

# 8. Kaasun tilanmuutos vakiotilavuudessa tai vakio paineessa

## Harjoittele

### Tehtävä 8.1.

Väittämistä ovat oikein c) ja d).

Korjaukset vääriin väittämiin:

- a) Kaasun lämpötilan nousu kasvattaa kaasun sisäenergiaa
- b) Isokoorisessa tilanmuutoksessa tilavuus pysyy vakiona.
- e) Lämpötilan yksikköinä kelvineitä.  $T_1 = 10\text{ °C} = 283,15\text{ K}$

$$T_2 = 20\text{ °C} = 293,15\text{ K}.$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{293,15\text{ K}}{283,15\text{ K}} = 1,03531 \approx 1,04$$

Lämpötila 1,04 - kertaistuu.

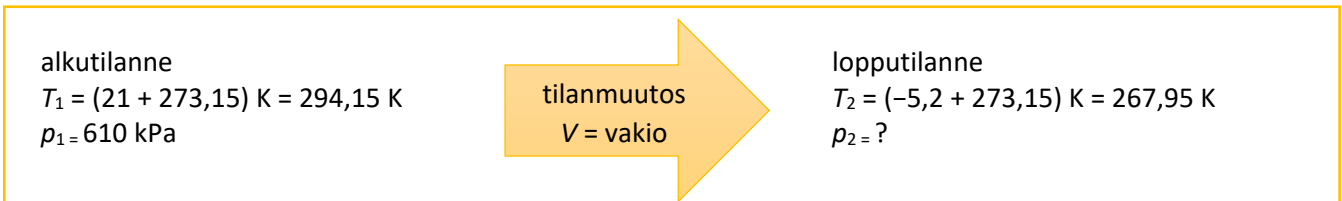
- f) Koejärjestelyjen avulla voidaan selvittää absoluuttisen nollapisteen lämpötila, mutta absoluuttisen nollapisteen lämpötilaa ei voi saavuttaa.

## Tehtävä 8.2.

- a) Kun hillopurkki jäähtyy, myös ilma purkin sisällä jäähtyy. Tilavuus pysyy vakiona, joten purkissa olevan ilman paine pienenee. Purkkiin syntyy siis alipaine eli ympäristöä pienempi paine.
- b) Pussissa olevan kaasun paine ei muutu, koska pussin tilavuus pääsee muuttumaan. Kun lämpötila laskee, leipäpussissa olevan ilman tilavuus pienenee ja pussi painuu kasaan.

### Tehtävä 8.3.

- a) Pullossa olevan hiilidioksidin paine pienenee, koska lämpötila laskee eikä tilavuus muutu.
- b) Lämpötilan lasku aiheuttaa paineen pienenemisen kaasupullossa.



Isokoorisen tilanmuutoksen yhtälöstä  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

voidaan ratkaista paine lopputilanteessa

$$p_2 = \frac{T_2 p_1}{T_1} = \frac{267,95 \text{ K} \cdot 610 \text{ kPa}}{294,15 \text{ K}} = 555,6672 \text{ kPa} \approx 560 \text{ kPa}.$$

Kun lämpötila on  $-5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , kaasupullossa on 560 kPa paine.

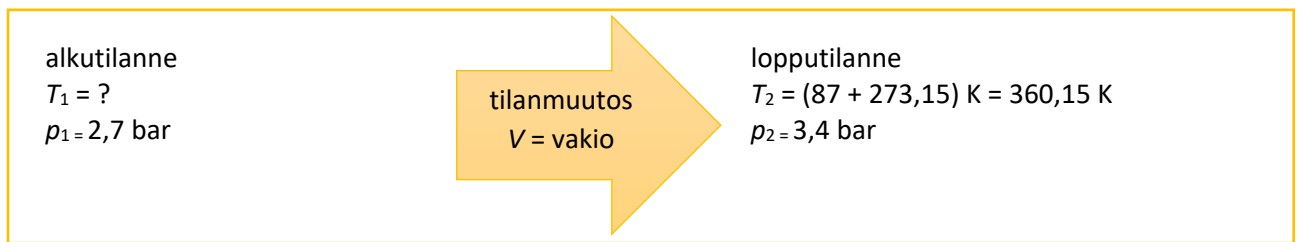
## Tehtävä 8.4.

a) Kaasun lämpötila on ollut alkutilanteessa matalampi.

Paine on suoraan verrannollinen kaasun lämpötilaan.

Koska paine on ollut aluksi matalampi, myös lämpötila on ollut matalampi.

b)



Ratkaistaan loppulämpötila isokoorisen tilanmuutoksen yhtälöstä

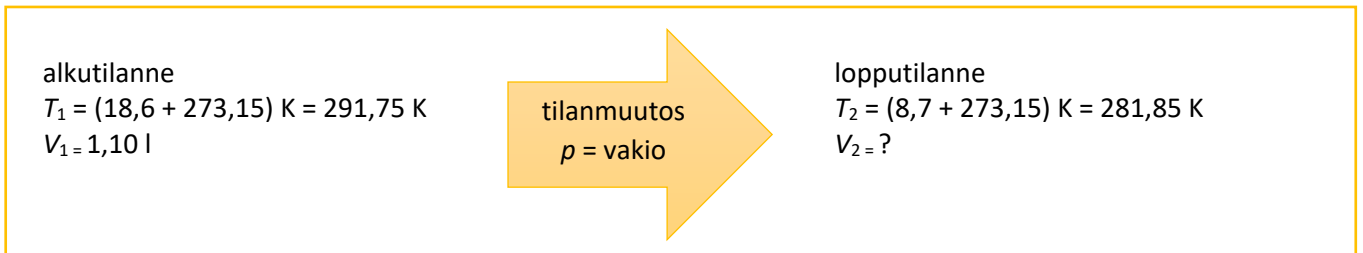
$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

$$T_1 = \frac{T_2 p_1}{p_2} = \frac{360,15 \text{ K} \cdot 2,7 \text{ bar}}{3,4 \text{ bar}} = 286,0015 \text{ K} = 12,8515 \text{ }^\circ\text{C} \approx 13 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Kaasun lämpötila alkutilanteessa on 13 °C.

## Tehtävä 8.5.

Pakastepussi puristuu hyvin kasaan, joten paine pussin sisällä pysyy vakiona. Kyseessä on siis isobaarinen tilanmuutos.



Isobaarisen tilanmuutoksen yhtälöstä  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  voidaan

ratkaista

tilavuus lopputilanteessa

$$V_2 = \frac{T_2 V_1}{T_1} = \frac{281,85 \text{ K} \cdot 1,10 \text{ l}}{291,75 \text{ K}} = 1,0627 \text{ l} \approx 1,06 \text{ l}.$$

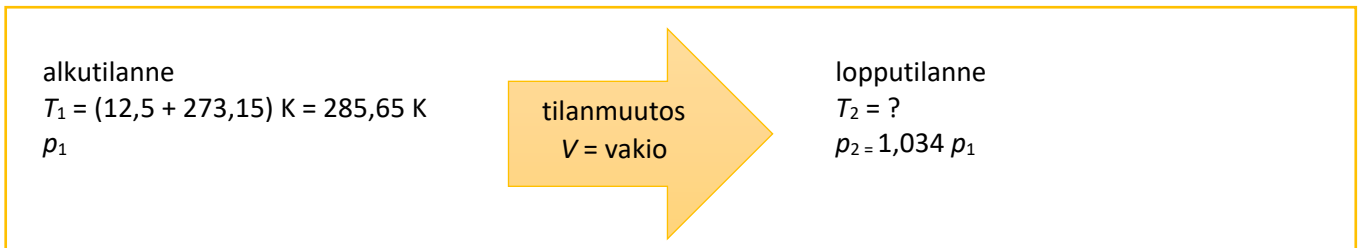
Pussissa olevan ilman tilavuus on 8,7 °C:n lämpötilassa 1,06 l.

## Tehtävä 8.6.

Alkulämpötila  $T_1 = (12,5 + 273,15) \text{ K} = 285,65 \text{ K}$

Loppulämpötila  $T_2 = ?$

Loppupaineen ja alkupaineen suhde  $\frac{p_2}{p_1} = 1,034$



Ratkaistaan isokoorisen tilanmuutoksen yhtälöstä

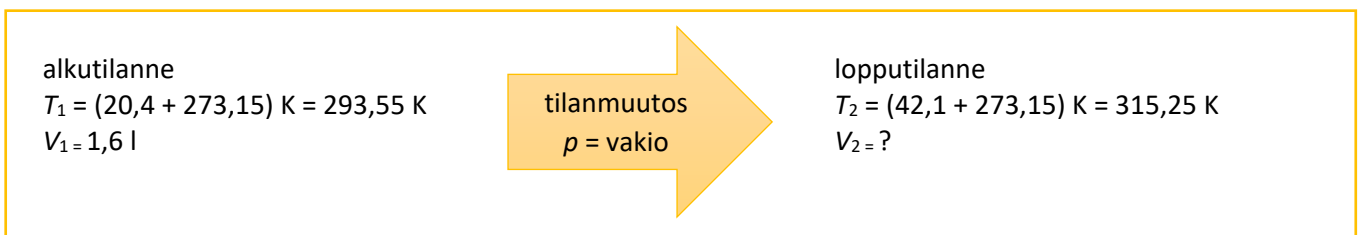
$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ loppulämpötila.}$$

$$T_2 = \left( \frac{p_2}{p_1} \right) T_1 = 1,034 \cdot 285,65 \text{ K} = 295,3621 \text{ K} = 22,2121 \text{ }^\circ\text{C} \approx 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Laboratorion lämpötila oli  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## Tehtävä 8.7.

Veteen lasketussa purkissa olevan ilman lämpötila nousee yhtä korkeaksi kuin veden lämpötila. Tällöin purkissa olevan ilman tilavuus kasvaa. Paine pysyy vakiona, koska purkki on avoin.



Isobaarisen tilanmuutoksen yhtälöstä  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

voidaan ratkaista ilman tilavuus lopputilanteessa

$$V_2 = \frac{T_2 V_1}{T_1} = \frac{315,25 \text{ K} \cdot 1,6 \text{ l}}{293,55 \text{ K}} = 1,7183 \text{ l}.$$

Purkkiin mahtuva ilmamäärä ei muutu, joten purkista poistuu ilmaa

$$V_2 - V_1 = 1,7183 \text{ l} - 1,6 \text{ l} = 0,1183 \text{ l} = 1,183 \text{ dl} \approx 1,2 \text{ dl}.$$

# Sovella

## Tehtävä 8.8.

- a) Lämpötila nousee ja paine kasvaa.
- b) Viileässä varastossa pallon tilavuus pienenee, koska pallon sisällä oleva paine pienenee. Kun pallon sisällä on ilmanpainetta pienempi paine, ilmanpaine puristaa palloa kasaan, kunnes pallon sisällä on sama paine kuin ympäröivä ilmanpaine.



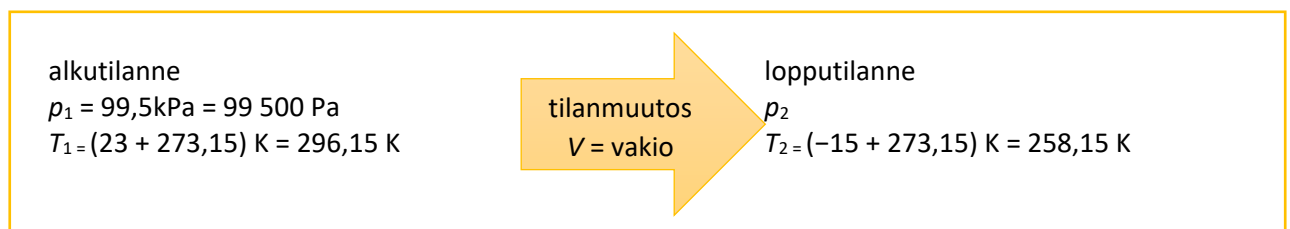
## **Tehtävä 8.9.**

- a) Kun pussia lämmitetään hiustenkuivaajalla, pussissa olevan kaasun tilavuus kasvaa, mikä ilmenee pussin kasvuna.
  
- b) Kun pussia lämmitetään hiustenkuivaajalla, pussissa olevan kaasun lämpötila kasvaa. Kaasun lämpötilan kasvaessa kaasun sisäenergia kasvaa.

## Tehtävä 8.10.

- a) Muovipullot on suljettu huoneenlämpötilassa, jolloin niiden sisään jää ilmaa, joka on normaalissa ilmanpaineessa ja huoneenlämpötilassa. Kun muovipullon vie ulos pakkaseen, sen sisällä olevan ilman lämpötila laskee. Lämpötilan laskiessa myös kaasun paine tai tilavuus pienenee. Taipuisan pullon muoto muuttuu, kun ilmanpaine puristaa sitä pullon ulkopinnalta. Lopulta pullon sisä- ja ulkopinnan välillä ei juuri ole paine-eroa. Pullo on silloin litistynyt tilavuudeltaan pienemmäksi.
- b) Oletetaan, että lasipullon tilavuus ei tilanteessa juurikaan muutu.

Kyseessä on isokoorinen tilanmuutos, jossa tilavuus pysyy vakiona.



Tilanmuutokselle vakiotilavuudessa pätee  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ , josta

$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{99\,500 \text{ Pa} \cdot 258,15 \text{ K}}{296,15 \text{ K}} = 86\,732,82 \text{ Pa} \approx 87 \text{ kPa}.$$

Paine pullossa on 87 kPa.

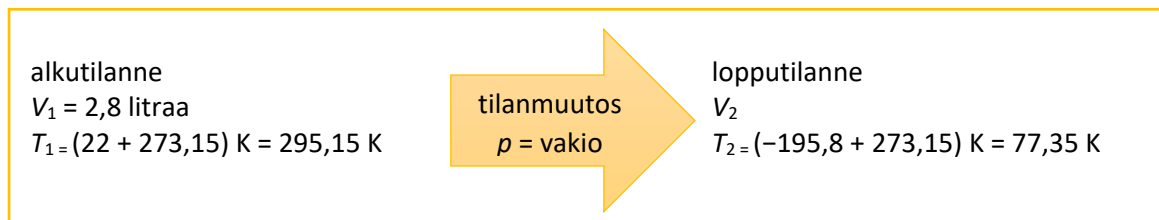
## Tehtävä 8.11.

a) Ilmapallon sisällä paine pysyy suunnilleen vakiona, joten ilma

pallon sisällä noudattaa lakia  $\frac{V}{T} = \text{vakio}$ .

Kaasun tilavuus ja lämpötila ovat suoraan verrannollisia. Kun ilmapallo vietään kuumaan saunaan, lämpötila nousee, jolloin tilavuus kasvaa. Pallon koko kasvaa kuumassa saunassa. Pakkasessa ulkona pallon sisällä olevan ilman lämpötila laskee ja pallon tilavuus pienenee.

b) Kyseessä on isobaarinen tilanmuutos, jossa paine pysyy vakiona.



Tilanmuutokselle vakiopaineessa pätee  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ , josta

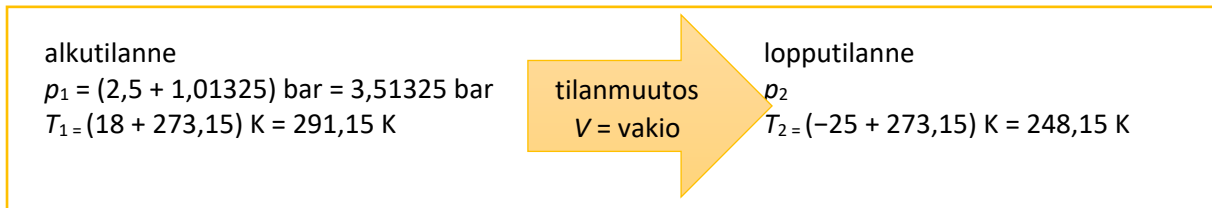
$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{2,8 \text{ l} \cdot 77,35 \text{ K}}{295,15 \text{ K}} = 0,733796 \text{ l} \approx 0,73 \text{ l}.$$

Vappupallon tilavuus kutistuu 0,73 litraan.

## Tehtävä 8.12.

a) Kyseessä on isokoorinen tilanmuutos eli tilavuus pysyy vakiona.

Oletetaan, että ilmanpaine on normaali ilmanpaine 101 325 Pa eli 1,01325 bar molemmilla mittauskerroilla.



Tilanmuutokselle vakiotilavuudessa pätee  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ ,

josta

$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{3,51325 \text{ bar} \cdot 248,15 \text{ K}}{291,15 \text{ K}} = 2,99438 \text{ bar} \approx 3,0 \text{ bar}.$$

Renkaan todellinen paine on pakkasella laskenut 3,0 bariin. Silloin painemittari näyttää ylipaineeksi  $2,99438 \text{ bar} - 1,01325 \text{ bar} = 1,98113 \text{ bar} \approx 2,0 \text{ bar}$ .

b) Lämpötilan kohotessa rengaspaineet nousevat, ja lämpötilan laskiessa rengaspaineet laskevat. Myös kuorman suuruus pitää huomioida rengaspaineita tarkistaessa.

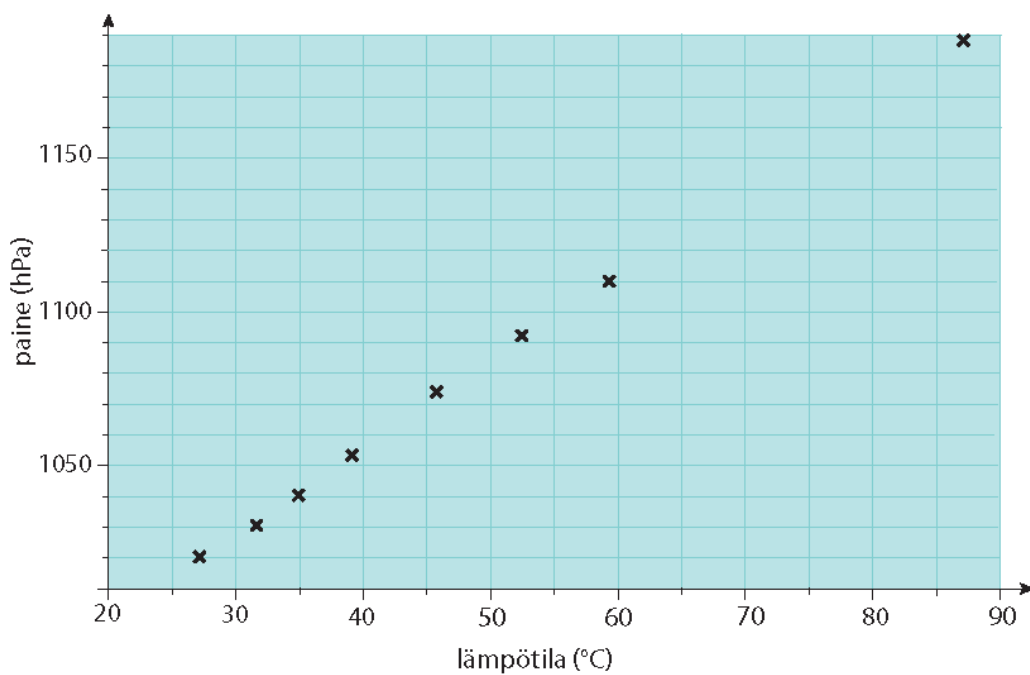
Alipaine on renkaissa ylipainetta haitallisempaa. Väärä rengaspaine voi johtaa siihen, ettei rengas toimi oikein esimerkiksi jarrutustilanteessa. Tällöin jarrutusmatka pitenee tai auto voi joutua luisuun. Väärä rengaspaine lisää polttoaineen kulutusta ja aiheuttaa renkaiden ennenaikaista kulumista. Kun renkaissa oleva ylipaine laskee alle yhden baarin, voi rengas jopa irrota vanteiltaan ajon aikana.

## Tehtävä 8.13.

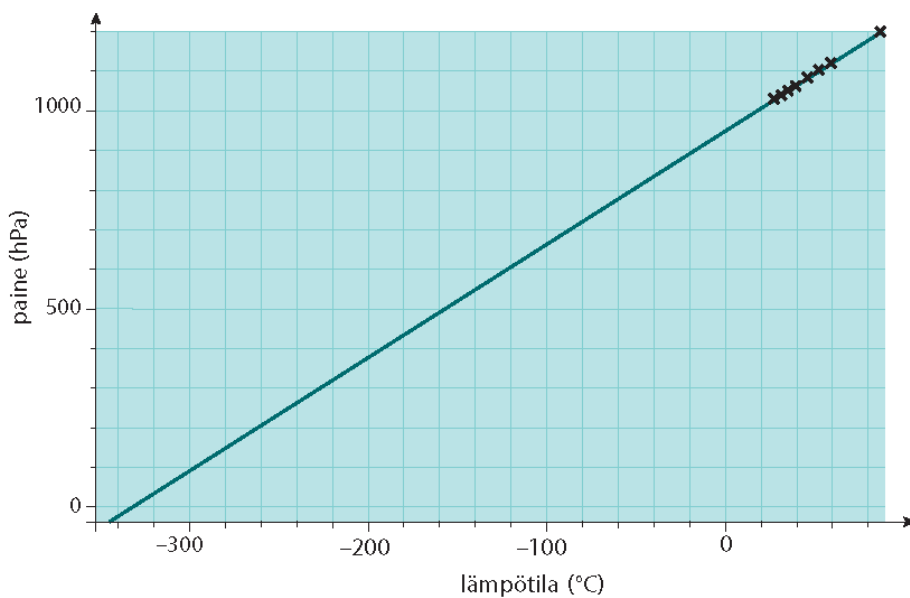
a) Arvot esimerkiksi

paine (hPa)	Lämpötila °C
1020	27,2
1188	87
1110	59,3
1092	52,5
1074	45,8
1053	39,2
1040	35
S1030	31,7

b)



c) Oletetaan että säiliössä oleva kaasu käyttäytyy ideaalikaasun tavoin. Mittaustuloksiin sovitetaan suora. Absoluuttisen nollapisteen arvo saadaan, kun luetaan kuvaajalta 0 hPa:n painetta vastaava lämpötila. Kuvaajasta luettuna absoluuttisen nollapisteen arvo on noin  $-332\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



d) Tutkimuksessa saatu absoluuttisen nollapisteen arvo  $-332\text{ °C}$  poikkeaa taulukkoarvosta  $-273,15\text{ °C}$ . Säiliössä oleva kaasun käyttäytyminen poikkeaa hieman ideaalikaasusta, mikä saattaa vaikuttaa mittaustulokseen. Mittauksen aikana vesihauteen vettä ei sekoitettu, joten lämpömittarin ilmoittama lämpötila saattoi poiketa säiliössä olevan kaasun lämpötilasta. Vesihautteessa kylmä vesi painuu vesihauteen pohjalle ja lämmin vesi jää vesihauteen yläosaan. Kaasusäiliö on vesihauteen yläosassa, joten säiliön kaasun lämpötila on todellisuudessa lämpömittarin lukemaa korkeampi.



## Tehtävä 8.14.

- a) Koska helium on säiliössä, voidaan olettaa, että heliumin tilavuus on vakio. Jos kuvaajaa ekstrapoloidaan, saadaan origon kautta kulkeva suora. Kuvaajan mukaan kaasun paine  $p$  ja lämpötila  $T$  ovat vakiotilavuudessa suoraan verrannolliset

eli  $p = \text{vakio } T$  eli  $\frac{p}{T} = \text{vakio}$ . Tätä kutsutaan usein

Charlesin laiksi.

- b) Oletetaan, että ilman lämpötila on vakio. Kuvaajan perusteella tutkitaan paineen ja tilavuuden riippuvuutta. Kuvaaja näyttää silmämääräisesti hyperbeliltä. Kun kuvaajalta luetaan arvopareja ja lasketaan toisiaan vastaavien tilavuuden ja paineen arvojen tulo, havaitaan, että se on lukematarkkuuden puitteissa vakio. Esimerkiksi

$$120 \text{ kPa} \cdot 20 \text{ cm}^3 = 2400 \text{ kPa} \cdot \text{cm}^3,$$

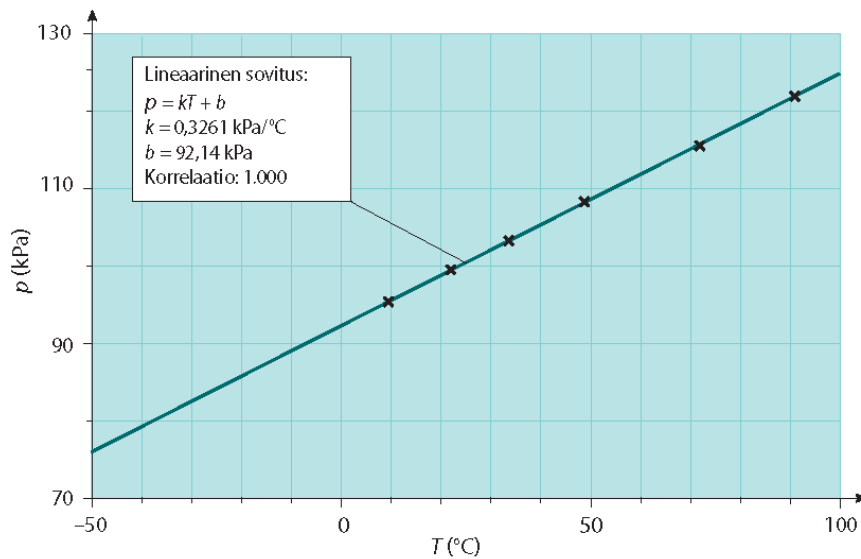
$$60 \text{ kPa} \cdot 40 \text{ cm}^3 = 2400 \text{ kPa} \cdot \text{cm}^3 \text{ ja}$$

$$30 \text{ kPa} \cdot 80 \text{ cm}^3 = 2400 \text{ kPa} \cdot \text{cm}^3$$

Tätä kuvaa laki  $pV = \text{vakio}$ , kun  $T$  on vakio. Tätä kaasulakia kutsutaan Boylen laiksi.

## Tehtävä 8.15.

a)



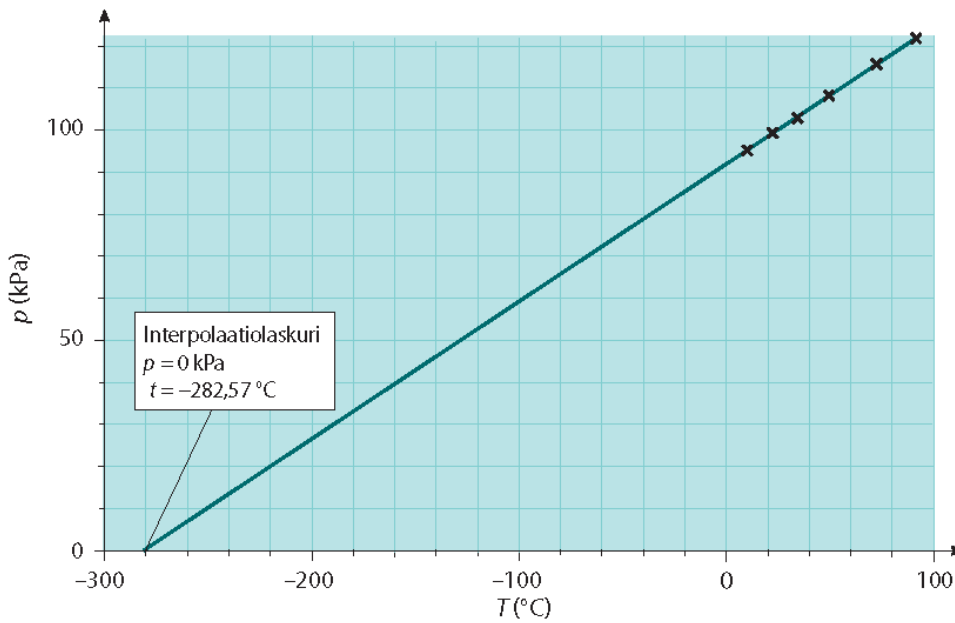
b) Oletetaan, että kaasu käyttäytyy kuten ideaalikaasu. Tällöin vakioilavuudessa kaasu noudattaa lakia

$$\frac{p}{T} = \text{vakio} \text{ eli } p = \text{vakio} \cdot T.$$

a-kohdan perusteella pisteet ovat suoralla, jota jatkamalla voidaan lukea lämpötila, kun paine on  $p = 88,2 \text{ kPa}$ . Lämpötila on tuolloin  $t = -12,08 \text{ }^\circ\text{C} \approx -12,1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

c) Ekstrapoloidaan kuvaajaa paineen arvoon  $p = 0$  kPa asti. Kuvaajalta voidaan lukea, että lämpötila on tuolloin

$$t = -282,57 \text{ } ^\circ\text{C} \approx -282,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$



# Syvännä

## Tehtävä 8.16.

a) Kokonaispaine on summa eri kaasujen osapaineista

$$p_{\text{N}_2} = 74,4 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{O}_2} = 19,9 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 6,3 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{muut}} = 0,8 \text{ kPa}$$

$$p_0 = p_{\text{N}_2} + p_{\text{O}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{muut}}$$

$$= 74,4 \text{ kPa} + 19,9 \text{ kPa} + 6,3 \text{ kPa} + 0,8 \text{ kPa}$$

$$= 101,4 \text{ kPa}$$

Ilmanpaine keuhkoissa on 101,4 kPa.

b) Keuhkoissa ilma on kosteaa, sillä limakalvoilta haihtuu vettä ilman sekaan vesihöyryksi. Tämä kuivattaa limakalvoja.

c) Jos ilman kaasujen prosenttiosuudet säilyvät likipitään samoina, on happea oltava keuhkoissa samassa suhteessa kuin merenpinnan tasossa ( $p_{O_2} = 19,9 \text{ kPa}$ ). Huomioidaan samana pysyvä vesihöyryn osapaine.

Paine keuhkoissa ilman vesihöyryä on merenpinnan tasossa

$$\begin{aligned} p_1 &= p_0 - p_{H_2O} \\ &= 101,4 \text{ kPa} - 6,3 \text{ kPa} \\ &= 95,1 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ja 3 400 metrin korkeudessa

$$\begin{aligned} p_2 &= p_0 - p_{H_2O} \\ &= 67,1 \text{ kPa} - 6,3 \text{ kPa} \\ &= 60,8 \text{ kPa} \end{aligned}$$

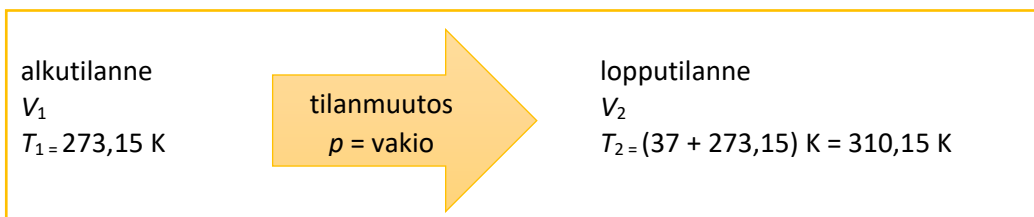
Hapen osuus pysyy samana, joten

$$\begin{aligned} \frac{p_{O_2, \text{merenpinta}}}{p_1} &= \frac{p_{O_2, \text{vuoristo}}}{p_2} \\ p_{O_2, \text{vuoristo}} &= \frac{p_2}{p_1} p_{O_2, \text{merenpinta}} = \frac{60,8 \text{ kPa}}{95,1 \text{ kPa}} \cdot 19,9 \text{ kPa} = 12,7226 \text{ kPa} \approx 12,7 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Vuoristossa paine on 12,7 kPa.

d) Isobaarisessa muutoksessa tilanyhtälö on muotoa

$\frac{V}{T} = \text{vakio}$ . Siitä voidaan päätellä, että kun lämpötila kasvaa,  
niin samalla myös tilavuus kasvaa.



Ratkaistaan tilanyhtälöstä  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  tilavuus muutoksen jälkeen

$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{310,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} \cdot V_1 = 1,1355 \cdot V_1 \approx 1,14 \cdot V_1$$

Happikaasun tilavuus on 1,14-kertainen  
(tilavuus kasvaa 14 %).

## Tehtävä 8.17.

a) Kun purkki laitetaan jääveteen, purkissa olevan kaasun lämpötila laskee. (1 p) Koska lasipurkin tilavuus ei juurikaan muutu,

voidaan kaasun tilanmuutosta tarkastella isokoorisena prosessina. (1 p) Isokoorisessa prosessissa paineen ja tilavuuden suhde on vakio, joten

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \quad (1 \text{ p})$$

Kun kaasun lämpötila laskee, kaasun paine pienenee. (1 p)

b) Huoneenlämpöinen kaasu luovuttaa energiaa kylmemmälle jäävedelle. (1 p) Tällöin kaasun sisäenergia pienenee. (1 p) Sisäenergian pienentyminen ilmenee kaasun lämpötilan laskuna. (1 p)

c) Kaasun lämpötila alussa  $T_1 = 0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$

Kaasun lämpötila alussa  $T_2 = 65\text{ °C} = 338,15\text{ K}$

Kaasun paine alussa  $p_1$

Lasipurkissa olevan kaasun tilanmuutos tapahtuu vakiotilavuudessa, jolloin

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \text{ (1 p.)}$$

Määritetään paine tilanmuutoksen jälkeen

$$p_2 = \frac{T_2 p_1}{T_1} = \frac{338,15\text{ K}}{273,15\text{ K}} p_1 = 1,23796 p_1. \text{ (1 p.)}$$

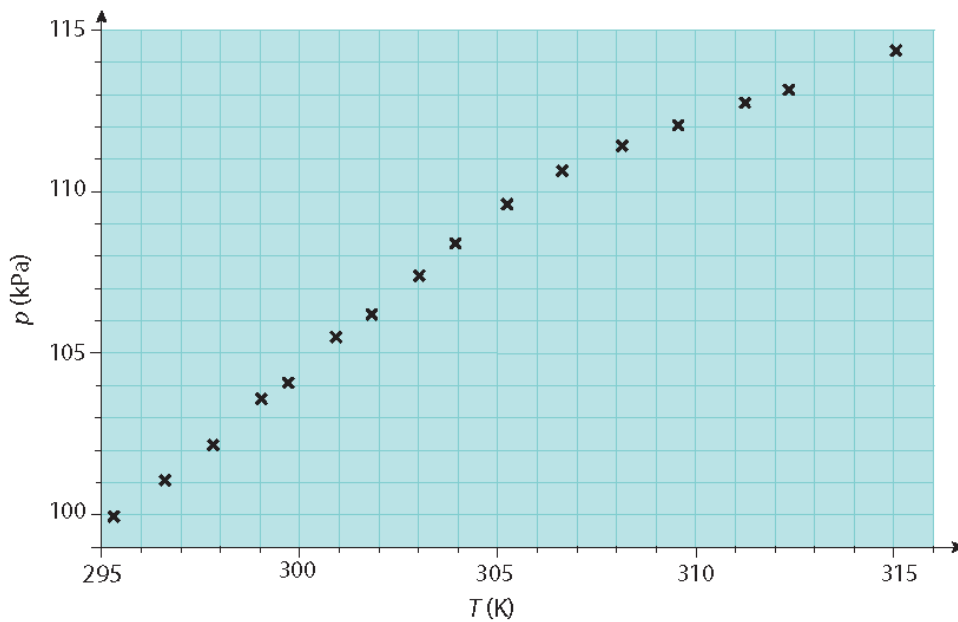
Kaasun paine kasvoi

$$\frac{p_2 - p_1}{p_1} \cdot 100\% = \frac{1,23796 p_1 - p_1}{p_1} \cdot 100\% = 23,796\% \approx 24\%.$$

(1 p.)



d) Lasketaan uusi sarake kelvineinä ilmoitettaville lämpötiloille  $T$  (1 p) Tehdään  $(T, p)$ -koordinaatiston kuvaaja.



(kuvaaja: akselit oikeinpäin 1 p ja mittauspisteet näkyvät 1 p)

Koska mittauspisteet eivät osu suoralle, voidaan todeta, että lasipurkissa olleen kaasun tilanmuutos ei ollut isokoorinen. (2 p.)

