

# **ELEC-C3210**

## **Materiaalien ominaisuudet**

**Harjoitus 4**

**Markku Sopanen**

Termodynamiikan tehtävissä tärkeintä on miettiä, mitkä yhtälöt / yhteydet ovat voimassa. Tämän jälkeen tehtävät ovat yleensä matemaattisesti helppoja.

Joten oppimisen kannalta kannattaa yrittää tehdä tehtäviä ensin itse, ja vasta 1. yrityksen jälkeen katsoa vinkit.

Isobaarisessa prosessissa  $W = pV$ . Lisäksi tarvitaan lämpömäärä, joka saadaan lämpötilan muutoksesta (yksiatomiselle ideaaligasulle  $C_p = \frac{5}{2}R$ ). Ensimmäisestä pääsäännöstä saadaan nyt sisäenergian muutos.

Isokoorisessa prosessissa sisäenergian muutos on suoraan lämpömäärä, joka saadaan taas lämpötilan muutoksesta.

Seuraavaksi kannattaa laskea arvot koko kiertoprosessissa. Työ on suoraan  $pV$ -diagrammin kolmion pinta-ala. Lisäksi, kun alku- ja lopputila on sama, niin ideaalikaasulle sisäenergian muutos on nolla.  $Q$  saadaan 1. pääsäännön avulla.

Viimeisen prosessin työ on suoran alle  $pV$ -diagrammissa jäävä pinta-ala (miinusmerkkinen). Sisäenergioiden yhteismuutos on nolla.  $Q$  saadaan 1. pääsäännön avulla.

a) Typpikaasu oletetaan kaksiatomiseksi ideaalikaasuksi ( $\gamma = 1,40$ ). Ensin isobaarisessa prosesissa ( $p = \text{vakio}$ ) lasketaan ideaalikaasun tilayhtälön avulla loppulämpötila. Sitten käytetään adiabaattisen prosessin tietoa, että  $TV^{\gamma-1}$  on vakio, josta saadaan lämpötila sen prosessin lopussa.

b) Tämä on helpoin laskea suoraan viimeisen, isokoorisen prosessin avulla. Kun  $V$  on vakio, on suhde  $T/p$  myös vakio.

- a) Isotermisten prosessien työ saadaan integroimalla  $dW = p dV$  yli prosessien (käyttämällä ideaalikaasun tilayhtälöä). Adiabaattisten prosessien työ saadaan suoraan ideaalikaasun sisäenergian muutoksesta, kun lämmönvaihto on nolla.
- b) Laske a-kohdan työt yhteen. Tämän lisäksi tarvitaan yhtälöt  $pV = \text{vakio}$  (isotermiset)  $pV^\gamma = \text{vakio}$  (adibaattiset) yhdistämään kaikki arvot pisteissä 1 – 4.

c) Isotermisessä prosessissa AB  
ideaalikaasulle sisäenergian muutos on nolla,  
joten tuotu lämpömäärä  $Q_1$  on sama kuin  
prosessin tekemä työ (laskettu a-kohdassa).

a) Laske entropia molemmille kappaleille määritelmän mukaan. Koska systeemi on eristetty, lämpömäärän muutos on molemmille kappaleille sama. Tästä saadaan yhtälö, joka sitoo  $T$ :n ja  $T'$ :n.

b) Saatu yhtälö derivoidaan  $T$ :n suhteen ja merkitään nollaksi. Huomaa, että derivointi on helpompaa, jos laskee a-kohdan muodosta, jossa on sekä  $T$  että  $T'$ . ( $T'$  on oletettava  $T$ :n funktioksi, eli sen funktion derivaatta tarvitaan myös.)