



Lämpöoppia

Haarto & Karhunen



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

www.turkuamk.fi

Lämpötila

- Lämpötila suuren atomi- tai molekyylijoukon ominaisuus
- Liittyy kiinteillä aineilla aineen atomeiden lämpöliikkeeseen (värähtelyyn) ja nesteillä ja kaasuilla liikkeisiin
- Atomien ja molekyylien keskimääräinen nopeus ja kiinteillä aineilla keskimääräinen lämpövärähtelyn suuruus ovat verrannollisia lämpötilaan, aineen sisäiseen liike-energiaan.
- SI-järjestelmän mukainen perusyksikkö (termodynaaminen lämpötila) on kelvin (K) ja johdannaisyksikkö celsiusaste (°C)

$$t = (T - 273,15 \text{ K}) \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{K}}$$

- Yhdysvalloissa yleisesti käytetty yksikkö on fahrenheit (°F)

Lämpötilan mittaaminen

- Neste-lasi-lämpömittari
 - Nesteen lämpölaajeneminen
- Kaksoismetallilämpömittari
 - Aineilla erilainen lämpölaajeneminen, jolloin lämpeneminen aiheuttaa taipumista
- Vastuslämpömittarit
 - Metallit (Platina), lähes lineaarinen riippuvuus
 - Lämpöpari, lähes lineaarinen riippuvuus
 - Puolijohteet, epälineaarinen riippuvuus

- Sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvat
 - Infrapunalämpömittarit
 - Lämpökamerat
 - Pyrometri
 - korkeat lämpötilat
- Kaasulämpömittarit
 - Tilavuus on vakio, jolloin paine kasvaa lämpötilan kasvaessa

Lämpölaajeneminen

- Aineissa atomien väleillä on värähtelyä, joka kasvaa lämpötilan kasvaessa. Silloin atomien keskinäinen etäisyys kasvaa ja aine laajenee.
- Pituuden muutos $\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$
- Pituus $l = l_0 + \Delta l = l_0 (1 + \alpha \Delta T)$
 - α on pituuden lämpötilakerroin
 - l_0 on alkuperäinen pituus
 - ΔT on lämpötilan muutos

- Pinta-ala $\Delta A \approx 2\alpha A_0 \Delta T$
- Tilavuus $\Delta V = \alpha_V V_0 \Delta T \approx 3\alpha V_0 \Delta T$
- α_V on tilavuuden lämpötilakerroin

- **Lämpötilan vaikutus tiheyteen**

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0(1+3\alpha\Delta T)} = \rho_0 \frac{1}{1+3\alpha\Delta T} \approx \rho_0(1-3\alpha\Delta T)$$

- Tiheys siis pienenee lämpötilan kasvaessa
- Poikkeuksena vesi, jolla suurin tiheys on lämpötilassa 4 °C

Pituuden lämpötilakertoimia

Aine	Pituuden lämpötilakerroin [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
Pii	2,5
Alumiini	23,2
Kupari	16,8
Teräs	12
Betoni	12
Lasi	8
Polystyreeni	60 ... 80

Esimerkki

- Kuinka monta prosenttia kuparipallon tilavuus kasvaa, kun sitä lämmitetään $55,5\text{ }^{\circ}\text{C}$?

$$\Delta T = 55,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 17 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\alpha_V \approx 3\alpha = 51 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\Delta V = \alpha_V V_0 \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \alpha_V \Delta T \approx 51 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot 55,5\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 0,0028$$

Vastaus : 0,28 %

Lämpömäärä

- **Lämpömäärä Q** on lämpötilaeron johdosta kuumasta kylmään kohteeseen siirtyvä energia.
- Lämpömäärän yksikkö on joule, J

Ominaislämpökapasiteetti

- Jokaisella aineella ja niiden olomuodoilla on niille ominainen lämpömäärä, joka tarvitaan nostamaan 1 kg massan lämpötilaa 1 K.
- Tätä verrannollisuuskerrointa, joka liittyy massan ja lämpötilan muutoksen lämpömäärään, sanotaan **ominaislämpökapasiteetiksi**, c
- Kappaleen massan lämmittämiseen tarvittavaa lämpömäärä

$$Q = mc\Delta T$$

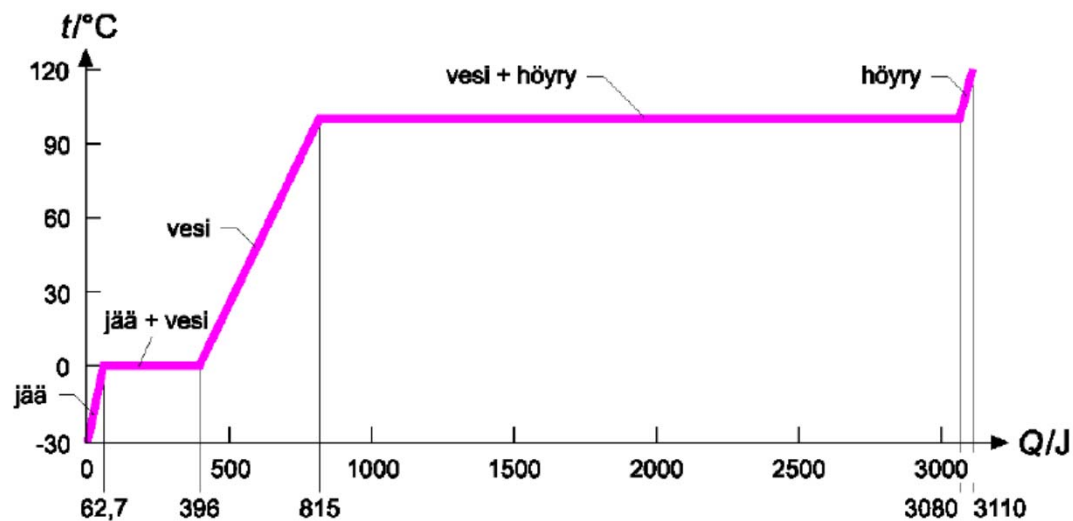
- m on massa
- ΔT on lämpötilan muutos
- Ominaislämpökapasiteetin yksikkö: $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ tai $\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Aineiden ominaislämpökapasiteetteja

Aine	C [kJ/kgK]
Vesi	4,190
Jää	2,10
Etanoli	2,428
Elohopea	0,14
Alumiini	0,90
Hopea	0,234
Kupari	0,39
Lyijy	0,13
Rauta	0,47

Olomuodon muutokset

- Olomuodon muutoksissa energiaa siirtyy, mutta lämpötila ei muutu
 - Sulamispisteessä: jähmettyminen, sulaminen
 - Kiehumispisteessä: tiivistyminen, höyrystyminen
 - Sublimoitumispisteessä: härmistyminen, sublimoituminen



- Jokaiselle aineelle omat ominaislatenttilämmöt sulamiselle l_s ja höyrystymiselle l_h
- Ominaislatenttilämpöjen avulla voidaan laskea massa m olomuodon muutoksessa tarvittava lämpömäärä $Q = ml$
- Olomuodon muutosasteessa energian varastointimahdollisuus

Ominaislatenttilämpöjä

Aine	Sulamispiste [°C]	l_s [kJ/kg]	Kiehumispiste [°C]	l_h [kJ/kg]
Happi	-218,8	13,8	-183,0	21,3
Vesi	0,00	334	100,0	2260
Alumiini	660	398	2450	11400
Kupari	1083	134	1187	5060
Lyijy	327	24,5	1750	870

Kalorimetria

- Kalorimetrisissa laskuissa käytetään lämpöenergiaa
- Aineeseen tulevat lämpömäärät positiivisia ja lähtevät negatiivisia
- Olomuodon muutoksessa ei aina tiedä tapahtuuko muutos osassa vai koko ainemäärässä. Alkuperäistä oletusta voi joutua korjaamaan, jolloin laskuja joutuu uusimaan

- **Systeemi pyrkii tasapainoon, jossa kaikkialla on sama lämpötila**

Esimerkki

- Juomalasiin, jossa on 0,20 kg lämpötilassa 22 °C olevaa mehua, pudotetaan 22 g lämpötilassa 0 °C olevaa jäätä. Mikä on juoman lämpötila tasaantumisen jälkeen?

$$m_j = 0,022 \text{ kg}$$

$$m_m = 0,20 \text{ kg}$$

$$T_{1j} = 0 \text{ °C}$$

$$T_{1m} = 22 \text{ °C}$$

$$c_v = 4,190 \text{ kJ/kg°C}$$

$$l_s = 334 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = l_s m_j + c_v m_j (T_2 - T_{1j}) + c_v m_m (T_2 - T_{1m}) = 0$$

$$T_2 = \frac{c_v m_j T_{1j} + c_v m_m T_{1m} - l_s m_j}{c_v (m_j + m_m)} \approx 12 \text{ °C}$$

Lämpöenergian siirtyminen

Konvektio

- Nesteet ja kaasut ovat yleensä huonoja lämmönjohteita.
- Nesteiden ja kaasujen virtauksella voidaan kuitenkin siirtää lämpöenergiaa tehokkaasti.
- **Konvektio** on ainevirtausta lämpöenergian siirtämiseksi
- **Vapaa konvektio** tapahtuu luonnollisen tiheyseron takia
- **Pakotettu konvektio** syntyy esim. vesipumpun avulla

- Konvektiossa tapahtuvan virtauksen aiheuttama lämpövirta

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \frac{mc\Delta T}{t} = q_m c\Delta T$$

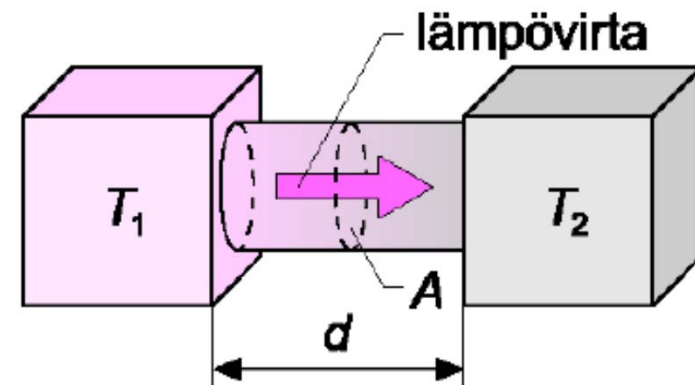
- missä Q on siirtyvä lämpömäärä ja q_m on massavirta, yksikkö kg/s
- Konvektion aiheuttaa yleensä lämpötilaero
 - Merivirrat
 - Tuulet
- Pakotetun konvektion pumppu tai puhallin

Johtuminen

- Aineessa lämpö leviää törmäysten ja lisääntyvän värähtelyn avulla.
- Lämpövirta

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \lambda \frac{A\Theta}{d}$$

- missä A on pinta-ala,
- d on ainekerroksen paksuus,
- $\Theta = T_1 - T_2$ on lämpötilaero,
- λ on aineen lämmönjohtavuus [W/Km]



Aineiden lämmönjohtavuuksia

Aine	λ [W/Km]
Kupari	360
Vesi	0,59
Ilma	0,026
Ikkunalasi	0,8
Havupuu	0,14
Polyuretaani	0,03

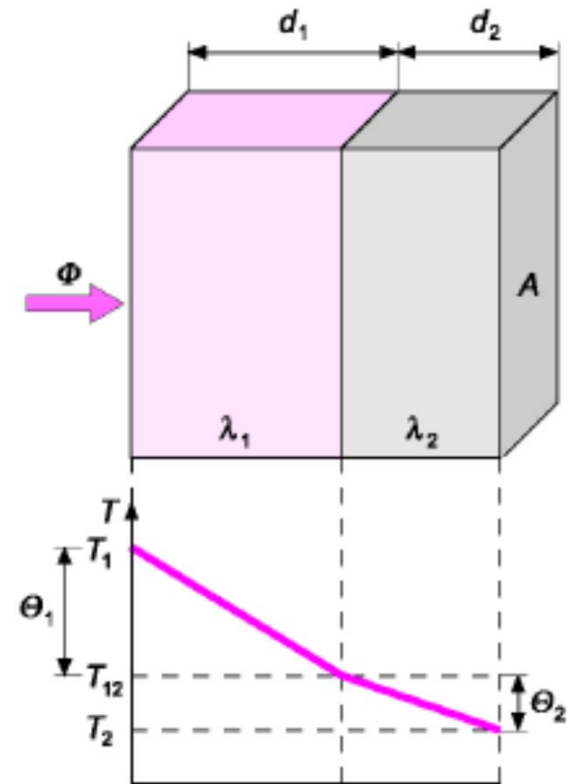
- Lämpövirta voidaan kirjoittaa muotoon

$$\Phi = \frac{A\Theta}{\frac{d}{\lambda}}$$

- Jos tasokerroksia on useita, niin saadaan lämpövirraksi

$$\Phi = \frac{A\Theta}{\sum_i \frac{d_i}{\lambda_i}} = \frac{A\Theta}{\sum_i R_i}$$

- missä R_i käytetään nimityksiä tasokerroksen lämmöneristyskerroin, lämpövastus tai lämmöneristävyys



- Usein käytetään rakenteelle ***U*-arvoa**, joka on nimeltään myös lämmönläpäisykerroin

$$U = \frac{1}{\sum_i R_i}$$

- Siten lämpövirta voidaan kirjoittaa

$$\Phi = UA\Theta$$

- missä Θ on lämpötilaero koko rakenteen läpi

Lämpöenergian siirtyminen aineiden rajapinnassa

- Lämpöenergian siirtymisen nopeus aineiden rajapinnan yli riippuu pinnan laadusta, asennosta, virtaavasta aineesta ja virtauksen nopeudesta.

Esimerkki

- Asunnon lämpötila on 20 °C ja ulkoilman lämpötila -20 °C. Talon sisä- ja ulkoseinä on 12 mm paksua kuusilautaa ja niiden välissä on 18 cm polyuretaania. Kuinka suuri lämpövirta johtuu pinta-alaltaan 1,0 m² olevan seinän osan läpi.

$$d_p = 0,024 \text{ m}$$

$$d_u = 0,18 \text{ m}$$

$$\lambda_p = 0,14 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$$

$$\lambda_u = 0,03 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$$

$$\Theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = 1,0 \text{ m}^2$$

$$\Phi = \frac{A\Theta}{\frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{d_u}{\lambda_u}} \approx 6,5 \text{ W}$$

Säteily

- Kaikki kappaleet säteilevät
- Kappaleen säteilemisvoimakkuus

$$M = \frac{P}{A} \quad \text{yksikkö } \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- P on kokonaissäteilyteho
- A on pinta-ala

- Säteilemisvoimakkuus voidaan esittää muodossa

$$M = \varepsilon\sigma T^4$$

- jossa T on absoluuttinen lämpötila,

- σ on Stefan-Boltzmannin vakio $\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$

- ε on kappaleen pinnan emissiivisyys (0...1)

- Ideaalisen mustan kappaleen emissiivisyys on 1

- Emissiivisyys riippuu kappaleen materiaalista, lämpötilasta ja säteilyn aallonpituudesta

- Kappaleen säteilemä teho

$$P = \varepsilon \sigma A T^4$$

- Vastaavasti kappale absorboi ympäristöstä säteilyä teholla

$$P_0 = \alpha \sigma A T_0^4$$

- missä T_0 on ympäristön lämpötila,
- α on absorptiosuhde (0...1) (vrt. ε)
- **Kappaleen nettosäteilyteho** (usein $\alpha \approx \varepsilon$)

$$P_{netto} = \sigma A (\varepsilon T^4 - \alpha T_0^4)$$

Esimerkki

- Kirkkaina öinä auton tuulilasi havaitsee ympäröivää ilmaa kylmemmän taivaan, jolloin tuulilasi säteilee taivaalle enemmän energiaa kuin se saa sitä ympäristöstään
- Tuulilasin lämpötila voi tällöin olla n. 4 °C ympäristöään kylmempi
- Tällöin ilman maksimikosteus tuulilasin pinnan lähellä laskee ja vesihöyry saattaa tiivistyä tuulilasin pintaan.
- Jos tuulilasin pinta on riittävän kylmä, niin vesihöyry jäätyy sen pinnalle.