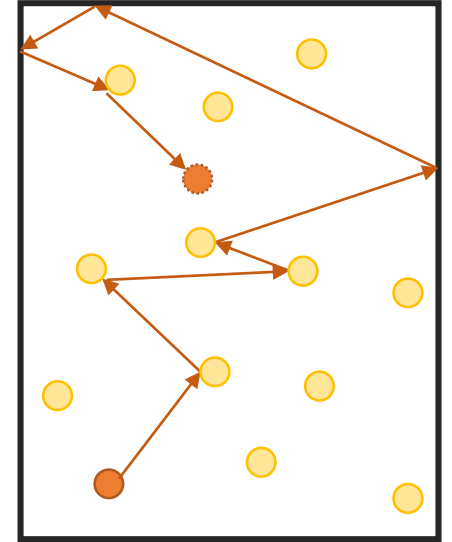


Ideaalikaasu ja reaalikaasu

- *Ideaalikaasu* on teoreettinen malli (yksinkertaistus) todellisista kaasuista eli *reaalikaasuista*
- Mallin oletukset:
 - Kaasumolekyylit ovat pistemäisiä (ei sisäistä rakennetta)
 - Molekyylit liikkuvat satunnaisesti ja suunnanmuutokset aiheutuvat vain törmäyksistä toisiin molekyyleihin tai säiliön seinämiin
 - Törmäykset ovat kimmoisia eli törmäävien molekyyliden yhteinen liike-energia säilyy (vrt. biljardipallojen törmäykset)
 - Molekyylit eivät vuorovaikuta toisiinsa muuten kuin törmäyksin
- Reaalikaasujen molekyylit eivät ole pistemäisiä, vaan niillä on tietty koko ja oma molekyylirakenteensa. (Monet kaasut ovat kaksiatomisia O_2 , N_2 jne.)
- Reaalikaasujen molekyylit vaikuttavat toisiinsa sähköisellä etävuorovaikutuksella.
- Kun paine on suuri, molekyyliden välimatkat pienenevät ja sähköisten vuorovaikutuksien merkitys kasvaa.
- Ideaalikaasumalli toimii sitä paremmin, mitä matalampi paine ja korkeampi lämpötila on.
- Normaaliosuhteissa useimmat reaalikaasut käyttäytyvät lähes kuten ideaalikaasu.



Kaasujen yleinen tilanyhtälö

- Kaasun tilaa voidaan kuvata lämpötilan T , paineen p ja tilavuuden V avulla.
- Kun (ideaali)kaasun määrä ei muutu, nämä suureet riippuvat toisistaan kaasun yleisen *tilanyhtälön* mukaisesti:

$$\frac{pV}{T} = \text{vakio} \quad \text{Muista kelvin-asteet!}$$

- Ideaalikaasulle voidaan määrittää yleisen tilanyhtälön vakion arvo ainemäärän avulla.
- Ideaalikaasun tilanyhtälö

$$\frac{pV}{T} = nR \quad \Leftrightarrow \quad pV = nRT,$$

missä vakio (*moolinen kaasuvakio*) $R = 8,314510 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} = 0,08314510 \frac{\text{bar}\cdot\text{dm}^3}{\text{mol}\cdot\text{K}}$

- Käytä vakion ensimmäistä muotoa silloin, kun sijoitat kaikki yksiköt perusmuodoissaan (Pa, m³, K). Toinen muoto on usein käyttökelpoisempi. Sen yksikkö kertoo, mitä yksiköitä pitää käyttää sijoittaessa lukuarvoja (bar, dm³, K).

Yo-tehtävä K2005/4

Sukeltajan paineilmapullossa on 11,0 litraa ilmaa 21,0 °C lämpötilassa ja 111 kPa:n paineessa. Pullo täytetään kompressorilla paineeseen 21,0 MPa, jolloin lämpötila pullossa nousee 42,0 °C:seen. Kuinka suuri on pulloon lisätyn ilman massa? Ilman näennäinen moolimassa on $29,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

Ratkaisu:

alkutila

lämpötila: $T_1 = 21,0 = 294,15 \text{ K}$

paine: $p_1 = 111 \text{ kPa} = 1,11 \text{ bar}$

Ilman ainemäärä $n_1 = ?$

lopputila

lämpötila: $T_2 = 42,0 = 315,15 \text{ K}$

paine: $p_2 = 21 \text{ MPa} = 210 \text{ bar}$

Ilman ainemäärä $n_2 = ? (> n_1)$

Kaasun tilavuus on koko ajan vakio $V = 11,0 \text{ l}$. Merkitään ilman moolimassa $M = 29,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

Käytetään ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$ ainemäärien laskemiseen.

Tässä $R = 0,08314510 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ on moolinen kaasuvakio.

(Kaavaa $\frac{pV}{T} = \text{vakio}$ ei voida tässä käyttää, koska ainemäärä n ei ole vakio.)

Ainemäärät saadaan kaavasta $n = \frac{pV}{RT}$, joten lisätyn kaasun ainemäärä on

$$\Delta n = n_2 - n_1 = \frac{p_2 V}{RT_2} - \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right).$$

Ainemäärät voisi myös laskea erikseen välituloksena, mutta siistimpi (ja tarkempi) tapa on laskea kirjaimilla mahdollisimman pitkälle.

Massan muutos (lisäys) saadaan moolimassan avulla:

$$\Delta m = \Delta n \cdot M = \frac{VM}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)$$

$$\Delta m = \frac{11,0 \text{ dm}^3 \cdot 29,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,08314510 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left(\frac{210 \text{ bar}}{315,15 \text{ K}} - \frac{1,11 \text{ bar}}{294,15 \text{ K}} \right)$$

Muista yksikötarkastelu!

$$\Delta m \approx 2542 \text{ g} \approx 2,54 \text{ kg.}$$

V: Lisätyn ilman massa on 2,54 kg.

Lämpöopin pääsäännöt

- 0. pääsääntö
 - Jos systeemit A ja C sekä B ja C ovat termisessä tasapainossa, niin silloin myös A ja B ovat tasapainossa.
 - Eristetyssä systeemissä eri lämpöiset kappaleet asettuvat lopulta samaan lämpötilaan.
- I pääsääntö
 - Systeemin sisäenergian muutos on systeemin ja ympäristön välillä lämpönä siirtyneen energian ja tehdyn työn summa
 - *Energian säilymislain* täydennys
- II pääsääntö
 - Eristetyn systeemin epäjärjestys eli entropia kasvaa (kunnes systeemi saavuttaa tasapainotilan)
 - Energiaa siirtyy lämpönä korkeammasta lämpötilasta matalampaan aina niin kauan kunnes saavutetaan lämpötasapaino
 - Epäjärjestys ei koskaan itsestään vähene
 - todennäköisyystulkinta: epäjärjestyneitä tiloja on suunnattomasti enemmän kuin järjestäytyneitä tiloja

Lämpökone

- *Lämpökone* on kone, joka voi luovuttaa tai vastaanottaa energiaa sekä lämmön että työn välityksellä
- Lämpökone toimii *kiertoprosessina*, niin että tietty tapahtumasarja (esim. veden kierto) toistuu jaksollisesti
- Lämpökoneita on kahta päätyyppiä:
- *Lämpövoimakoneet*
 - Polttomoottorit
 - Turvevoimala
 - Ydinvoimala
 - Höyrykone jne.
- *Lämmönsiirtokoneet*
 - Lämpöpumput
 - Jääkaappi



Loviisan ydinvoimala

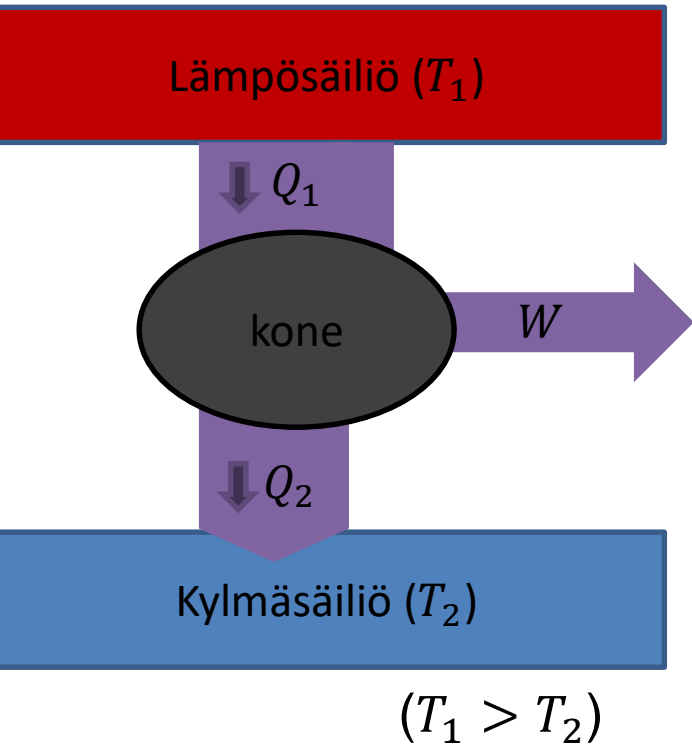
Lämpövoimakone

- Lämpövoimakoneessa lämpö Q muuttuu osittain (mekaaniseksi) työksi W
 - Toimintaedellytys on lämpötilaero
 - Tällöin energiaa siirtyy itsestään koneen läpi ja osa siitä voidaan hyödyntää
- Lämpövoimakoneen hyötysuhde

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

- Lämpövoimakoneen hyötysuhteen teoreettinen yläraja (ns. Carnot-hyötysuhde)

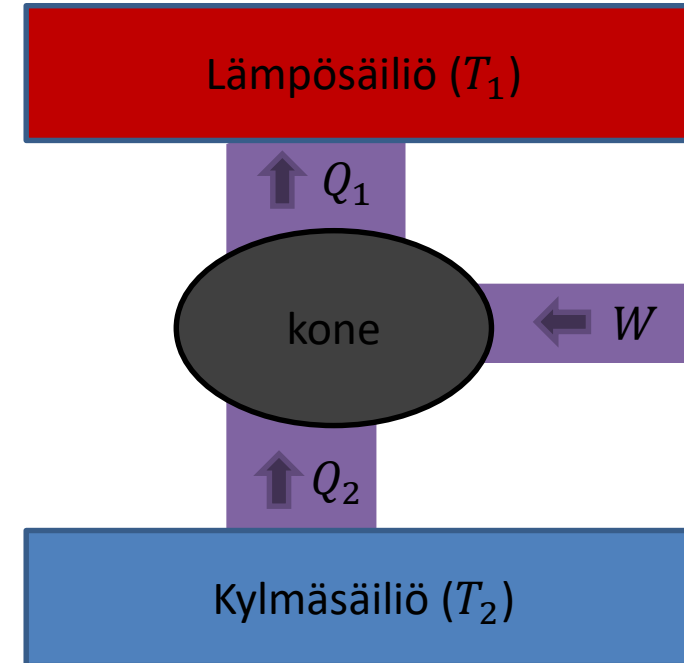
$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



Muista käyttää kelvin-asteita!

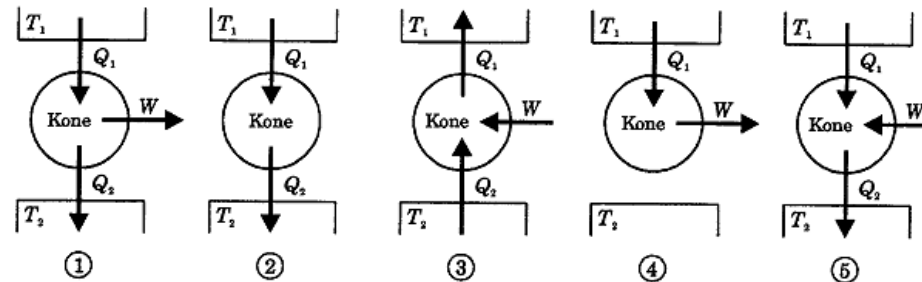
Lämmönsiirtokone

- Lämmönsiirtokone käyttää ulkopuolista energiaa siirtämään lämpöä kylmemmästä kuumempaan.
- Lämmityskäytössä lämpöpumppu ottaa lämpöä kylmäsäilöstä (ulkoilma tai maaperä) ja siirtää sitä lämpösäiliöön (asunnon sisälle)
- Vastaavalla tavalla jääkaappi ottaa lämpöä jääkaapin sisältä ja siirtää sitä jääkaapin ulkopuolelle.
- Jäähdytyskäytössä lämpöpumpun kylmäaine virtaa vastakkaiseen suuntaan. Kylmäsäiliönä on nyt asunnon sisätilat ja lämpösäiliönä ulkoilma tai maaperä.



Yo-tehtävä S2003/+16

- a) Selitä lämpöopin toinen pääsääntö ja lämpövoimakoneen toimintaperiaate.
- b) Jotkin oheisista kuvioista esittävät termodynaamisten koneiden energiavirtakaavioita. Q_1 ja Q_2 ovat koneen ja lämpösäiliöiden välillä siirtyviä lämpömääriä. Lämpösäiliöiden lämpötilat ovat T_1 ja T_2 ($T_1 > T_2$).

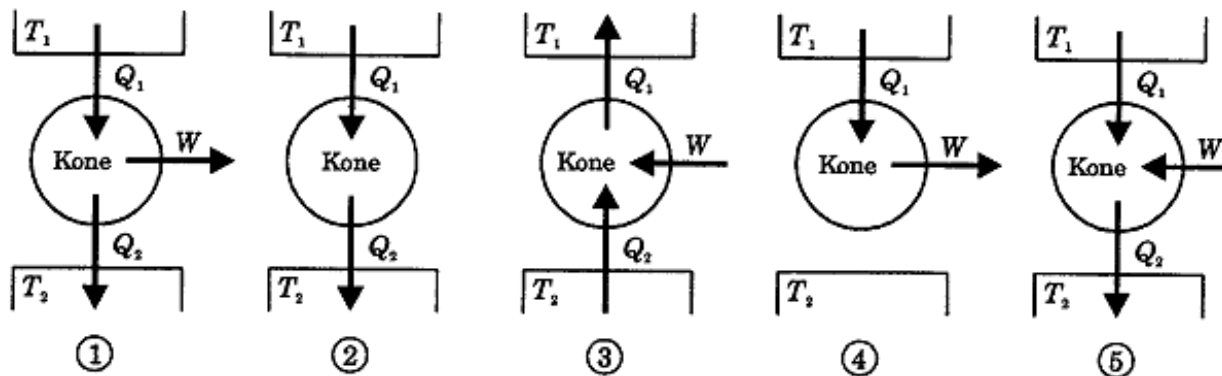


Perustelee: 1) Mikä kaavioista on toisen pääsäännön vastainen. 2) Mikä kaavioista voi esittää jääkaappia, kivihiiivoimalaa, lämpöpumppua, vesivoimalaa tai ydinvoimalaa.

- c) Miten voidaan selittää kivihiiivoimalan ja ydinvoimalan hyötysuhteiden erilaisuus?

- a) Lämpöopin toinen pääsääntö: Energiaa siirtyy lämpönä korkeammasta lämpötilasta matalampaan kunnes saavutetaan lämpötasapaino. Toisin sanoen Eristetyn systeemin epäjärjestys eli entropia kasvaa kunnes systeemi saavuttaa tasapainotilan.

Lämpövoimakone toimii jaksollisesti muuttaen lämpösäiliöiden lämpöeron $Q_1 - Q_2$ mekaaniseksi energiaksi. Kaaviokuva 1 kuvaa lämpövoimakonetta, jossa korkeammassa lämpötilassa T_1 olevasta säiliöstä siirtyy lämpöenergiaa alemassa lämpötilassa T_2 olevaan säiliöön. Lämpövoimakone hyödyntää osan tästä energiavirrasta eli erotuksen $W = Q_1 - Q_2$.



b) 1) Kaaviokuvassa 4 kone muuntaa kaiken lämpösäiliöstä ottamansa energian mekaaniseksi työksi. Kyseessä olisi ns. toisen lajin ikiliikkuja, joka on mahdoton lämpöopin 2. pääsäännön nojalla. Kaikkea systeemin sisäenergiaa ei voida muuttaa mekaaniseksi työksi, vaan osa muuttuu entropiaa lisäävien spontaanien ilmiöiden vuoksi "huonompaan" muotoon siirtyessään lämpönä ympäristöön.

2) Kaaviossa 3 siirretään energiaa ulkoisen työn avulla matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Kyseessä voi siis olla jääkaappi tai lämpöpumppu. Kivihiili- ja ydinvoimala ovat kaavion 1 mukaisia lämpövoimakoneita. Höyryturbiini ottaa lämpöenergiaa kuumasäiliöstä, tekevät mekaanista työtä ja siirtävät osan energiasta kylmäsäiliöön (lauhduttimen kautta). Mikään kaavio ei esitä vesivoimalaa, sillä se ei ole lämpövoimakone.

- c) Kivihiilivoimala ja ydinvoimala ovat lämpövoimakoneita, joiden hyötysuhteen teoreettinen yläraja on $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ (Carnot-hyötysuhde). Ydinvoimalassa kuumen höyryn lämpötila T_1 on turvallisuussyistä matalampi kuin kivihiilivoimalassa ja kylmäsäiliön lämpötila T_2 on teoriassa matalimmillaan ympäristön lämpötila, joka on molemmissa voimaloissa likimain sama. Lämpötilaero $T_1 - T_2$ on ydinvoimalassa pienempi kuin kivihiilivoimalassa, joten ydinvoimalan hyötysuhde on huonompi.