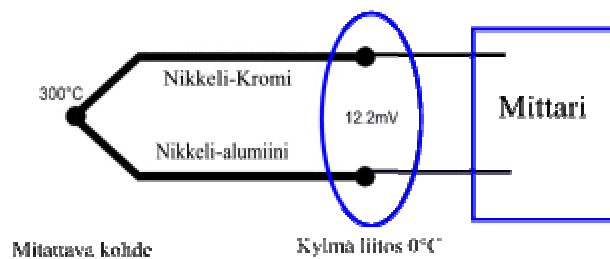


# Termopari lämpötila-anturina

Termoparit (Termoelementit, Thermocouples) ovat eniten käytettyjä lämpötila-antureita. Ne ovat halpoja, pitkälle standardoituja ja niillä on laaja lämpötila-alue. Niitä pidetään epätarkkoina, mutta hyvällä suunnittelulla päästään parempaan kuin 0,5 °C tarkkuuteen. Termoparianturien rakenne on yksinkertainen ja niistä on helppo rakentaa pieniä antureita. Käytännön mittaustehtävissä useimmiten ongelmana on saada anturi riittävän lähelle mitattavaa lämpötilaa kuin itse anturin absoluuttinen tarkkuus. Esimerkkinä ilman lämpötilan mittaaminen, jossa tarvitaan hyvin pienimassaista anturia, jottei mittauksen suorittaminen veisi pitkiä aikoja.

## Termoelementin toiminta

Termoelementin toiminta perustuu Seebeckin ilmiöön (Virolainen fyysikko Thomas Seebeck keksi ilmiön vuonna 1822), jossa kahden eri metallin liitoksessa syntyy jännite, joka on riippuvainen lämpötilasta. Tämä pätee miltei kaikille metalleille, mutta vain muutamia standardityyppiä käytetään, koska niiden jännitteet ovat stabiileja ja ne antavat suhteellisen suuria jännitteitä lämpötilan funktiona. Alla oleva kaavio kuvaa K-tyyppin termoparia, joka eniten käytetty termopari.



Termopari mittaa aina lämpötilaeroa mitattavassa kohteessa olevan liitoksen ja mittarin luona olevan liitoksen ("kylmä liitos") välillä. Kylmän liitoksen kohdalla termoparin edustamat metallit yleensä muuttuvat kuparijohtimiksi. Standardit ilmoittavat termoparin tuottaman jännitteen, kun kylmä pää on 0 asteessa. Yleensä termopariin perustuvissa lämpömittareissa on kylmän pään lämpötila (kylmän pään kompensointi) otettu huomioon mittaamalla tämä lämpötila termistorilla, diodilla tai Pt-100 elementillä. Kohteen lämpötila saadaan lisäämällä kylmän liitoksen lämpötilaa vastaava termoparijännite mitattuun jännitteeseen ja lukemalla taulukosta tätä jännitettä vastaava lämpötila.

*Kylmän pään lämpötila voidaan lukea mittarilta oikosulkemalla termopariiliitin esim. paperiliit timellä (100001's sovellus paperiliit timelle!).*

Huomaa, että jos mitattava kohde on samassa lämpötilassa kuin kylmä liitos, on jännite 0 ja mittaustulokseksi saadaan kylmän liitoksen lämpötila. Pienillä lämpötila-eroilla tuleekin kylmän pään lämpötilan mittauksen tarkkuus määrääväksi tekijäksi. Itse asiassa termoparijännite syntyy lämpötilamuutoksessa mitattavan kohteen ja kylmän liitoksen välillä. Jos johtimet kohteesta kylmään päähän joutuvat alttiiksi suurille lämpötilamuutoksille, voi tästä aiheutua virhettä mikäli termoparijohtimien materiaali ei ole täysin homogeenista. Kylmä pää voidaan kytkeä mittariin kuparijohtoilla, koska termoparimateriaalien liitoksissa kupariin syntyvät jännitteet kumoavat toisensa. Tämä tietysti edellyttää, että liitokset ovat samassa lämpötilassa. Termoparin antama jännite ei ole suoraan verrannollinen lämpötilaan vaan riippuvuus on epälineaarinen. Halvemmissa mittareissa käytetään analogisia linearisointi- ja kylmän pään kompensointimenetelmiä. Uusimmissa ja kalleimmissa mittareissa käytetään digitaalista

linearisointia, jolloin termoelementin taulukko on tallennettu muistiin. Tällä tavoin saavutetaan huomattava tarkkuuden parannus

Yksinkertaisin termoparianturi on kahden termoparimetallin liitos, joka on muodostettu liittämällä termoparikaapelin kuoritut johtimet yhteen kaapelin toisessa päässä. Liitos voidaan tehdä kiertämällä, juottamalla tai hitsaamalla. Periaatteeltaan kaikki termoparianturit on valmistettu tällä tavoin. Useimmiten kuitenkin varsinaiset anturit on tehty asentamalla itse termopari jonkinlaisen suojuksen sisään.

Antureiden lisäksi tarvitaan termoparikaapeli anturin ja mittalaitteen väliin ja kaapelien liittämiseen termopariliitin, joista ns. miniatyyriiliitin on tavallisin. Termoparikaapeli on suhteellisen kallista, koska siinä käytettävät materiaalit ovat kalliita. On myös kehitetty kompensointikaapeleita, joita voi käyttää termoparikaapelin sijasta rajatulla lämpötila-alueella kaapelin sijasta. Kaapelit ja liittimet on varustettu värikoodilla, jolla eri tyyppiset termoparit voidaan erottaa toisistaan.

Esimerkiksi vihreä on K-tyyppin termoelementin koodi.

[Eri termoelementtien värikoodit](#)

[K- termoelementin jännitetaulukko](#)




























Termopari	Soveltuvuus	Mittausalue (°C)
<b>B</b> Platina/ Rhodium	Soveltuu lämpötiloihin 1800 °C, Jännitevaste epälineaarinen, jonka vuoksi ei voi käyttää alle 50 °C lämpötiloissa. ( antaa saman jännitteen 0 asteessa ja 42 asteessa)	100..1800
<b>E</b> Chromel / Constantan	E-tyyppin herkkyys on suuri, noin 68 uV/°C. Käytetään alhaisissa lämpötiloissa. Ei magneettinen, jonka vuoksi käytetään erityissovelluksissa	-270..790
<b>J</b> Rauta / Constantan	Rajoitettu alue (-40 .. + 750 °C). Käytetään pääasiassa vanhoissa laitteissa.	-210..1050
<b>K</b> Chromel / Alumel	Yleisin termoparityyppi. Halpa ja laaja valikoima antureita alueelle -200 .. + 1200 °C. Herkkyys noin 40 uV/°C	-270..1370
<b>N</b> Nicrosil / Nisil	Uusi tyyppi, jonka lämpötila-alue menee yli K-tyyppin. ”Parannettu K- tyyppi”. Suosio ehkä kasvaa. Korvaa kalliit platinapohjaiset termoelementit.	-260..1300
<b>R</b> Pt/PtRh	Soveltuu lämpötiloihin 1600 °C saakka. Jännitevaste noin 10 uV/°C	-50..1760
<b>S</b> Pt/Rh	Soveltuu 1600 °C lämpötiloihin asti. herkkyys n. 10 u V /°C. Erittäin stabiili. Käytetään mm. kullan sulamispisteen määrittämiseen (1064.34 °C).	-50..1760
<b>T</b> Kupari/kupari- nikkeli	Pieni lämpötila-alue, mutta suuri jännitevaste.	-270..400

**Termoparien käytössä huomattavaa**

Termoparien käytössä on huomattava niiden erikoisominaisuudet. Seuraavassa muutamia huomioonotettavia asioita:

- **KytKentäongelmat:** Usein syntyy mittausvirhettä ylimääräisistä termopariliitoksista. Tämän vuoksi signaali on vietävä mittarille aina käyttäen samaa termoparimateriaalia mittarille saakka kaapeleissa ja liittimissä. On myös huomattava pitää huolta johtojen napaisuuden oikeellisuudesta.
- **Johtoresistanssi:** Termoparit rakennetaan yleensä ohuista johtimista, jolloin saavutetaan lyhyet vasteajat. Termopari kaapeleineen voi tällöin edustaa suurta resistanssia, jolloin myös indusoituneet häiriöt kasvavat. Myös mittarin tuloimpedanssi voi aiheuttaa virheitä. K-tyyppin termopareille on olemassa kompensointikaapelia, jonka resistanssi on pienempi ja jota voi käyttää varsinaisen termoparikaapelin sijasta jos joudutaan siirtämään termoparin signaali pidempiä matkoja.
- **Termoparin koostumuksen muutos:** Korkeissa lämpötiloissa termopariin voi siirtyä vieraita aineita ilmasta diffuusion kautta. Myös termoparin eristemateriaalista voi tulla epäpuhtauksia. Nämä vaikuttava termoparin jännite/lämpötilavasteeseen.
- **Vieraat jännitteet ja virrat termoparikaapelissa.** Termoparin antama jännite on hyvin pieni. Varsinkin pitkiä kaapeleita käytettäessä niihin voi siirtyä ympäristön potentiaalieroja (esimerkiksi jos termoparin mittauspää on eristämätön). Myös kaapeliin voi indusoitua suuriakin häiriöjännitteitä. Näiden eliminointi edellyttää tarkkaa mittausjärjestelyn suunnittelua.
- **Mittaustilanteessa on termopari saatettava mitattavaan lämpötilaan.** Termoparilla on määrätty massa, jonka lämmittämiseen (tai jäädyttämiseen) tarvitaan energiaa. Tämä energia otetaan mitattavasta kohteesta, josta seuraa, että kohteen lämpötila muuttuu. Anturin massan on siis oltava paljon pienempi kuin mitattavan kohteen massan. Mikäli halutaan, että anturin lämpötila saadaan 1% tarkkuudella mittauskohteen lämpötilaan, pitää anturin massan olla alle 1 % kohteen massasta.
- **Anturin aikavakio kuvaa nopeutta, jolla anturi pystyy seuraamaan ympäristön lämpötilaa.** Aikavakio riippuu anturin massasta ja sen kyvystä johtaa lämpöä. Jos ei toisin ole mainittu tarkoittaa aikavakio sitä aikaa joka kuluu kun anturin ja kohteen välinen lämpötilaero on pienentynyt 37 %:iin alkuperäisestä. erosta. Jos ilmoitetaan aikavakio 90 %:n aikavakiona, tarkoitetaan aikaa, jossa lämpötilaero on pienentynyt 10 %:iin alkuperäisestä.
- **Ilman lämpötilan mittaus on erityisen vaikeaa, koska ilman massa on hyvin pieni, 1 litra ilmaa painaa vain gramman.** Anturin massan tulee olla mahdollisimman pieni. Anturin ympärille rakennetut mekaaniset suojukset ovat ongelmallisia, koska niiden on myös saavutettava mitattavan ilman lämpötila ennen kuin saadaan stabiileja lukemia. Erinomaiseksi ilman lämpötila-anturiksi on osoittautunut yksinkertainen termoparilanka, jonka päät on hitsattu (tai juotettu) yhteen mahdollisimman pieneksi liitokseksi.

## Termoparien värikoodit

Tyyppi	Materiaali	BS1834 	ANSI MC 98.1 	DIN 43714 	IEC584 
<b>U</b> Kompensointi R ja S Tyypeille	+ Kupari - Kupari- Nikkeli				
<b>J</b>	+Rauta -Konstantaani				
<b>K</b>	+ Nikkeli- Kromi - Nikkeli- alumiini				
<b>Vx</b> Kompensointi K tyypille	+Kupari -Konstantaani				
<b>T</b>	+ Kupari -Konstantaani				
<b>E</b>	+Nikkeli- Kromi - Konstantaani				
<b>N</b>	+ Nicrosil - Nisil	