

# Nagypontosságú mérőrendszer teljesítmény mérésére a mikrohullámú frekvenciatartományban

ETO 621.317.382.029.6

Közismert, hogy a mikrohullámú mérés technikában a teljesítménymérésnek milyen fontos szerepe van. Ez elsősorban annak tulajdonítható, hogy a feszültség és áram mérésével ebben a frekvenciatartományban már nem lehet az energiaátadási viszonyokat jellemezni, s így a teljesítménymérés veszi át azt az alapvető szerepet, amelyet kisebb frekvenciákon a feszültségmérés tölt be. Az általánosan alkalmazott teljesítménymérő típusok mérési bizonytalansága azonban még ma is néhány százalék, ami igen rossz érték a kisfrekvenciás feszültségmérő műszerek pontosságához képest. Ez különösen sürgetővé teszi azt az igényt, hogy legalább a mérésügyi intézetek rendelkezzenek olyan teljesítménymérő etalonokkal, melyeknek mérési pontossága lényegesen nagyobb, mint a széles körben alkalmazott teljesítménymérő típusoké. Az Országos Mérésügyi Hivatalban ezt a fejlesztési munkát már korábban elkezdjük. Az első eredményekről 1969-ben számoltunk be. Most az eddigi tapasztalatokat szeretnénk összegezni.

## 1. Nagypontosságú teljesítménymérési módszerek

Mikrohullámú teljesítményt az elnyelt teljesítmény hőhatása vagy az áramló teljesítmény mechanikus, mágneses vagy elektromos hatása alapján mérhetünk. A nagypontosságú mérések céljaira kidolgozott módszerek azonban szinte kizárólag az elnyelt nagyfrekvenciás teljesítmény hőhatásán alapszanak.

E mérőrendszerek két fő csoportra oszthatók:

- kalorimetrikus eszközök,
- bolometrikus eszközök.

Mindkét módszer közös jellemzője, hogy nagypontosságú méréseknél a mikrohullámú teljesítménymérést kisfrekvenciás vagy egyenáramú teljesítmény mérésre vezetjük vissza. A kaloriméter vagy a bolometrikus szerelvény segítségével az azonos hőhatást létrehozó helyettesítő teljesítményt határozzuk meg és ezt mérjük hagyományos módszerekkel. A mérési pontosságát ekkor döntő módon az szabja meg, hogy mennyiben azonos az érzékelt hőhatás, ugyanakkora mikrohullámú és kisfrekvenciás teljesítmény hatására, azaz mekkora a helyettesítés során elkövetett hiba. Különleges nagypontosságú rendszerhez akkor jutunk, ha ezt a hibát megfelelően kis értékre tudjuk lecsökkenteni.

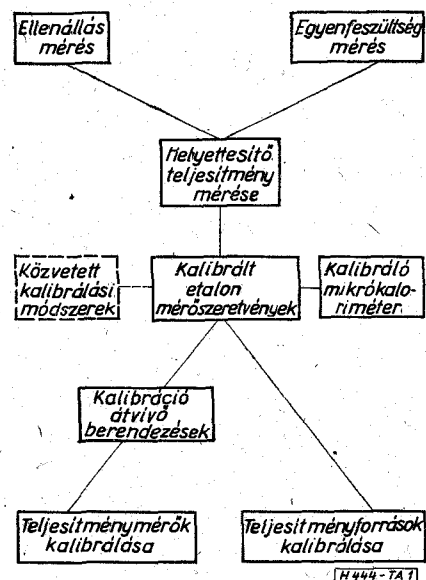
### 1.1 Mérési eljárás nagyfrekvenciás teljesítményetalon kialakítására

A mikrohullámú mérés technika jelenlegi fejlettségi fokán a nagyfrekvenciás teljesítmény egységének leszármaztatása, azaz teljesítménymérő etalon kialakítása e fenti két módszer összekapcsolásával kalorimetrikus módszerrel meghatározott átalakítási tényezőjű bolometrikus mérőszelvényekkel történhet a legnagyobb pontossággal. A módszer, amelynek kidolgozása Machperson és Kerns, majd Engen nevéhez fűződik, ma már világszerte elterjedtnek mondható [1], [2]. Ez a megoldás szerepel az idevonatkozó KGST-ajánlásban is (RSZ 2559-70).

Az eljárás az 1. ábra alapján tekinthető át. Látható, hogy a kiindulás az egyenáramú teljesítménymérésből (feszültség- és ellenállásérték mérésével) történik. A visszavezetés erre helyettesítési mérési eljárással, bolometrikus mérőátalakítókkal történik. A mérőetalonok megfelelő pontosságát kalorimetrikus kalibrátor (hatásfokmérő mikrokaloriméter) biztosítja.

Ahhoz tehát, hogy elvégezhesük a teljesítményegység egyenáramú teljesítményből való leszármaztatását és az etalon mérőszelvényvel elért mérési pontosságot tovább tudjuk adni a használati mérőeszközöknek, a következő nagyfrekvenciás eszközökre van szükség:

#### a) Etalon mérőszelvény (sorozat).



H 444-TA7

1. ábra. A nagyfrekvenciás teljesítményegység leszármaztatása

- b) Kalorimetrikus kalibrátor (mikrokaloriméter).  
c) Berendezés mérőeszközök összehasonlítására, illetve a kalibráció átvitelére.

A mikrohullámú technika jellegéből következően egy-egy berendezés csak korlátozott frekvenciasávot fog át. Gyakorlatilag minden hullámvezető (koaxiális és csőtápvonal) méretre külön rendszer kialakítása szükséges. Laboratóriumunkban, az Országos Mérésügyi Hivatalban eddig elsősorban hullámvezető etalonrendszerek kialakítására törekedtünk. Ennek elsődleges oka az, hogy csőtápvonalas rendszereknél az elérhető pontosság ma nagyobb, mint ugyanazon a frekvencián a koaxiális tápvonalban. Ismeretesek ugyanakkor olyan átviteli módszerek, amelyekkel a pontosabb hullámvezető etalonokból kiindulva koaxiális etalonok is létrehozhatók. Eddigi munkánk során 40×20 mm-es és 22×10 mm-es tápvonalméretre hoztunk létre mérőrendszert.

A következőkben egy adott frekvenciasávú etalonrendszer részegységeit tekintjük át, legrészletesebben a kalibráló mikrokaloriméterrel foglalkozva.

## 2. A teljesítménymérő etalonrendszer ismertetése

### 2.1 Etalon szerelvénytársorozat

E mérőeszközök bolométeres mérőfejek, amelyek kalibrációval válnak nagy pontosságú mérőeszközökké. A kalibráció tulajdonképpen a szerelvény „egyen/váltó” átalakítási tényezőjét határozza meg. Ezt közismert módon a mérőeszközök effektív hatásfokaként adjuk meg

$$\eta_{eff} = \frac{P_b}{P_A}$$

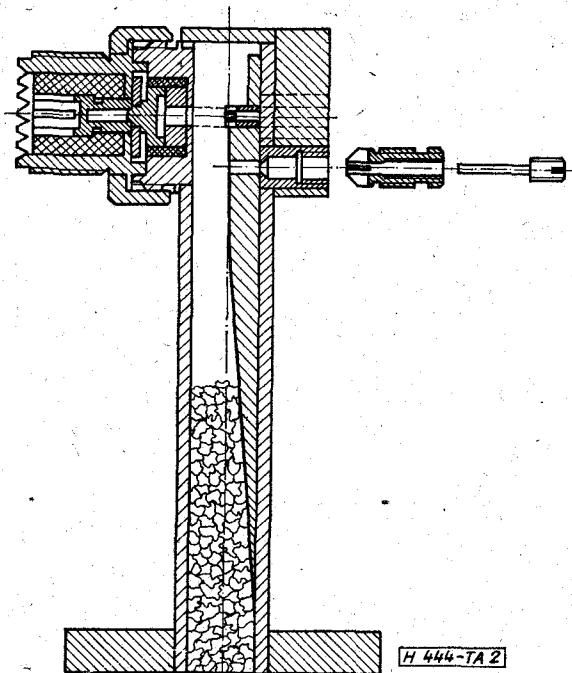
ahol  $P_b$  — a helyettesítő, a mikrohullámú teljesítménnyel azonos egyenáramú ellenállásváltozást okozó, egyenáramú teljesítmény,

$P_A$  — a mérőeszköz által felvett összes mikrohullámú teljesítmény.

Az effektív hatásfok a szerelvényben fellépő két különálló hibajelenség együttes hatását írja le. Ezek: a bolométerelemet magába foglaló szerelvény vesztesége (szerelvényhatásfok) és a magán a bolométerelem létrejövő teljesítményeloszlás-változásból adódó helyettesítési hiba. A két tényező szintfüggetlen (kivéve a duálelemes koaxiális mérőeszközöket) és így a kalibrációt elegendő egy jelszintnél elvégezni.

Teljesítménymérő-etalon célokra olyan mérőeszközök használatosak, melyeknek effektív hatásfoka stabil az idő függvényében és nem mutat szintfüggést.

A 22×10 mm-es tápvonalmérethez készült 8,2–12,4 GHz frekvenciasávú etalonrendszer konstrukcióját a 2. ábra mutatja. Az ábrán megfigyelhető a hangoló csapok patronos befogása. A szerelvény belső felületei ezüst palládium galvan bevonattal vannak ellátva, a fenék-rövidzár keményforrasztással készült. E mérőeszközök hatásfoka  $\pm 0,5\%$  szórással 98,5% körül van. Még kedvezőbb eredmények



2. ábra. Egy etalon mérőeszköz felépítése

érhetőek el az egész szerelvény galvanoplasztikai úton homogén belső fémfelülettel történő kialakításával.

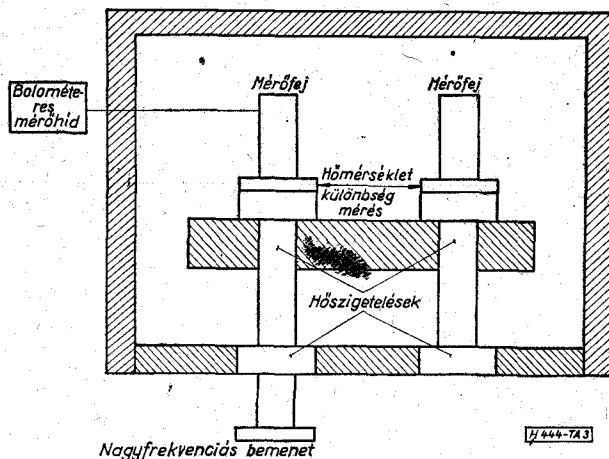
### 2.2 Kalibráló mikrokaloriméter

#### 2.2.1 Elvi működés

A mikrokaloriméter elvi kialakítása a 3. ábrán látható. A mérőberendezés az ismert Joule-féle ikerkaloriméter, amelynek két azonos kivitelű bolométerszerelvény alkotja a két lezárást. A mérés során a munkaponti bolométer ellenálláshoz tartozó egyen- teljesítmény egy részét helyettesítjük mikrohullámú teljesítménnyel és meghatározzuk a kalorimetrikusan kimutatható összteljesítmény-növekedést. Le-

$P_{e1}$  — a munkaponti ellenálláshoz tartozó fűtő egyen- teljesítmény,

$P_{e2}$  — a mikrohullámú jel mérésekor megmaradó egyen- teljesítmény,



3. ábra. A kalibráló mikrokaloriméter elvi felépítése

$T_1$  — a mérőszelvény hőmérséklete csak egyen-  
fűtés esetén,

$T_2$  — a mérőszelvény hőmérséklete adott ál-  
landó mikrohullámú jel mérésekor.

A szerelvény effektív hatásfoka a mért mennyiségek-  
ből a már említett definíció szerint

$$\eta_{eff} = \frac{1 - \frac{P_{e2}}{P_{e1}}}{\left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{P_{e1}}{P_{e2}}\right)} \cdot \frac{K'}{K}$$

ahol  $K$ , illetve  $K'$  az egységnyi egyen-, illetve mikro-  
hullámú teljesítmény hatására létrejött hőmérséklet  
változás. A  $K'/K$  hányados a kalorimetrikus kalib-  
rátor ekvivalencia hibáját fejezi ki. Ideális esetben  
ez egységnyi.

### 2.2.2 A mikrokaloriméter érzékenysége

A mikrokaloriméterben fellépő hőtadási viszonyo-  
kat leíró alapvető összefüggések a 4. ábrán látható  
egyszerűsített hőtadási modell alapján írhatók fel.  
E helyettesítő kép alapján számítható a kaloriméter  
érzékenysége és a tranziens jellemzők is. Az alkalma-  
zott közelítő feltételezések:

- a mérőszelvényen nem lépnek fel hőmérséklet  
gradiensek,
- a hőtadási viszonyok lineáris függvényekkel írha-  
tók fel.

Az érzékenység az ábra szerinti jelölésekkel:

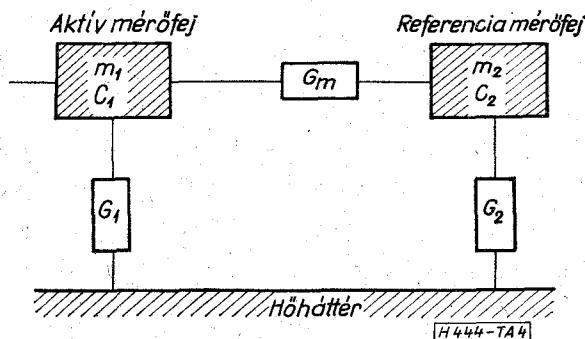
$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{1}{G_1 + G_m(1 + G_1/G_2)} \approx \frac{1}{G + 2G_m}$$

tökéletes szimmetria esetén.

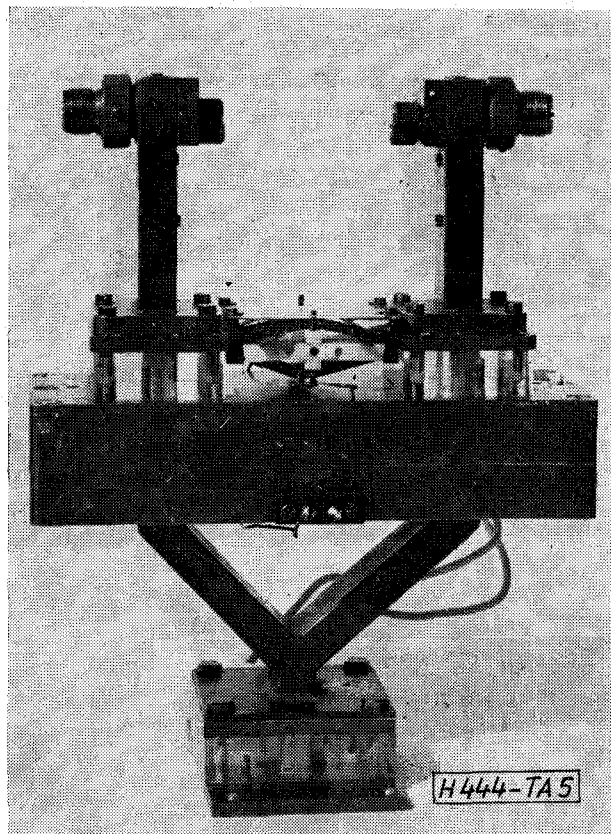
A legkisebb hőmérsékletváltozás, amelyet a hő-  
mérsékletérzékelő rendszerrel érzékelni kell, a leg-  
kisebb mérendő teljesítményből adódik a szükséges  
mérési pontosság figyelembevételével. Ha ez az igény  
 $10^{-3}$ :

$$\Delta T_{min} = 10^{-3} \frac{P_{min}}{G + 2G_m}$$

Figyelembe véve, hogy az etalon mérőszelvények-  
et 1–10 mW szinttartományban kalibráljuk, vala-  
mint azt, hogy a szokásos bolométer szerelvényki-  
alakítások esetén a gyakorlatban milyen hőszigetel-  
és-értékek érhetők el, ( $G$ )  $10^{-5}$  °C nagyságrendű hő-  
mérséklet-változásokat kell érzékelni. Ez megvalósít-



4. ábra. Hőtadási viszonyok a mikrokaloriméterben



5. ábra. A kaloriméter mérőrendszerének kialakítása

ható például a két mérőfej közé helyezett termoelem-  
sor segítségével.

E helyettesítő kép alapján részletesen is vizsgál-  
ható a termoelemes hőérzékelő mikrokaloriméter-  
ek érzékenysége, s megállapítható az elérhető ér-  
zékenység és az optimális termoelemszám adott ér-  
zékenységű és hővezetésű termopárookra.

### 2.2.3 A 22×10 mm-es mikrokaloriméter felépítése

Teljesítménymérő mikrokaloriméterek tervezésé-  
vel korábban több közlemény foglalkozott már [3],  
[4], [5]. Ezért csak a főbb konstrukciós szempontok-  
at foglaljuk össze röviden. A konstrukció a követ-  
kező követelményeket kell hogy kielégítse:

- a) megfelelő stabilitású hőhátter biztosítása,
- b) jó hőszigetelés a mérőfejek és a hőhátter közt,
- c) a vizsgált szerelvények gyors és egyszerű cse-  
relhetőségének biztosítása,
- d) lehetőleg rövid mérési időállandó és beállási  
idő (mérőszelvény-csere után).

A kalorimétert termosztált vízfürdővé alakítottuk  
ki, mely a belső térre  $\pm 10^{-4}$  °C-os hőstabilitást biz-  
tosít. Ez a megoldás azért előnyös, mert nem tesz  
szükségessé többszörös hőszigetelést a kaloriméter  
és a környezet közt, ezzel lecsökkentve a beállási  
tranzienseket. Az említett háttér-stabilitás követ-  
keztében a belső tér szimmetrikus elrendezésével  
csak mintegy tízszeres szimmetrikus „jelelnyomást”  
kell biztosítani.

A belső iker kaloriméter-szerelvény részletes ki-  
alakítása az 5. ábrán figyelhető meg. A cserélhető-  
séget úgy biztosítottuk, hogy a hőérzékelés a csatla-

kozó tápvonalkarimáknál történik. A tekercselt kialakítású termooszlop érzékenysége  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . A mikrohullámú jelet a mérőfejre továbbító csőtápvonalnál a hőszigetelést kb.  $20 \mu$  vastag, mikrohullámon jó vezetést biztosító, belső fémréteggel ellátott műanyag tápvonalszakaszokkal biztosítottuk. Néhány jellemző számadatot az 1. táblázat közöl.

1. táblázat

Az X-sávban működő mikrokaloriméter néhány jellemző adata

Hőszigetelés a teljesítménymérő szerelvények és a háttér közt ( $G_1$ )	0,210 W/ $^\circ\text{C}$
A hőmérsékletérzékelő hővezetése ( $G_m$ )	0,005 W/ $^\circ\text{C}$
A hőmérsékletérzékelő érzékenysége	4 mV/ $^\circ\text{C}$
A kaloriméter érzékenysége (számított)	18,2 $\mu\text{V}/\text{mW}$
A kaloriméter érzékenysége (OMH-etalon mérőszelvényekkel mérve)	16 $\mu\text{V}/\text{mW}$

## 2.2.4 A mikrokaloriméter mérési pontossága

A teljesítményetalon-rendszer pontosságát az egyenáramú teljesítménymérés pontossága és az etalon-szerelvények hatásfokának mérési bizonytalansága határozza meg. Az ismertített rendszerben az egyenáramú teljesítmény mérési bizonytalansága elhanyagolható a kalibráció hibája mellett. A mikrokaloriméterrel végzett effektív hatásfokmérés kalibrációjának pontossága a következő hibátényezőktől függ:

- A mikrokaloriméter kalorimetrikus ekvivalenciahibája a vizsgált etalonszerelvényre.
- A kaloriméter nemlineáris (teljesítmény-hőmérséklet) jelleggörbéje.
- A hőszigetelő tápvonalszakasz disszipációja által okozott hiba.
- A hőmérséklet-változás mérési bizonytalansága.
- Az etalon bolométeres mérőszelvények által felvett egyenáramú teljesítmény mérési bizonytalansága.

a) A kalorimetrikus ekvivalencia-hibát az okozza, hogy a kaloriméter érzékenysége más egyenáramra, más a bolométer-elemben elnyelődő nagyfrekvenciás teljesítményre és más a magában a szerelvényben hővé alakuló nagyfrekvenciás teljesítményre. A relatív érzékenységváltozás a tulajdonképpeni kalorimetrikus ekvivalencia-hiba. A tényleges effektív hatásfok az ekvivalencia-hiba figyelembevételével

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{1 - \frac{P_{e2}}{P_{e1}}}{\frac{T_2}{T_1} - \frac{P_{e2}}{P_{e1}}} (1 + \varepsilon),$$

ahol  $e = \frac{K' - K}{K}$ ,

$K'$  és  $K$  a nagyfrekvenciás, illetve egyenáramú érzékenység.

Az ekvivalencia-hiba egyik összetevője a bolométer elemen belüli teljesítményeloszlás változásából adódó érzékenységekülönbség a nagyfrekvenciás és egyenáramú érzékenység közt. Ez, ha a bolométerelem geometriai méretei nem nagyok a szerelvényhez képest és a hőérzékelés a bolométertől elég távol tör-

ténik, elhanyagolható. A mérések szerint az ismertített felépítésű OMH-etalonszerelvényeknél ez a hiba nem jelentős.

A másik összetevő a bolométer-elemben és a szerelvény más részein keletkező hőre vonatkozó érzékenységekülönbségre vezethető vissza. Figyelembe véve, hogy a szerelvényben máshol a felvett nagyfrekvenciás teljesítmény  $1 - \eta$ -szorosa alakul át hővé, a mért effektív hatásfoknál fellépő ekvivalencia-hiba is csak  $1 - \eta$ -szorosa a tényleges érzékenységváltozásnak:

$$\varepsilon = \varepsilon_{sz}(1 - \eta) = \frac{k - K}{K}(1 - \eta),$$

ahol  $k$  a szerelvényben a bolométerelemen kívül elnyelt teljesítményre vonatkozó érzékenység.

A  $k$  tényező korlátait úgy határoztuk meg, hogy a szerelvény különböző pontjait fűtöttük ismert egyenáramú teljesítménnyel egy segédtermisztor felhasználásával és így vizsgáltuk az érzékenység változását a bolométerelemre vonatkoztatott érzékenységhöz képest. Méréseink szerint a saját fejlesztésű etalon szerelvényekre a kimutatható legnagyobb érzékenységváltozás  $\sim 10\%$ .

b) A hőmérsékleti jelleggörbe nemlinearitása annak következménye, hogy a hőátadás nem csak hővezetéssel, hanem konvekcióval és sugárzással is történik. Nagyságát az egyenáramú karakterisztika pontos felvételével határozhatjuk meg. A nemlinearitás által okozott mérési hiba ugyancsak a veszteségekkel, azaz  $1 - \eta_{\text{eff}}$ -vel arányos és szükség esetén korrekcióba is vehető.

c) A hőszigetelő tápvonalszakasz disszipációja azt eredményezi, hogy a kalorimetrikusan érzékelt látzólagos teljesítményvesztés a ténylegesnél nagyobb. Ez azt jelenti, hogy a tényleges értéknél kisebb hatásfokot mérünk. A hiba korlátai a szakasz disszipációs csillapításából határozhatók meg.

$$\eta_{\text{eff}} > \eta_{\text{mért}} > \eta_{\text{eff}} \cdot A,$$

ahol  $A$  a szakasz veszteségi csillapítása (teljesítményarány).

Az  $A$ -nak számításal történő meghatározása azonban nem mindig vezet elég pontos eredményre. A hosszegységekre eső szakaszcsillapításnál ugyanis az anyag fajlagos vezetőképessége mellett a felületi finomságnak is döntő szerepe van.

A disszipáció tényleges nagyságát úgy határozhatjuk meg, hogy a mérőszelvény helyére jó minőségű (1%-nál kisebb veszteségű) rövidzárat helyezve, meghatározzuk a kalorimetrikusan kimutatható teljesítményvesztést ismert mikrohullámú teljesítmény reflektálásakor. A mért százalékos teljesítményvesztésből a disszipáció által okozott mérési hiba számítható.

d) - e) A hőmérsékletarányok mérési bizonytalansága az alkalmazott érzékelő megoldás felbontásától függ. A helyettesítő teljesítmények aránya egyenáramú rezonációs híddal 0,1%-nál kisebb bizonytalansággal mérhető az 1-10 mW tartományban. Célszerű olyan megoldás választása, hogy ezek a hibátényezők elhanyagolhatóak legyenek az előzőekhez képest.

2. táblázat

az X-sávban működő mikrokaloriméter mérési bizonytalansága

Hibaforrás	Hibahatárok (Ha $\eta_{eff} \approx 95\%$ )
Kalorimetrikus ekvivalenciahiba	$\pm 0,25\%$
A nemlinearitásból adódó korrekció bizonytalansága	$\pm 0,1\%$
A hőszigetelések disszipáció korrekciójának bizonytalansága	$\pm 0,2\%$
A hőmérsékletmérés mérési bizonytalansága	$\pm 0,08\%$
A helyettesítő teljesítmények mérési bizonytalansága	$< 0,01\%$

A mikrokaloriméterben fellépő egyes hibatényezők számszerű értékeit az általunk kifejlesztett X-sávú berendezésre a 2. táblázat tartalmazza.

3. A kalibráció átvitele, etalon-teljesítményforrás létrehozása, etalon-szerelvények összehasonlítása

Ehhez olyan mérőberendezés szükséges, amely biztosítja, hogy az összehasonlításra kerülő szerelvények által felvett teljesítmények közti arány ismert legyen. Erre a célra ma már többféle megoldás is alkalmazható.

a) Illesztett generátor, vagy ezt megvalósító iránycsatolás összeállítás és az összehasonlítandó szerelvények reflexiós tényezőinek mérése után számítással történő korrekció.

b) Reflektométer, az elnyelt nagyfrekvenciás teljesítmények arányának közvetlen mérésére.

c) Módosított „általánosított” reflektorméter, amely az éppen vizsgált etalon-szerelvények reflexiós tényezőjétől függetlenül állandó elnyelt nagyfrekvenciás teljesítményt biztosít.

Tekintve, hogy a rendszerben használt etalonszerelvények kis reflexiójúak, a b) megoldás megfelelő eredményt biztosít. Az eljárás néhány tized százalékos járulékos hibával tesz lehetővé kalibráció átvitelt. Előnye, hogy egyidejűleg biztosít szinuszabályzási lehetőséget, a kalibráció átvitelét, s megadja a vizsgált szerelvények reflexiós tényezőjét is [6].

4. Az összehasonlító mérések eredményei

Nagypontosságú etalonok kiképzésénél a szisztematikus és véletlen hibák csökkentésének fontos eszköze az esetleg más rendszerű, de hasonló pontosságú etalonokkal való összehasonlítás, amely kölcsönösen lehetővé teszi a hibák csökkentését. Ilyen jellegű kétoldali vagy körösszehasonlításokat az egyes országok mérésügyi intézetei folyamatosan végeznek. Az összehasonlító mérések, amelyeket az X-sávú teljesítmény-etalonra végeztünk, nagy segítséget jelentettek a kalorimetrikus kalibrálás hibahatárainak meghatározásánál.

A 10 GHz-es etalon mérőszerelvényeket összehasonlítottuk a moszkvai VNIIFTRI-ben kifejlesztett

vízáramoltatásos kaloriméterben kalibrált mérőszerelvényekkel. Az eredmények, amelyek a 3. táblázatban láthatók, azt mutatták, hogy a mért eltérések nem haladják meg az etalonok hibahatárait.

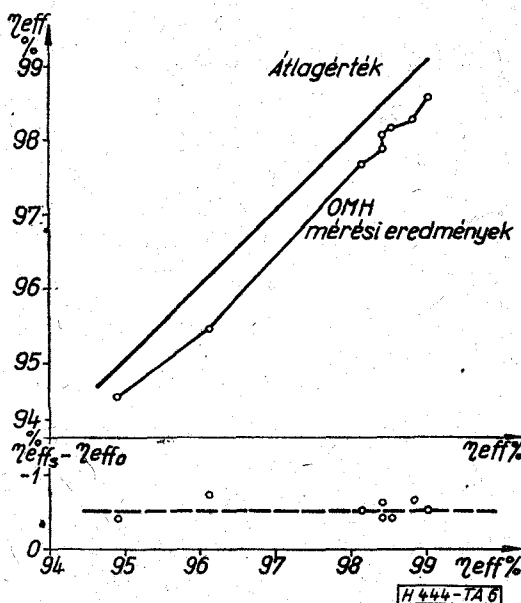
A kalibráló mikrokaloriméternél a szigetelő tápvonalszakasz hődisszipációja által okozott hiba pontos meghatározása nehézségeket jelentetett. Az erre vonatkozó mérési eredményeket, amelyek a számítottnál nagyobb disszipációs hatást mutattak, igazolták a BIPM által szervezett körmérés során szerzett tapasztalatok. A 6. ábra a különböző etalonszerelvények effektív hatásfokát mutatja az OMH mikrokaloriméterében mérve. Egyben feltünteteti a kapott mérési eredmények átlagértékét. Az OMH eredmények megadásánál a disszipációs hatást (a számítással kapott eredményeknek megfelelően) nem vettük figyelembe. Jól látható, hogy az eredmények állandó, szerelvénytől és mért hatásfoktól független különbséget mutatnak. Figyelembe véve, hogy az eltérés veszteségfüggetlen ( $1 - \eta$ -tól független) és különböző mérőszerelvény- és bolométertípusokra is azonos, egyértelműen csak a szigetelő tápvonalszakasz veszteségére vezethető vissza. A már említett eljárással, rövidzárral végzett veszteségvizsgálatok ezt teljes mértékben igazolták.

3. táblázat

VNIIFTRI (SZU) és OMH közti összehasonlító mérések eredményei

Megjelölés	Mért effektív hatások	
	VNIIFTRI	OMH
Typ 3 No. 2 (OMH)	$97,10 \pm 0,5$	$97,35 \pm 0,5$
Typ 3 No. 3 (OMH)	$97,10 \pm 0,5$	$97,21 \pm 0,5$
No. 3 (VNIIFTRI)	$94,04 \pm 0,2$	$93,38 \pm 0,5$
No. 6 (VNIIFTRI)	$98,76 \pm 0,2$	$98,62 \pm 0,5$

Mérési frekvencia: 10 GHz



6. ábra. A disszipációs hiba szemléltetése nemzetközi összehasonlító mérések felhasználásával

KGST-téma keretében végeztünk összehasonlító méréseket az X-sávú hullámvezetős teljesítmény-mérő etalonunk és a koaxiális „szovjet állami teljesítményetalon” (VNIIM) közt. E mérések során nagy pontosságú koaxiális és hullámvezetős teljesítmény mérő szerelvények közt adapteres közvetett összehasonlítást végeztünk. A mérések a gyakorlatban igazolták, hogy adapter veszteségeink meghatározásával az irodalomban javasolt módszerrel [7] különböző hullámvezetőjű teljesítményetalonok közt is megfelelő pontossággal elvégezhető a kalibráció átvitele.

## 5. További célkitűzések

A nemzetközi összehasonlító mérések elősegítették a további fejlesztésre vonatkozó elképzelések kialakítását. Bebizonyosodott, hogy a különböző tápvonal-méretű csőtápvonalas teljesítményetalonokat és a kiegészítő koaxiális mérőrendszert egyetlen rendszerben célszerű alkalmazni. A koaxiális mérőrendszerek ugyanis nagyobb frekvenciaátfogást biztosítanak, mérési pontosságuk viszont kisebb a nagyobb kalorimetrikus ekvivalencia-hiba következtében.

Így a most következő feladat egy, a jelenleg használt teljes mikrohullámú frekvenciatartományt (1–18 GHz) átfogó koaxiális teljesítményetalon-rend-

szer kialakítása. Újabb hullámvezetős etalonokat olyan tápvonalméretre (frekvenciasávra) építünk ki a jövőben, ahol a pontossági követelmények ezt szükségessé teszik.

## IRODALOM

- [1] Macpherson A. C., Kerns D. M.: A microwave microcalorimeter. The Review of Scientific Instruments. 26. (1955) 1 (jan.) 27–35
- [2] Engen G. P.: A refined X-band microwave microcalorimeter. Journal of Research of the NBS—C. Engineering and Instrumentation 63 C (1959) 1. (July) 77–82
- [3] Sucher M., Carlin M. J.: Broad-band Calorimeters for the measurement of low and medium level microwave power. I. Analysis and design. IRE Transaction on Microwave Theory and Techniques. MTT—6 (1958) April 188–194
- [4] James A. V., Sweet L. O.: Broad-band Calorimeters for the measurement of low and medium level microwave power. II. Construction and Performance. (IRE Transaction on Microwave Theory and Techniques. MTT—6 (1958) April 195–202
- [5] Jurkus A.: A coaxial radio frequency power standard. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement 15. (1966) 4. (Dec.) 338–342
- [6] Engen G. F.: A transfer instrument for the intercomparison of microwave power meters. IRE Transaction on Instrumentation. T. 9. (1960) (Sept) 202–208
- [7] Engen G. F.: Coaxial power meter calibration using a waveguide standard. Journal of Research of the NBS—C. Engineering and Instrumentation 70C (1966) 2. 127–138