

## TERMOELEM-HŐMÉRŐK

(Elméleti összefoglaló)

### Alapfogalmak, meghatározások

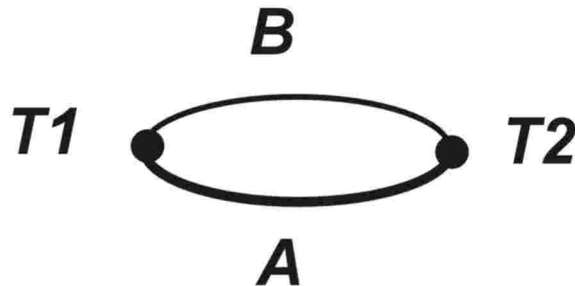
A termoelektromos átalakítók hőmérsékletkülönbség hatására villamos feszültséget szolgáltatnak. Ezért a termoelektromos jelátalakítók aktív átalakítók.

A termoelektromos átalakítók működési elvének megértéséhez:

Az 1. ábrán az A és B anyagi minőségű huzalok mindkét végét érintkezésbe hoztuk.

Az egyik érintkezési pont hőmérséklete:  $t_1$

A másik érintkezési pont hőmérséklete:  $t_2$



1. ábra

Elnevezések:

Az 1. ábrán látható kapcsolást termoelemnek (hőelemnek), a magasabb hőmérsékletű csatlakozási pontot **melegpontnak**, az alacsonyabb hőmérsékletű csatlakozási pontot **hidegpontnak** nevezzük.

$$U_{AB}(t_1) - U_{AB}(t_2) \neq 0$$

Ha az érintkezési helyek különböző hőmérsékleten vannak, a két fémvezető által létrehozott áramkörben villamos áram folyik. A vezetékben keletkező **elektromotoros erőt termofeszültségnek** nevezzük. A termofeszültség az érintkezési helyek hőfokkülönbségétől és az alkalmazott anyagpártól függ. Adott huzalpár esetén a termofeszültség csak a hőmérsékletkülönbség függvénye.

**A termofeszültség csak a választott anyagpártól és a csatlakozási pontok hőmérséklet különbségétől függ.  
A vezeték mentén kialakuló hőmérsékleteloszlástól független.**

**A termofeszültség hőmérséklet függése:**

A  $0\text{ }^\circ\text{C}$ -hoz viszonyított termofeszültség a következő egyenlettel adható meg:

$$U_{AB}(t, 0) = \alpha t + \frac{\beta}{2} \cdot t^2 + \frac{\gamma}{3} \cdot t^3$$

Az érzékenység:

$$\dot{E} = \alpha + \beta \cdot t + \gamma \cdot t^2$$

Látható: Az érzékenység függ a hőmérséklettől, ennek megfelelően a termofeszültség a hőmérséklet nemlineáris függvénye. Az  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$  állandók meghatározása mérés útján történik. A három ismeretlen kiszámításához három pontban kell a termofeszültséget mérni.

1. TÁBLÁZAT

**Különböző fémek és ötvözetek termofeszültsége a kémiailag tiszta platínával 0 és 100 °C között.**  
Bármely két fémből alkotott termoelem feszültségét a két fém táblázati feszültségének különbsége adja.

**Termopotenciális sor**

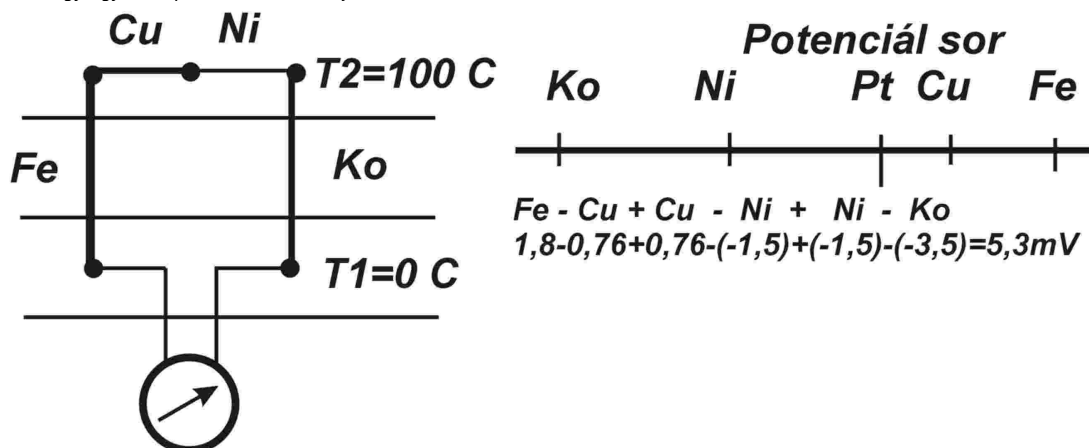
Megnevezés	Jel. ill. összetétel	Termoelektro-mos feszültség [mV]	Alkalmazási hőmérsékletek [°C]		Olvadás-pont [°C]
			tartós	rövid	
Alumínium	Al	+0,40			658
Alumel	95% Ni+5%(Al, Si, Mg)	-1,02...-1,38	1000	1250	1450
Iridium	Ir	+0,65	1200	1800	2350
Kadmium	Cd	+0,90			321
Kobalt	Co	-1,68...-1,76			1490
Konstantán	60%Cu+40%Ni	-3,5	600	800	1250
Kopel	56%Cu+44%Ni	-4,0	600	800	1250
Kromel	90%Ni+10%Cr	-2,71...-3,13	1000	1250	1450
Manganin	84%Cu+13%Mn+2%Ni+1%Fe	+0,8			910
Nikkel	Ni	-1,50...-1,54	800	1100	1452
Nikróm	80%Ni+20%Cr	+1,5...+2,5	1000	1100	1500
Platina	Pt	0,000	1300	1600	1770
Platinairídium	90%Pt+10%Ir	+1,3	1000	1200	
Platinaródium	90%Pt+10%Rh	+0,64	1300	1600	
Réz (tiszta)	Cu	+0,76	350	500	1083
Réz	Cu	+0,75	350	500	
Ródium	Rh	+0,64			1967
Szén (grafit)	C	+0,25	2000	2500	3570
Szilícium	Si	+44,8			1420
Tellur	Te	+50,0			350
Vas (tiszta)	Fe	+1,80	600	800	1530
Vas	Fe	+1,87	600	800	1400
Wolftram	W	+0,79	2000	2500	3400

**A termoelemek készítését és használatát meghatározó törvények:**

1. **Homogén áramkörök törvénye:** Termoelektromosan egyenmű fémekből álló áramkörben csak a hőmérsékletkülönbség hatására nem keletkezik termofeszültség.

**A termofeszültség csak a választott anyagpártól és a csatlakozási pontok hőmérséklet különbségétől függ. A vezeték mentén kialakuló hőmérséklet-eloszlástól független.**

2. **Közbenső vezetők törvénye:** Ha a két vezető közé egy vagy több közbenső, fémet építünk, s a csatlakozások hőmérséklete azonos és állandó, akkor a közbenső fém jelenléte nem befolyásolja a termofeszültséget. Ezt nevezik úgy, hogy termikus rövidzár. A törvény megértését egy egyszerű példával szemléltetjük:



2. ábra



Ebből a tételből két fontos mérés technikai következtetés adódik:

1. Termoelemek gyártásakor a termoelemet képező anyagok csatlakozási pontja forrasztható (3. ábra)
2. Ha a termofeszültség mérésére használt mérőműszer termikus rövidzár, akkor a műszer anyaga (kapcsok, tekercs stb.) nem befolyásolja a termofeszültség nagyságát. A termofeszültség mérésének legegyszerűbb módját a 3. ábrán látjuk.

**3. Közbenső hőmérsékletek törvénye:** A több különböző homogén fémeket tartalmazó áramkörben létrejövő termoelektromos erők algebrai összege a csatlakozási pontok hőmérsékletének függvénye.

Ha a hőmérséklet nem állandó – másodlagos (parazita) feszültségek keletkeznek.

Járulékos termofeszültség nem keletkezik, ha az inhomogenitások szakaszok végpontjai azonos hőmérsékleten vannak

**A termoelemes körben folyó áram hatásai:**

1. Az ellenállások (a huzalok és a műszer) melegeknek (**Joule-hatás**).
2. Az érintkezési pontok hőmérséklete úgy változik, hogy az a termofeszültséget létrehozó hőmérséklet különbséget csökkenteni igyekszik (**Peltier-hatás**).

A Peltier-hatás azt jelenti, hogy a melegebb érintkezési pont lehűl, a hidegebb érintkezési pont felmelegszik. Az áram fenti hatásai mérési hibát okoznak, ezért pontos mérésnél törekedni kell az áram csökkentésére.

Az áram csökkenthető:

- a. nagy belső ellenállású műszer alkalmazásával,
- b. kompenzációs feszültség-mérési módszerekkel.

**A termoelemek anyagai:**

fém,  
félvezető.

A gyakorlatban ma fémekből készült termoelemeket használnak. Az anyagkiválasztás fő szempontjai:

1. lehetőleg nagy érzékenység
2. széles alkalmazási hőmérséklettartomány
3. korrózióállóság
4. stabil és reprodukálható mérés biztosítása.

A fémek kiválasztását megkönnyíti az úgynevezett termopotenciál-sor ismerete. A termopotenciál-sort az egyes fémek és a tiszta platina között fellépő termofeszültség alapján állították fel. A 1. táblázatban az egyes anyagok és a platina között 0°C-100°C hőmérsékletkülönbség hatására fellépő termofeszültségeket találjuk.

A termoelemek által szolgáltatott feszültség: néhány mV/100 °C.

A termoelemek belső ellenállás: néhány ohm.

Szabvány szerint: A termoelemes körök meleg ellenállását\* a műszer felől nézve kiegészítő ellenállással 20 ohmra kell beállítani.

A félvezető anyagokból, valamint a fém-félvezető kombinációkból felépített termoelemek nagy előnye, hogy érzékenységük jóval nagyobb (~10 szerese), mint a fémből készült termoelemeké, de

nemlineárisak  
nem eléggé stabilak.

A leggyakrabban használt termoelem anyagpárosításokat és jelölésüket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

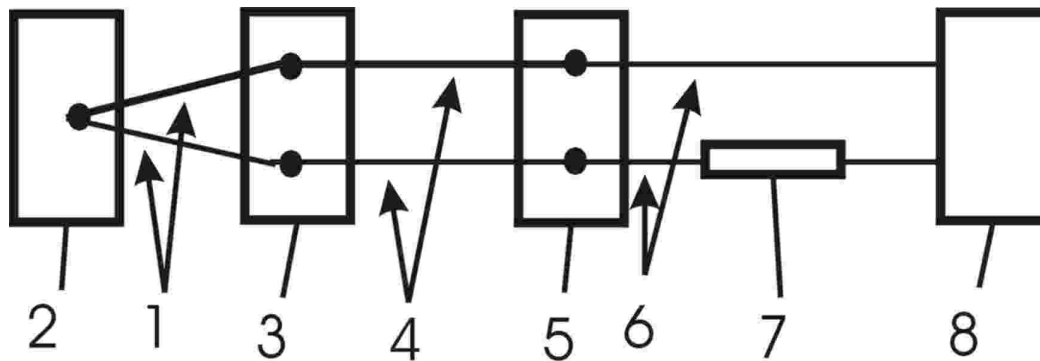
## 2. TÁBLÁZAT

TIPUS	TERMOELEM	ALKALMAZÁSI TARTOMÁNY °C	TERMOFESZÜLTÉG ΔT=100°C-ra [mV]
T	Cu-Ko*	-200...600	4,25
J	Fe-Ko*	-200...900	5,37
K	NiCr-Ni	-200...1200	4,04
S	PtRh-Pt	0...1500	0,64

\*Ko=Konstantán (60% Cu+40% Ni)

\* A meleg ellenállás a felmelegedett huzal ellenállása, ami -természetesen- nagyobb, mint a hidegellenállás. A huzalok hővezetőképessége következtében ugyanis mérés alatt a termoelem anyaga felmelegszik

A **termoelemes** (hőelemes) **mérőkör elemei**:



1. Hőelem-huzalpár (pozitív és negatív szál)
2. Érzékelési pont
3. Csatlakozási hely
4. Kompenzációs vezeték (pozitív és negatív szál)
5. Hidegpont
6. Mérővezeték
7. Vezetékkiegészítő ellenállás
8. Jelfeldolgozó egység (mérő-, regisztráló-, szabályozó-műszer, távadó stb.)

### 3.ábra

## A termoelemek alkalmazásának mérés technikai problémái

A hidegpont hőmérsékletének változása.

A mérendő "melegponti" hőmérsékletet mindig a hidegponti hőmérséklethez viszonyítva tudjuk csak mérni, ezért a hidegponti hőmérsékletet állandó értéken kell tartani. Mivel a hidegponti hőmérséklet változása mérési hibát okoz, biztosítani kell, hogy a hidegponti hőmérséklet változása elhanyagolható legyen. A hidegpontot a mérés helyétől távol, külön műszerszobában, stabilizáltan szokták kialakítani. Ezekben az esetekben problémát okozhatnak a hosszú összekötő vezetékek. Ilyenkor kompenzáló vezetéket alkalmazunk.

**A kompenzáló vezeték olyan ötvöztött anyagpár, melynek termoelektromos tulajdonságai 0-200 °C között megegyeznek a termoelemével.**

Olyan olcsó, kis fajlagos ellenállású anyagból készül, amely nem hoz létre inhomogenitást, termoelektromos szempontból, vagyis járulékos termoelem nem jön létre.

A kompenzáló vezetéket bevezetjük a kis hőmérséklet ingadozású mérőhelyiségbe, s ott alakítjuk ki a hidegpontot. A hidegpont után rézvezetékekkel köthetjük be a mérőműszert.

## Dinamikus tulajdonságok

A termoelemek -kis tömegük miatt- önmagukban kedvező dinamikai tulajdonságokkal rendelkeznek: időállandójuk néhány másodperc. Alkalmazásokban a termoelemet -a külső hatások elleni védelem érdekében- védőszerelvényekben helyezik el. A védőszerelvények jelentősen megváltoztatják a termoelemek kedvező dinamikai tulajdonságait.

Megállapítjuk: A védőszerelvénybe helyezett termoelemes mérés dinamikai tulajdonságait alapvető módon a védőszerelvény kialakítása határozza meg.

## A termofeszültség mérési módszerei

A termoelemek általában csekély feszültséget szolgáltatnak, ezért mérésükhöz igen érzékeny, nagy belső ellenállással rendelkező műszerekre van szükség. Három alapvető eljárást különböztetünk meg:

## Feszültségmérés állandó mágneses műszerrel

(Deprez-rendszerű milivoltmérők)

Az állandómágneses voltmérős mérőműszer általában áramot mér.

Ha a kör ellenállása állandó, a műszer árama azonos a feszültséggel. A műszer kitérése:

$\alpha$  a kitérés,  $k$  arányossági tényező,  $U$  mérendő feszültség.

$$\alpha = k \cdot U$$

A termoelem elektromos ereje  $U$ , összellenállása  $R$ .

A műszer belső ellenállása  $R_M$ .

A körben folyó áram:

$$I = \frac{U}{R + R_M}$$

A műszer kapcsain létrejövő feszültség:

$$U_M = \frac{R_M}{R + R_M} \cdot U = U - \frac{R}{R + R_M} \cdot U$$

A műszerre tehát kisebb feszültség jut, mint az elektromotoros erő.

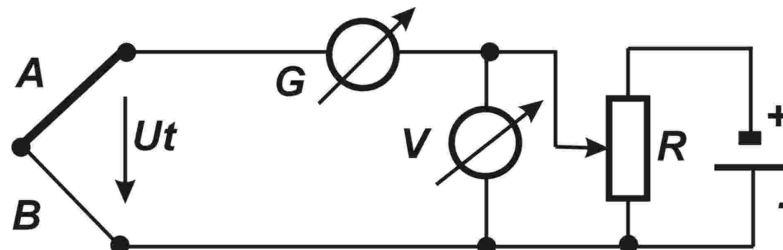
Ha  $R \ll R_M$ , akkor  $U_M \sim U$

A hiba csökkenthető, ha a műszer skálázásánál egy meghatározott vezetékellenállást veszünk figyelembe. Értékét a skálán feltüntetjük ( $R_V$ ).

A magyar gyártmányú műszereknél ez rendszerint  $20\Omega$ , de szokásos kisebb érték is.

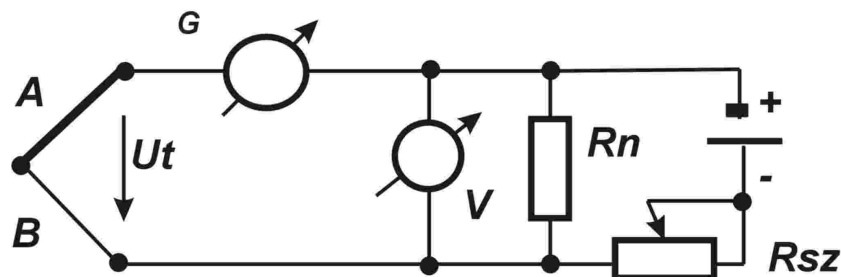
## Feszültségmérés egyenáramú kompenzátorral

Valamely ismeretlen  $U$  feszültség mérhető úgy, hogy vele ismert értékű  $U_k$  feszültséget kapcsolunk szembe (4. ábra). Az  $U_k$  feszültséget a kompenzátor szolgáltatja. A feszültségek egyenlősége esetén a közbeiktatott érzékeny galvanométer nem jelez áramot. Áram nem folyik, olyan mintha a kompenzátor végtelen nagy ellenállású lenne. A kompenzátorok legfőbb előnye, hogy a feszültséget terhelés nélkül mérik.



4. ábra

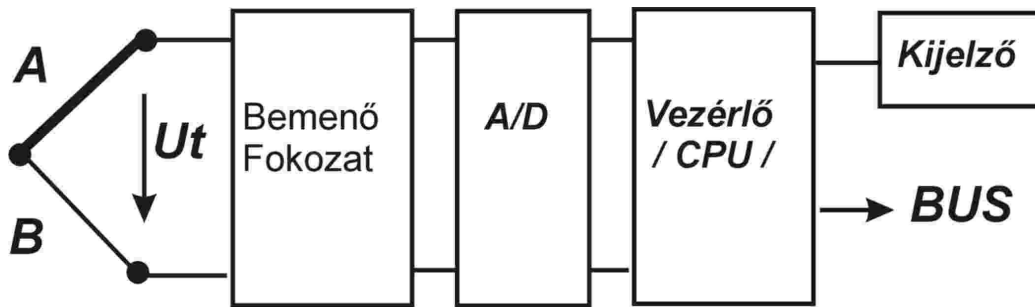
A kompenzáló  $U_k$  feszültséget a kompenzátorok mindegyike ismert ellenálláson átfolyó ismert áram által létesített feszültségeséssel állítja elő. Az egyik legegyszerűbb kompenzációs kapcsolás (5. ábra) a **Lindeck-Rothe** kompenzátor.



5. ábra

Az  $U_k$  kompenzáló feszültséget  $R_n$  etalonellenálláson állítják elő,  $R_{sz}$  szabályozható ellenállás segítségével. Amikor a galvanométer nullát jelez, a termoelem elektromotoros ereje megegyezik az  $R_n$  etalonellenálláson eső feszültséggel.

## Digitális feszültségmérők



6.ábra

Korszerű digitális egyenfeszültség-mérő (DVM) blokkvázlata látható a 6.ábrán. A termoelem feszültségét a bemenő fokozat fogadja. A fokozat lényeges eleme a bemenő erősítő. Az erősítő bemeneti impedanciája  $10^7$ - $10^{12} \Omega$  nagyságrendű lehet. Ez annyira kis bemeneti áramot jelent, hogy gyakorlatilag elhanyagolható, a termoelem elektromotoros erejét tudjuk mérni. A bemenő erősítő erősítését a mérendő feszültség függvényében a vezérlő egység állítja be. A bemeneti egység kimenő jelét az analóg-digitális átalakító alakítja át digitális információvá. A vezérlő egység a jelet feldolgozza és továbbítja a kijelző, és más egységek felé. A vezérlő egység ismeri a különböző termoelem karakterisztikákat, s így hőmérsékletre konvertálva adja tovább a mérési értéket.

Az elérhető pontosság jelenleg  $\pm 0,001\% \pm 1$  digit.

### Termoelemek fajtái és felhasználásuk

#### Milyen típusai vannak a termoelemeknek?

Különböző fém párokból alkotott termoelemek állnak rendelkezésünkre. A négy leggyakrabban használt típus a J, K, T és az E. Minden típus különböző hőmérséklet tartományban és különböző környezeti feltételek között alkalmazható, bár a maximális hőmérsékletet főként az alkalmazott fémdrót átmérője határozza meg.

#### Hogyan válasszunk termoelemet?

A különböző termoelemek igen széles hőmérséklettartományban képesek mérni, jól bírják a mechanikai és egyéb igénybevételeket, ezért igen elterjedt ipari alkalmazásuk.

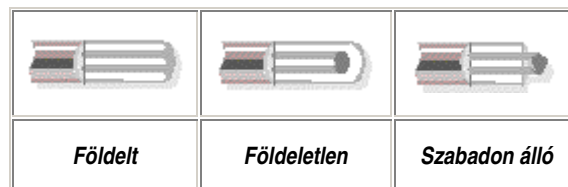
#### A feladatra legmegfelelőbb termoelem kiválasztásának szempontjai:

- A hőmérséklet tartomány
- A termoelem kémiai ellenállósága, ill. a szükséges védőburkolat alkalmazhatósága
- Kopás és rázkódás védelem

A beilleszthetőség feltételei (a beépítendő termoelemek meg kell felelnie a már meglévő berendezéseknek. A rendelkezésre álló furatok átmérőjét előbb meg kell határozni).

#### Szempontok a termoelem- kialakítás kiválasztásához

A védőburokkal ellátott termoelemek 3 különböző kialakítással kerülnek forgalomba: földelt, földeletlen, szabadon álló.



A földelt kialakítású érzékelő esetében a termoelem drótok csatlakozási pontja a védőburkolat csúcsához van erősítve. Ennek eredményeképpen biztosított a jó hőáram a falon át a környezet és az érzékelő között.

A földeletlen kialakítású érzékelőnél a termoelem csatlakozó pontja és a fal nem érintkezik. A mérés reakcióideje hosszabb, mint a földelt esetében, de biztosítottá válik bizonyos fokú elektromos szigetelés.



**A szabadon álló** kialakítású termoelem drótjainak csatlakozó pontja, a mérőpont, ki van vezetve a védőburkolat csúcsánál. Ennél a konstrukciónál érhető el a legjobb válaszdő (reakcióidő), de az alkalmazhatósága igen behatárolt: csak nem korrozív, nem túlnyomásos közegben alkalmazható.

#### **Időálló (Válaszdő, Felfutási idő)**

Időálló az az időtartam, mely alatt a test és környezete közötti hőmérsékletkülönbség az eredeti „e”-ed részére csökken. (A hőmérő hőmérséklete elérte a végleges érték 63,2 %-át.). A szabadon álló kialakítású termoelemek biztosítják a legrövidebb időálló, válaszdőt. A kisebb átmérőjű termoelemek válaszsideje rövidebb, de a mérési tartományuk felső határa általában alacsonyabb.

Néha a burkolt mérőszonda nem képes ugyanazt a hőmérséklettartományt elviselni, mint a termoelem.

Anyag	Max. hőmérséklet	Alkalmazási környezet			
		Oxidáló	Hidrogén	Vákuum	Inert gáz
304 SS	900 °C	Nagyon jó	Jó	Nagyon jó	Nagyon jó
Inconel 600	1148 °C	Nagyon jó	Jó	Nagyon jó	Nagyon jó

#### **Hőszigetelés:**

Általában a magnézium-oxid a legelterjedtebb. A villamos szigetelésre jellemző szám az ellenállás (drót-drót, ill drót-hüvely között), amely legalább 1.5 M Ohm, 500 V-os feszültségű egyenáram esetén, bármely átmérőre.

#### **Hajlítás:**

Egyes típusok könnyen hajlíthatók, alakíthatók. A hajlítási sugár a csőátmérőnek legalább kétszerese legyen.

#### **A termoelemek kialakítása**

A földelt kialakítású termoelemek nyugvó és áramló korrozív gázok, folyadékok és nagy nyomású közegek hőmérsékletének mérésére alkalmasak. Ezeknek a termoelemeknek a csatlakozási pontja a védőburok csúcspontjához van hegesztve, amely - mint, már fentebb is említettük - gyorsabb reakcióidőt biztosít, mint a földeletlen kialakításúak.

A földeletlen kialakítású termoelemeket olyan korrozív közegek esetén alkalmazzuk, melyek esetében fontos az érzékelő villamos szigetelése is a fizikai védelem mellett. A szigetelőanyag általában finom magnézium-oxid por.

A szabadon álló (kivezetett) kialakítású termoelemeket nyugvó vagy áramló nem korrozív közegek hőmérsékletének mérésére használjuk, abban az esetben, ha a rövid reakció idő elsőrendű fontosságú. A két drót csatlakozó pontja a védőburkon túl nyúlik, így biztosítva a gyors és egyben pontos mérést. A mérési hibát okozó szennyeződések és gázok beszivárgásának elkerülése érdekében a kivezetésnél a védőburok légmentesen zárt.

#### **Termoelem referencia táblázat**

Betűjel	Összetétel	Hőmérséklet tartomány
J	Vas - Konstantán	-200°C ... 490°C
		500°C ... 1190°C
K	Chromega® - Alomega®	-260°C ... 290°C
		300°C ... 840°C
		850°C ... 1370°C
S	Platina-10% Ródium - Platina	-40°C ... 540°C
		550°C ... 1140°C
		1150°C ... 1760°C
T	Réz - Konstantán	-260°C ... 390°C



**Ellenőrző kérdések:**

1. Mi a termoelektromos átalakító (termoelem, hőelem) ?
2. Mitől függ a termofeszültség és mitől független?
3. Mi a termopotenciális sor?
4. Homogén áramkörök törvénye?
5. Közbenső vezetők törvénye (termikus rövidzár) ?
6. Közbenső hőmérsékletek törvénye?
7. A termoelemes körben folyó áram hatásai?
8. Termoelemek anyagai, anyagválasztás szempontjai?
9. Leggyakrabban használt termoelem anyagpárosítások és jellemző adataik?
10. A termoelemek mekkora feszültséget adnak?
11. Ismertesse a termoelemes mérőkör elemeit!
12. Kompenzáló vezeték?
13. Milyen termofeszültség mérési módszereket ismer?
14. Feszültségmérés egyenáramú kompenzátorral?
15. Digitális feszültségmérők?
16. Termoelem kiválasztásának szempontjai?
17. Hasonlítsa össze a termoelem kialakításokat!
18. Időálló, válaszíró?

**A mérés célja:** A termoelem hőmérséklet-feszültség kalibrációs függvényének meghatározása.

**A mérés menete:** A rendelkezésre álló termoelem referenciapontját (hidegpontját) jég-víz keverékbe mártjuk, az érzékelő részt pedig a rendelkezésre álló száraz-termostátok furataiba tesszük ütközésig.

Minden egyes mérési pontnál gondosan megvárjuk a stabil állapotot és ekkor olvassuk le a keletkezett termofeszültséget a digitális egyenfeszültség-mérőről (DVM)

A méréseket 0-100 °C tartományban végezzük.5-10 °C lépésekben.

A mérési eredményeket táblázatban rögzítjük.

t [°C]	0	5	10	15	20	25					
U[mV]											

**A mérési eredmények kiértékelése, a kalibrációs görbe meghatározása:**

- Ábrázoljuk a kalibrációs görbét!
- Becsüljük meg a mérési hibákat!
- A mérési pontokra legjobban illeszkedő egyenes, parabola meghatározása ( legkisebb négyzetek módszerének alkalmazásával.
- A kapott eredményeket hasonlítsuk össze a termoelem katalógus adataival!

**Lehülési és felmelegedési időálló meghatározása:**

- Jég-víz keverékből helyezze át a hőmérőt 100 °C-os termostátba.
- Vegye fel a felmelegedési görbét és határozza meg az időállandót!
- A folyamatot megfordítva vegye fel a lehülési görbét és a lehülési időállandót!