

6. Paine

Harjoittele

Tehtävä 6.1.

a) B

b) B

c) A

d) C

e) D

f) B

Tehtävä 6.2.

- a) Paine huomataan yleensä silloin, kun se muuttuu nopeasti, kuten lentokoneen nousussa tai laskussa tai korkean rakennuksen hississä. Paineen muutokset voi huomata myös sukeltaessa.
- b) Paineen muutos tuntuu yleensä korvassa. Kun ulkoinen paine muuttuu, se aiheuttaa paineen muutoksen ilmaa sisältävässä välikorvassa. Jos sukeltaja ei osaa tasata paine-eroa, korvan tärykalvoon kohdistuu voima, joka voi aiheuttaa kivun tunteen. Nieleskely tai purkan syöminen voivat auttaa paineen tasaamisessa.

Tehtävä 6.3.

- a) Jalan lattiaan aiheuttaman paine voi jakautua epätasaisesti. Paine voi kohdistua tietylle kohdalle hyvin suurena. Veden astiaan pohjaan aiheuttama paine on yhtä suuri joka kohdassa.

- b) Lentokoneiden matkustamot on paineistettu, koska matkustajalentokoneiden lentokorkeudella ilmanpaine on liian matala ihmiselle. Alipaine voi johtaa hapenpuutteeseen ja tajunnan menetykseen.

Tehtävä 6.4.

Laatikon massa $m = 15,2 \text{ kg}$

Laatikon pohjan pinta-ala $A = 18 \text{ dm}^2 = 0,18 \text{ m}^2$

Laatikon lattiaan kohdistama voima on yhtä suuri kuin laatikon paino.

$$F = G = mg.$$

Paine laatikon alla

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{15,2 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,18 \text{ m}^2} = 828,4 \text{ Pa} \approx 830 \text{ Pa}$$

Tehtävä 6.5.

a) Hydrostaattinen paine on yhtä suuri kuin normaali ilmanpaine eli $p_h = p_0 = 101\,325\text{ Pa}$.

Veden tiheys $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$

Ratkaistaan hydrostaattisen paineen yhtälöstä $p_h = \rho gh$ syvyys.

$$h = \frac{p_h}{\rho g} = \frac{101325\text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 10,3287\text{ m} \approx 10,3\text{ m}$$

b) Paine $p = 101\,325\text{ Pa}$

Voima $F = 1,0\text{ N}$

Ratkaistaan pinta-ala yhtälössä $p = \frac{F}{A}$, josta

$$A = \frac{F}{p} = \frac{1,0\text{ N}}{101325\text{ Pa}} = 9,8692 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2 \approx 9,9\text{ mm}^2.$$

Tehtävä 6.6.

a) Normaali ilmanpaine on $p = 101\,325\text{ Pa}$ ja

lasilevyn pinta-ala on $A = 70\text{ cm} \cdot 120\text{ cm} = 8\,400\text{ cm}^2 \approx 0,84\text{ m}^2$.

Ilmanpaineen lasilevyyn kohdistama voima voidaan

ratkaista yhtälöstä $p = \frac{F}{A}$, josta

$$F = pA = 101325\text{ Pa} \cdot 0,70\text{ m} \cdot 1,20\text{ m} = 85113\text{ N} \approx 85\text{ kN}.$$

Vertailun vuoksi: Ilmanpaineen aiheuttama voima on yhtä suuri kuin noin 8 700 kg:n kappaleen aiheuttama painovoima.

b) Ilmanpaine työntää lasilevyä myös sen alapinnalta, joten ilmanpaineen lasilevyyn aiheuttama kokonaisvoima on käytännössä nolla. Vaikka lasilevy on pöydällä, ilma pääsee myös lasilevyn alle, eikä lasilevyn alla ole alipainetta. Silloin lasilevyä nostava henkilö ei huomaa ilmanpaineen lasilevyyn joka suunnasta aiheuttamaa voimaa.

Tehtävä 6.7.

Huomioidaan ilmanpaine $p_0 = 101\,325\text{ Pa}$

$$\rho = 1\,030\text{ kg/m}^3$$

$$h = 3\,798\text{ m}$$

Kokonaispaine on ilmanpaineen ja hydrostaattisen paineen summa

$$p_{\text{kok}} = p_0 + \rho gh$$

$$= 101325\text{ Pa} + 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3798\text{ m}$$

$$= 38477456,4\text{ Pa}$$

$$\approx 38,5\text{ MPa}$$

Tehtävä 6.8.

a) Makean veden tiheys $\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$

Putoamiskiihtyvyyys Marsissa $g_{\text{Mars}} = 3,71\text{ m/s}^2$

Meren syvyys $h = 0,800\text{ km} = 800\text{ m}$

Hydrostaattinen paine meren pohjalla on

$$p_h = \rho g_{\text{Mars}} h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,71 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 800\text{ m} = 2968000\text{ Pa} \approx 3,0\text{ MPa}.$$

b) Maapallolla putoamiskiihtyvyyys on $g = 9,81\text{ m/s}^2$.

Sama hydrostaattinen paine maapallolla $p_h = \rho g h$ saavutetaan syvyydessä

$$h = \frac{p_h}{\rho g} = \frac{2968000\text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 302,548\text{ m} \approx 300\text{ m}.$$

Sovella

Tehtävä 6.9.

- a) Potkukelkan jalasten väliin jäävä pinta-ala on monikymmenkertainen pilkkijän kengän pinta-alaan verrattuna. Tällöin potkukelkalla liikkuvan pilkkijän jään pintaan aiheuttama paine on paljon pienempi kuin pilkkijän kengän jäähän aiheuttama paine.
- b) Lumikengän pohjan pinta-ala on paljon tavallisen kengän pinta-alaa suurempi. Lumikenkäilijän paino jakautuu näin suuremmalle pinta-alalle ja lumeen kohdistuu pienempi paine. Niinpä lumikengillä kävellessä ei uppoa lumeen yhtä paljoa kuin normaaleilla kengillä kävellessä.
- c) Kipu korvissa aiheutuu tärykalvon eri puolten paine-erosta. Mitä suurempi tärykalvon eri puolten välinen paine-ero on, sitä voimakkaampi on kipuaistimus. Mitä syvemmälle sukeltaaan, sitä suurempi on veden hydrostaattinen paine ja sitä suurempi on paine-ero tärykalvon eri puolilla.

Tehtävä 6.10.

a) $h = 1,8 \text{ m}$ ja $\rho = 1\,060 \text{ kg/m}^3$

Paine päässä kasvaa veren hydrostaattisen paineen verran eli

$$p_h = \rho gh = 1060 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,8 \text{ m} = 18717,48 \text{ Pa} \approx 19 \text{ kPa}$$

b) ISS-avaruusasema kiertää maapalloa ja on koko ajan putoamisliikkeessä maapallon pinnan ohi. Silloin asemalla olevat henkilöt ovat näennäisesti painottomassa tilassa, eikä asemalla esiinny lainkaan hydrostaattista painetta.

Tehtävä 6.11.

a) Mitä leveämmät renkaat ovat, sitä suuremmalle pinta-alalle pyöräilijän ja polkupyörän paino jakautuvat. Leveät maastopyörän renkaat aiheuttavat maahan pienen paineen eikä rengas uppoa maahan. Maantiepyörän renkaat ovat ohuet, joten pyöräilijän ja polkupyörän paino jakautuvat pienelle pinta-alalle. Paine on suuri, joten rengas uppoaa pehmeään maahan helpommin kuin maastopyörän rengas. Maastopyörän renkaat täytetään noin 2 baarin paineeseen, kun maantiepyörän renkasiin voidaan pumpata jopa 8 baarin paine. Maantiepyörän rengas on merkittävästi kovempi kuin maastopyörän rengas eikä se juuri litisty kuljettajan painosta.

b) Normaali ilmanpaine $p_0 = 1,01325$ bar

Polkupyörän renkaan kokonaispaine on ilmanpaineen ja painemittarin paineen summa

$$p_{\text{kok}} = p_0 + p_{\text{mittari}} = 1,01325 \text{ bar} + 1,8 \text{ bar} = 2,81325 \text{ bar} \approx 2,8 \text{ bar}.$$

c) Sisärenkaan pinta-ala $A = 3\,800\text{ cm}^2 = 0,38\text{ m}^2$

Renkaan sisällä oleva paine b-kohdan mukaan

$$p = 2,81325\text{ bar} = 281325\text{ Pa}$$

Kaasun sisärenkaaseen aiheuttama voima on

$$F = pA = 281\,325\text{ Pa} \cdot 0,38\text{ m}^2 = 106\,903,5\text{ N} \approx 110\text{ kN}.$$

Tehtävä 6.12.

Paine vaikuttaa tietyllä syvyydellä kaikkiin suuntiin.

Pinnanalaisessa luolassa olevan kalan kohdalla on sama paine kuin avoimen pinnan alapuolella samalla syvyydellä uiskentelevan kalan kohdalla.

Tehtävä 6.13.

- a) Hydrostaattinen paine on nolla, kun mittaus­syvyys on nolla. Hydrostaattinen paine kasvaa, kun mittaus­syvyys kasvaa.
- b) Hydrostaattinen paine kasvaa, kun aineen tiheys kasvaa ja pienenee, kun aineen syvyys pienenee.
- c) Astian muoto ei vaikuta hydrostaattiseen paineeseen.

Tehtävä 6.14.

Neste, jolla on pienempi tiheys, nousee astiastaan nopeammin, koska kevyemmän nesteen hydrostaattinen paine on pienempi. Lyhyellä imaisulla automaatista saisi vain kevyempää nestettä suuhunsa.

Tehtävä 6.15.

a) $A = 65 \text{ mm}^2 = 65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Kun lentokone on maanpinnalla, vallitsee normaali ilmanpaine $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$ ja kun lentokone nousee matkustuskorkeudelle, paine on $p = 77\,000 \text{ Pa}$. Tästä saadaan paine-ero

$$\Delta p = 101\,325 \text{ Pa} - 77\,000 \text{ Pa} = 24\,325 \text{ Pa}.$$

Suurempi paine onteloista työntää tärykalvoa ulospäin voimalla, joka on

$$\begin{aligned} F_{\text{kok}} &= F_1 - F_2 \\ &= p_1 A - p_2 A = (p_1 - p_2) A \\ &= (101\,325 \text{ Pa} - 77\,000 \text{ Pa}) \cdot 65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \\ &= 24\,325 \text{ Pa} \cdot 65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \\ &= 1,5811 \text{ N} \\ &\approx 1,6 \text{ N} \end{aligned}$$

b) Veden tiheys $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ja paine-ero $\Delta p = 35\,000 \text{ Pa}$

Paine veden pinnalla on ilmanpaine p_0 ja

paine syvyydellä h on $p_{\text{kok}} = p_0 + \rho gh$.

Paine-ero pinnan ja syvyyden h välillä on siten pelkkä hydrostaattinen paine.

$$\Delta p = \rho gh$$

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{35000 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,5678 \text{ m} \approx 3,6 \text{ m}$$

Tehtävä 6.16.

Normaali ilmanpaine $p = 101\,325\text{ Pa}$.

Ilmanpaineen aiheuttaa ilmakehän oma paino, joka jakautuu koko maapallon pinnalle. Maapallon pinta-ala on $A = 510\,100\,000\text{ km}^2 = 510,1 \cdot 10^6\text{ km}^2 = 510,1 \cdot 10^{12}\text{ m}^2$.

$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{mg}{A}$$

$$mg = pA$$

$$m = \frac{pA}{g} = \frac{101\,325\text{ Pa} \cdot 510,1 \cdot 10^{12}\text{ m}^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,26869 \cdot 10^{18}\text{ kg} \approx 5,3 \cdot 10^{18}\text{ kg}$$

Massa on $5,3 \cdot 10^{18}\text{ kg}$.

Tehtävä 6.17.

a) Vesitornissa olevan veden massa aiheuttaa vesiputkistoon hydrostaattisen paineen. Mitä korkeampi ja mitä korkeammalla vesivarasto on, sitä suuremman paineen vesi aiheuttaa vesijohtoverkoston.

b) Vesijohtoverkoston paine $p = 4,50 \text{ bar} = 4,50 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$$\text{Veden tiheys } \rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Putoamiskiihtyvyys } g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Vesitornissa olevan veden hydrostaattinen paine on yhtä suuri kuin vesijohtoverkoston vedenpaine.

$$p_h = p$$

$$\rho g h = p$$

Josta vesivaraston korkeus

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{450000 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 45,872 \text{ m} \approx 45,9 \text{ m.}$$

c) Vesitornissa olevan veden hydrostaattinen paine aiheuttaa vesijohtoverkoston tasaisen vedenpaineen. Usein vesijohtoverkoissa käytetään myös sähköisiä vesipumppuja. Sähköisten pumppujen ongelmana on se, että sähkökatkojen aikana veden paine vesijohtoverkostossa laskee. Lisäksi jos vettä otetaan hetkellisesti suuria määriä, ei vesipumppujen teho riitä pitämään vesijohtoverkoston painetta vakiona.

Tehtävä 6.18.

- a) Ensimmäinen tyhjiöpumppu rakennettiin ilmeisesti vuonna 1650. Ensimmäisen tyhjiöpumpun keksi saksalainen Otto von Guericke 1600-luvun puolivälissä. Laitteessa oli mäntä, jonka avulla imettiin säiliöstä ilmaa pois.
- b) Tyhjiöpumpun rakentanut Otto von Guericke järjesti Saksan Magdeburgissa kokeen, jolla demonstroitii ilmanpaineen aiheuttamaa voimaa. Kokeessa kaksi kuparista puolipalloa liitettiin tiiviisti vastakkain, ja niiden muodostaman pallon sisältä imettiin pumpulla ilmaa pois. Kun ilma oli imetty pois, hevoset yrittivät vetää puolipalloja erilleen. Näytöksessä edes 16 hevosta ei riittänyt vetämään puolipalloja erilleen.
- c) Italialainen Evangelista Torricelli rakensi elohopeailmapuntarin vuonna 1643.

Tehtävä 6.19.

- a) Voima on $F = 3,5 \text{ N}$ ja männän pinta-ala saadaan ympyrän pinta-alasta $A = \pi r^2$. Jos männän halkaisija on $d = 5,4 \text{ mm}$, niin sen säde on $r = 2,7 \text{ mm} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

Paine on

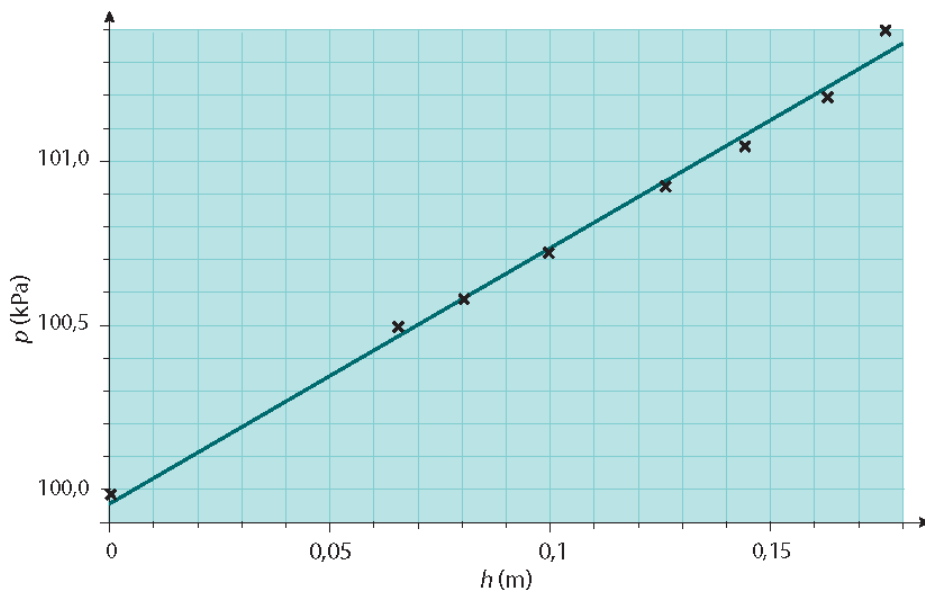
$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2} = \frac{3,5 \text{ N}}{\pi \cdot (2,7 \cdot 10^{-3})^2} = 152823,68 \text{ Pa} \approx 150 \text{ kPa}$$

- b) Hydrostaattisen paineen on kanyylin kohdalla oltava $p = 9,4 \text{ kPa}$. Nesteen tiheys on $\rho = 1042 \text{ kg/m}^3$.

$$p = \rho g h \Rightarrow h = \frac{p}{\rho g} = \frac{9400 \text{ Pa}}{1042 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,91958 \text{ m} \approx 0,92 \text{ m}$$

Tehtävä 6.21.

a)

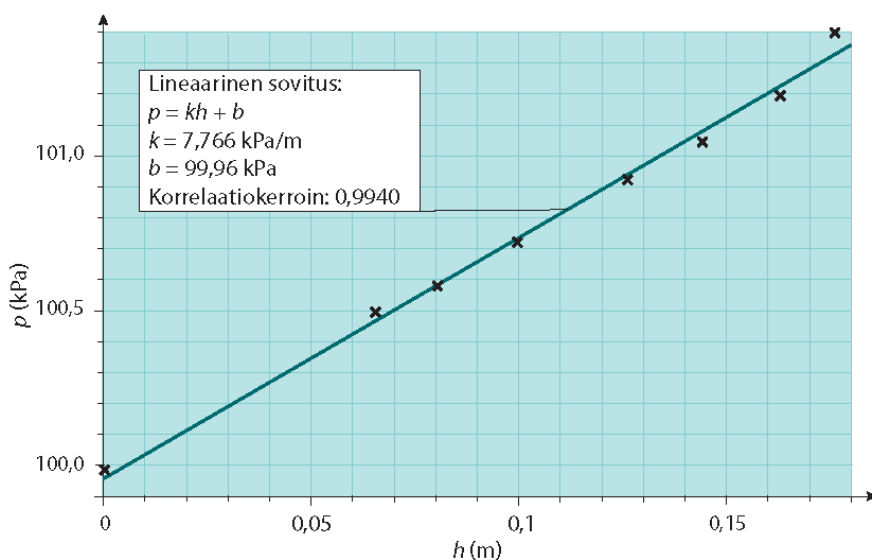


b) Etanolin kokonaispaine on ilmanpaineen ja hydrostaattisen paineen summa.

$$p_{\text{kok}} = p_i + p_h$$

$$p_{\text{kok}} = p_i + \rho gh$$

Etanolin tiheys saadaan (h, p_{kok}) -koordinaatiston fysikaalisesta kulmakertoimesta.



$\rho g = 7,766 \frac{\text{kPa}}{\text{m}}$, josta etanolin tiheydeksi saadaan

$$\rho = \frac{7766 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 791,6411824669 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} .$$

c) Kokonaispaine on yhtä suuri kuin ilmanpaine, kun syvyys $h = 0$. Ilmanpaine saadaan siis suoran vakiotermiinä.

$$p_i = 99,96 \text{ kPa} \approx 100 \text{ kPa}$$

Tehtävä 6.22.

- a) Kun polkupyörän renkaaseen pumpataan lisää ilmaa, kaasumolekyylien määrä kasvaa renkaassa. Tällöin tiheys suurenee, koska tilavuus pysyy samana.
- b) Kun tiheys kasvaa, niin paine kasvaa.

Kun molekyyliä on aikaisempaa enemmän, ne myös törmäilevät toisiinsa ja renkaan seinämiin useammin. Paine renkaan sisällä kasvaa ja rengas tuntuu puristettaessa kovemmalta.

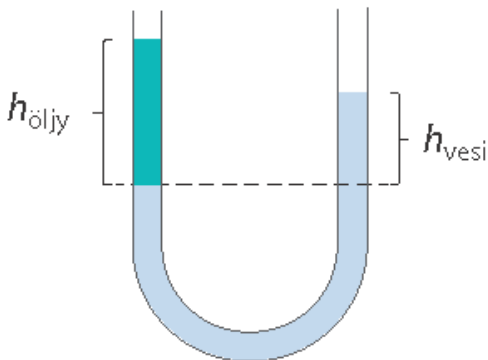
Syvennä

Tehtävä 6.23.

a) Ulkoisella ilmanpaineella ei ole vaikutusta nestepintojen korkeuseroon. Putken molemmat päät ovat avoimet, joten putken molempien päiden nestepintoihin kohdistuu ulkoisen ilmanpaineen vaikutuksesta yhtä suuri, alaspäin vaikuttava voima.

b) Paine nesteiden pinnalla on ulkoinen paine p_0 ja paine syvyydellä h kummassa tahansa aineessa on ilmanpaineen ja hydrostaattisen paineen summa

$$p_{\text{kok}} = p_0 + \rho gh.$$



$$h_{\text{öljy}} = 5,0 \text{ cm}$$

$$\rho_{\text{öljy}} = 0,86 \text{ kg/dm}^3$$

$$\rho_{\text{vesi}} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$$

Koska vesi on tiheämpää, on vesikerros matalampi kuin öljykerros. Kokonaispaineeet kuvaan merkityllä korkeudella putken eri haaroissa ovat

yhtä suuret, joten saadaan

$$p_0 + \rho_{\text{vesi}}gh_{\text{vesi}} = p_0 + \rho_{\text{öljy}}gh_{\text{öljy}}$$

$$\rho_{\text{vesi}}gh_{\text{vesi}} = \rho_{\text{öljy}}gh_{\text{öljy}}$$

$$h_{\text{vesi}} = \frac{\rho_{\text{öljy}}h_{\text{öljy}}}{\rho_{\text{vesi}}} = \frac{0,86 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 5,0 \text{ cm}}{1,00 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 4,3 \text{ cm}$$

Silloin pintojen korkeusero on
 $5,0 \text{ cm} - 4,3 \text{ cm} = 0,70 \text{ cm}$

Veden pinta on 0,70 cm alempana kuin öljypinta.

Tehtävä 6.24.

a) Esimerkiksi

- Kotona ilmanpainetta voidaan mitata rasiailmapuntarilla. Rasiailmapuntarissa tapahtuu muodonmuutos, kun paineen muutos aiheuttaa voiman.
- Oppitunnilla painetta voidaan mitata tietokoneeseen liitettävällä paineanturilla, jonka toiminta perustuu kaasun paineen aiheuttamaan voimaan anturin sisällä olevassa kalvossa. Kalvon toisella puolella on tyhjiö, ja toinen puoli on ulkoisessa paineessa. Kalvon liikkuminen havaitaan anturissa jännitteen muutoksena. Tietokoneohjelma muuttaa jännitesignaalin paineen lukemaksi.
- Nesteessä vallitsevaa painetta voidaan tutkia U-putkimanometrin avulla. U-putkimanometrin toiminta perustuu siihen, että nestepinnat asettuvat U-putken haaroissa eri korkeuksille paineen mukaan. Suurempi paine painaa nestepinnan matalammalle. Paine-eron voi päätellä nestepintojen korkeuserosta.
- Auton renkaassa vallitseva ylipaine voidaan mitata bourdonputkeen perustuvan painemittarin avulla. Ylipaine aiheuttaa bourdonputkeen muodonmuutoksen, josta paine voidaan päätellä.

- Verenpaine mitataan usein verenpainemittarilla, joka perustuu vuonna 1896 kehitettyyn Riva-Roccin menetelmään. Perinteisessä verenpaineen mittauksessa olkavarren ympärille kierretään mansetti, joka puhalletaan täyteen ilmaa, jolloin se puristaa olkavarren valtimoa. Kun valtimo on puristunut, sykettä ei kuulu käsivarressa mansetin alapuolella.
- Painemittari mittaa ilmanpainetta mansetissa, Kun ilmaa päästetään mansetista pikkuhiljaa pois, painemittari ilmoittaa mansetin ilmanpaineen. Paine, jossa syke alkaa jälleen kuulua, on yhtä suuri kuin yläpaine eli systolinen paine. Sillä paineella sydän kykenee juuri ja juuri pumppaamaan verta mansetin läpi. Alapaine eli diastolinen paine saadaan, kun pulssiäänit katoavat veren päästessä kulkemaan mansetin läpi vapaasti.
- Ennen verenpainemittarin paine määritettiin elohopeapatsaan korkeuden avulla, mutta nykyään paine-anturi on elektroninen. Ennen pulssia kuunneltiin stetoskoopilla, sitten verenpainemittareihin lisättiin mikrofoni. Nykyaikaiset mittarit toimivat oskillometrisella periaatteella, jossa verenpaine määritetään suoraan pulssiaallon aiheuttamien paineenvaihteluiden avulla.

b) Veden tiheys $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Tasapainotilanteessa nestepatsaan alapinnalla hydrostaattinen paine on yhtä suuri kuin ilmanpaine eli $p_h = p_0$. Tästä voidaan selvittää nestepatsaan korkeus:

$$\rho g h = p_0$$

$$h = \frac{p_0}{\rho g} = \frac{101325 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 10,329 \text{ m} \approx 10,3 \text{ m.}$$

(Tai vertailemalla nesteiden tiheyksiä:

$$\frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{13,54 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 13,54$$

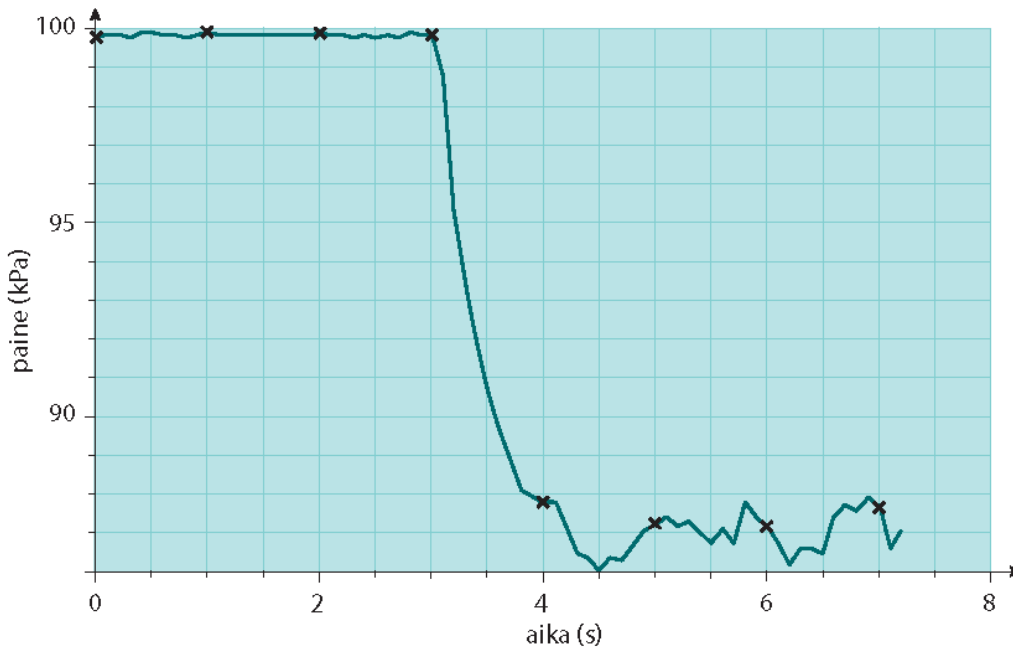
eli vesipatsaasta tulee 13,54-kertainen elohopeapatsaaseen nähden: $13,54 \cdot 0,76 \text{ m} \approx 10,3 \text{ m.}$)

c) Säiliössä 2, sillä U-putken toinen pää on avoin. Silloin säiliössä olevan kaasun paine vastaa h :n korkuisen nestepatsaan hydrostaattisen paineen ja ulkoisen ilmanpaineen summaa: $p_{\text{kaasu}} = p_0 + \rho h g$.

(Säiliössä 1 paine on $p_{\text{kaasu}} = \rho h g$, sillä U-putken toinen pää on suljettu ja siellä on tyhjiö.)

Tehtävä 6.25.

a)



Pisteet kuvaajasta:

- akselit nimetty ja oikein päin 2 p.
- kuvaaja näkyy ja yksiköt akseleissa 2 p.

b) Ilmanpaine voidaan lukea kuvaajan alussa olevasta vaakasuorasta osasta. Ilmanpaine on 99,8 kPa \approx 100 kPa. (2 p) Kun letkua imetään, paine letkussa pienenee. Keskimäärin letkussa on imun aikana 87 kPa:n paine. (2 p)

c) Kun letkulla imetään, ilmanpaineen aiheuttama voima F_i on yhtä suuri kuin suun sisällä olevan paineen aiheuttaman voiman F_s ja nesteen hydrostaattisen paineen aiheuttaman voiman F_h summa. (1 p)

Ilmanpaine $p_i = 99,8 \text{ kPa} = 99\,800 \text{ Pa}$

Suun sisällä oleva paine $p_s = 87 \text{ kPa} = 87\,000 \text{ Pa}$

Voimien avulla voidaan tarkastella paineita

$$F_i = F_s + F_h$$

$$p_i A = p_s A + p_h A \quad (3 \text{ p})$$

$$p_i = p_s + p_h = p_s + \rho g h$$

Letkulla pystyy imemään korkeudelle

$$h = \frac{p_i - p_s}{\rho g} = \frac{99\,800 \text{ Pa} - 87\,000 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,30479 \text{ m} \approx 130 \text{ cm}.$$

(3 p)

Letkulla voidaan imeä 130 cm korkeuteen.