

# NASVETI

## Uporaba termoelektričnega hlajenja v vakuumski tehniki in drugje

Termoelektrični pojavi so bili odkriti že v prejšnjem stoletju (Seebeck 1821, Peltier 1834, Kelvin 1856), vendar so jih začeli bolj intenzivno uporabljati šele v drugi polovici tega stoletja. Razmeroma učinkovite generatorje in hladilnike pa je bilo mogoče graditi šele z nastopom polprevodnikov. Kljub velikim obetom in investicijam pa je prišlo do stagnacije, kajti termoelektrični hladilniki niso zdržali konkurence "freonskih" hladilnih naprav, ki so občutno cenejše in sposobnejše, zanesljivejše in trajnejše. Danes se termoelektrično hlajenje uporablja le v zelo specifičnih primerih, ki jih bomo navedli kasneje.

Če se omejimo le na obravnavanje termoelektričnega hlajenja s Peltierovimi (izg. Peltjejevimi) členi, potem moramo najprej poskusiti na kratko in preprosto razložiti ta pojav, brez enačb.

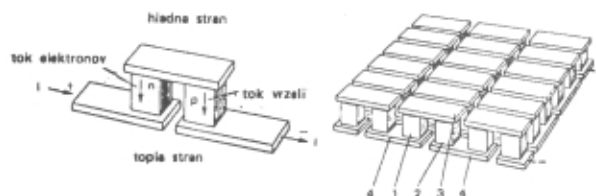
Vsi dobro poznamo in tudi pogosto uporabljamo termočlene za merjenje temperature. To sta dve kovinski žici iz različnih materialov (prevodnikov), ki sta na enem koncu spojeni (točkasto zvarjeni), med druga dva konca pa priključimo občutljiv voltmeter ali galvanometer. Če je temperatura na (zvarjenem) spoju npr. večja, kot tista na drugem koncu žic, potem se tam pojavi enosmerna termoelektrična napetost, ki jo izmerimo z voltmetrom. Ta pojav imenujemo Seebeckov efekt. Termoelektrično hlajenje pa temelji na nasprotnem pojavu. Če namreč namesto voltmetra priključimo izvir enosmerne napetosti, bo stekel skozi žici tok, spoj na drugi strani pa se bo začel greti (Joulov efekt) oz. hladiti (Peltierov efekt), odvisno od smeri enosmernega toka. Osnovna razlika med Joulovim in Peltierovim efektom je v tem, da je prvi nepovratni proces (gretje) in je sorazmeren kvadratu jakosti električnega toka (ne glede na njegovo smer), drugi pa je odvisen od smeri in jakosti toka. Ostaja še tretji termoelektrični pojav, ki ga imenujemo Thomsonov efekt, vendar ga tu ne bomo obravnavali.

Pri razlagi termoelektričnih pojavov smo se naslonili na prevodnike. Če pa uporabimo namesto njih polprevodnike, npr. dva polprevodnika p- in n- tipa, in ju vežemo v termočlen, se termonapetost močno poveča, kar velja v obrnjenem smislu tudi za Peltierove člene, kjer se en spoj hladi, drugi pa greje. Nastalo temperaturno razliko lahko povečamo tudi s kaskadno vezavo več Peltierovih členov. V takem primeru hladni del prve stopnje odvzema toploto vročega dela druge kaskadne stopnje itd. Končna stopnja lahko doseže nižjo temperaturo ali, drugače povedano, temperaturna razlika

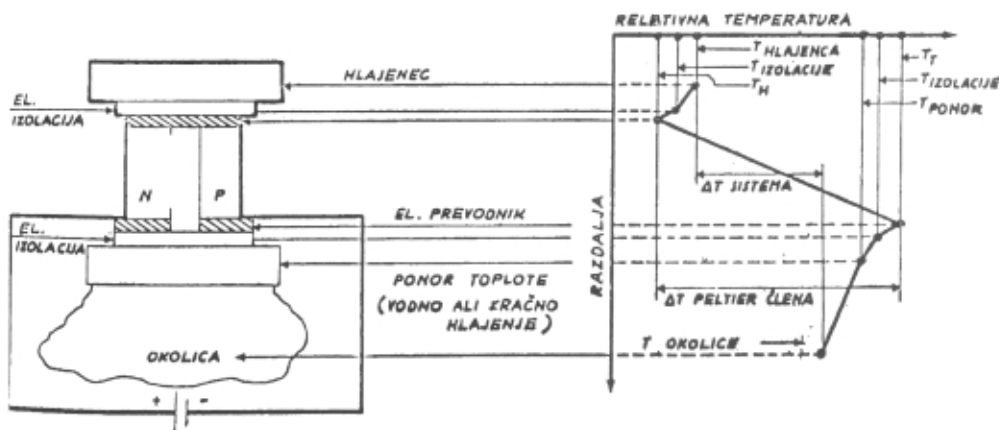
kaskade se poveča. Praktično je smiselno vezati Peltierove člene v dve kaskadni stopnji, ker se celotni izkoristek z večanjem stopenj močno zmanjšuje.

Peltierov člen, narejen iz dveh polprevodnikov n- in p-tipa je shematsko prikazan na sliki 1, poleg pa je narisana še temperaturni diagram. Spoj, ki se ohlaja, je narisana na zgornji strani. Polprevodnika (P,N) povezuje ponikljana bakrena ploščica (prevodnik; kontaktna upornost čim manjša), nad njo pa je električno izolirna ploščica (navadno sljuda), ki mora imeti čim večjo toplotno prevodnost, tako da je odzvem toplote iz objekta (hlajenca) čim večji. Na spodnji strani polprevodnika, razumljivo, ne smeta biti spojena, saj je vsak izmed njiju povezan z bakreno žico na svoj pol enosmerne napetosti. Ker pa se ta del greje, je treba toploto odvesti preko električno izolirne ploščice, ki pa sicer dobro prevaja toploto, na kovinski (aluminijev) blok, ki ga hladimo zračno, najbolje pa vodno. Naj pri tem še povemo, da mora imeti material, iz katerega je izdelan Peltierov člen, čim večji Seebeckov koeficient (V/K) in električno prevodnost in čim manjšo termično prevodnost. Tem zahtevam za zdaj še najbolj ustreza bizmutov telurid  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , ki ga lahko dopiramo in tako dobimo p- (dodatek broma) ali n- (dodatek arzena) tip polprevodnika. Termoelektrične lastnosti so močno odvisne od kristalne orientacije, zato je bilo potrebnih veliko raziskav, da so dobili sprejemljive karakteristike.

Podjetja izdelujejo Peltierove člene v tipiziranih oblikah (npr. NORTON, Nemčija), navadno v obliki bloka (hladilne baterije), kot je shematsko prikazano na sliki 2. Za ponazoritev naj navedemo nekaj podatkov za Peltierov blok dimenzij 27,5 x 53 x 4,3 mm (dolžina x širina x debelina), v katerem je povezanih 36 p- oz. n-vej v 18 Peltierovih členov. Pri optimalnem enosmernem toku 9A (napetost 4V) je moč



Slika 2: Shematski prikaz Peltierovega člana in bloka  
1 in 2 polprevodniška elementa  
3 mostič, hladna stran  
4 mostič, topla stran



Slika 1: Shematski prikaz Peltierovega člana in značilni temperaturni potek

hlajena 20W pri temperaturi toplega dela 45 °C. Maksimalna temperaturna razlika, ki jo lahko dosežemo s tem blokom, je 60K. Maksimalna temperatura tople ali hladne strani je 70 °C, mejna 90 °C, pri temperaturi nad 100 °C pa se že tali spajka (Bi), ki spaja preko bakrenega mostiča dve veji termočlena oz. na drugi strani bakreno ploščico s priključno žico. Peltierov blok stisnemo med dve aluminijasti plošči s predpisano silo, ker sicer lahko blok razpade oz. se zdrobi zaradi svoje prirojene krhkosti. Ena od teh plošč je hlajena z vodo, druga pa hladi objekt. Obe morata biti električno izolirani glede na Peltierov blok s tanko plastjo sljude (pribl. 200 μm) in električno izolirno, toplotno pa prevodno silikonsko pasto, s katero sta premazani obe strani sljude. Mostiči so nikljani, ker je bilo ugotovljeno, da baker sčasoma difundira v bizmutov telurid in zmanjša učinkovitost člena (staranje).

Omenili smo že, da lahko z menjavo polaritete izvira oz. smeri električnega toka spoj hladimo ali grejemo, kar nam bi sicer omogočilo, da objekt enkrat grejemo, drugič hladimo. Vendar gretja proizvajalci Peltierovih hladilnih blokov ne priporočajo, ker lahko zaradi dobre toplotne izolacije temperatura na "hladnem" koncu hitro naraste nad kritično vrednostjo 100°C, kar uniči spoj. Proizvajalci navadno priložijo navodilom tudi nomograme, kjer uporabniki lahko izberejo režim delovanja Peltierovega bloka.

### Pregled uporabnosti termoelektričnega hlajenja

Področja, kjer se danes uporablja termoelektrično hlajenje, lahko združimo v štiri glavne skupine:

- elektronski sestavni deli
- temperaturni regulatorji
- komercialni hladilniki
- medicinski in laboratorijski instrumenti

#### Področje elektronskih sestavnih delov

1. Hladilne pasti in lovilniki par v visokovakuumskih sistemih
2. Kristali
3. Diskretne silicijeve komponente
4. Elektronski sistemi
5. Infrardeči detektorji
6. Integrirana vezja
7. Laserji
8. Detektorji nuklearnega sevanja
9. Parametrični ojačevalniki
10. Fotopomnoževalke
11. Vidikoni

#### Področje temperaturnih regulatorjev

1. Termostati
2. Izolirne posode
3. Posode za preskušanje integriranih vezij
4. Hladilne kopeli

#### Področje komercialnih hladilnikov

1. Avionski hladilniki za vodo
2. Hladilniki za kreme
3. Razstavne omarice za prehranske izdelke
4. Priprave za izdelavo ledenih kock
5. Hladilniki za fotografske raztopine
6. Hladilne košarice za piknike
7. Restavracijski hladilni pulti
8. Mali hladilniki (shranjevalniki za živilske izdelke)

#### Področje medicinskih in laboratorijskih instrumentov

1. Krvni koagulatorji
2. Hladne sonde
3. Rosiščni higrometri
4. Mikroskopske mizice
5. Prevozniki hladilniki za zdravila
6. Kirurški instrumenti

V splošnem je danes stanje v svetu tako, da pri komercialnih hladilnikih, predvsem pri večjih stabilnih hladilnih napravah, še vedno prevladujejo konvencionalne naprave, ki delujejo

na temelju izparevanja tekočin, pri čemer se odjemlje toplota iz okolice oz. hladilnega prostora.

### Prednosti termoelektričnih hladilnikov ter hladilne izgube

Katere odlike ima termoelektrično hlajenje? Najprej, velikost. Členi se lahko tesno prilagodijo tudi malim objektom, ki jih želimo hladiti, lahko jih dodajamo ali odvezujemo po potrebi. Potrebna vhodna moč je lahko prilagodljiva glede na spreminjajoče se sproščanje toplote iz objekta. Moč za hlajenje se dovaja preprosto, po dveh žicah. Ker ni gibljivih delov ali delov, ki bi bili podvrženi mehanski obrabi, ker ni korozivnih tekočin ali plinov oz. kemičnih snovi, ki so ekološko nesprejemljive (freoni), je zanesljivost delovanja termoelektričnih naprav velika, vzdrževanje pa skoraj ni potrebno. Regulacija je lahko daljinska, kajti termoelektrični člen in toplotni ponor morata biti tik ob hlajeni površini, vse druge regulacije pa so lahko daleč stran.

V splošnem je temperaturno področje termoelektričnih hladilnikov do -100°C, regulacija temperature pa je mogoča z enostavnimi električnimi vezjem.

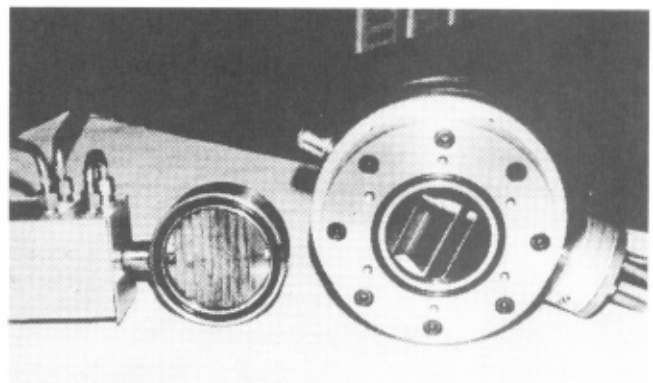
Slabe strani pri vseh hladilnih napravah pa so nekoristne izgube zaradi kondukcije, konvekcije in sevanja.

### Termoelektrični lovilnik par (sl. 3)

Uporaba termoelektričnega hlajenja v vakuumski tehniki oz. vakuumskih tehnologijah je raznovrstna. Največ pa se ta način hlajenja uporablja pri termoelektričnih lovilnikih par oz. pasteh v povezavi z visokovakuumskimi difuzijskimi črpalkami. Kot je znano, uporabljamo lovilnike za omejevanje oz. preprečevanje dostopa povratnih oljnih par iz difuzijske črpalke v vakuumsko komoro, kjer bi kondenzirane pare motile tehnološki proces. Lovilniki so navadno v obliki hlajenih lovilnih reber. Če je hlajenje vodno, potem je njihova najnižja temperatura taka, kot je tista, ki jo ima vodovodna voda (npr. 10°C). Pri termoelektričnem hlajenju tudi potrebujemo vodno hlajenje, vendar toplega dela Peltierovega bloka, kar pa je zunaj vakuuma. Dosežemo pa lahko precej nižje temperature hladilnih reber, in sicer do -20°C. Težava pri tem je, da moramo hladni konec Peltierovega bloka speljati s čim manjšimi toplotnimi izgubami v vakuum do hladilnih reber, kar pa je zahteven konstrukcijski problem.

S tem prispevkom želimo bralce le spomniti, da obstajajo tudi termoelektrični hladilniki, ki se jih da kdaj tudi koristno uporabiti v vakuumu in drugje. Navrgli pa smo tudi nekaj stvari za boljše razumevanje njihovega delovanja.

Dr. Jože Gasperič  
Institut "Jožef Stefan"  
Jamova 39, 1000 Ljubljana



Slika 3: Termoelektrična lovilnika par