. MACSKÁSY Á.: Távfűtő berendezések tervezésének egyes kérdései. *Épületgépészet* 4 (1955), 90.
2. *Műszaki előírás fűtő-, szellőztető- és klímaberendezések tervezésére és méretezésére*, ME—8—53. É.M. Építőipari Könyv- és Lapkiadó, Budapest 1953; 59. o.
3. TAKSONY Gy.: Városok — települések fűtési és egyéb hőigénye. *Magyar Energiagazdaság*, 8 (1955), 180.