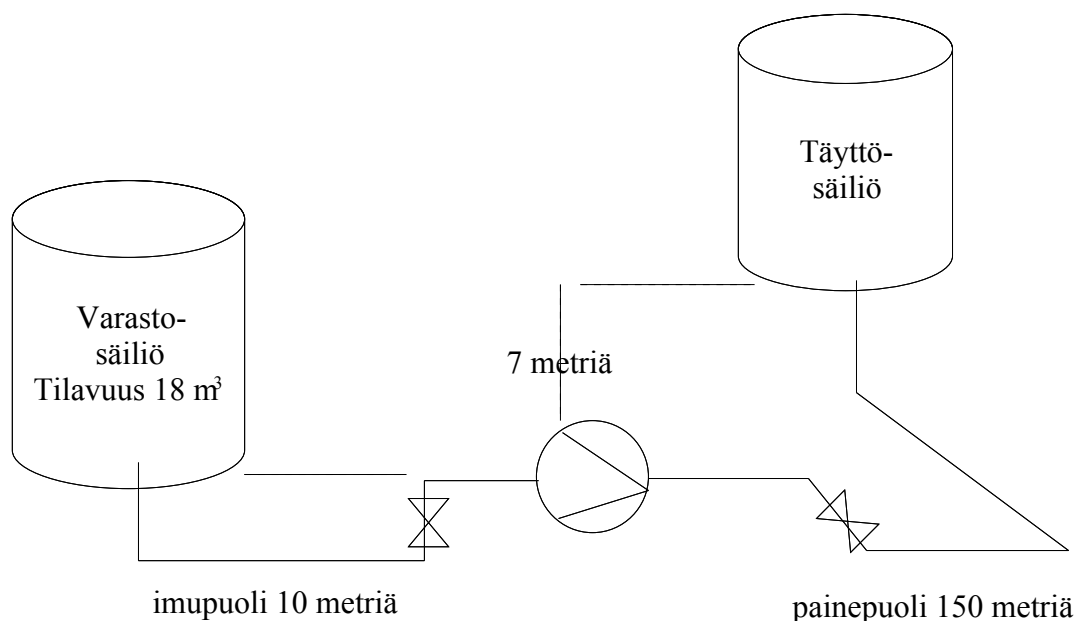


Kuva prosessista



Oletustietoja

Puhtaiden aineiden tiedot haettu Chemical Engineering Research Information Center -tietokannasta, osoitteesta: <http://www.thermopedia.com/content/1147/>

Ainearvot seokselle, jossa 86 mol-% heksaania on estimoitu tutkimuksesta:

J. H. Dymond, I K. J. Young, I and J. D. Isdale, Viscosity Coefficients for the n-Hexane + n-Hexadecane System at Temperatures from 25 to 100~ at Pressures Up to the Freezing Pressure or 500 Mpa, International Journal of Thermophysics, Vol I, No. 4, 1980.

n-heksaani (C ₆ H ₁₄)	n-heksadekaani (C ₁₆ H ₃₄)	Seos, jossa 86 mol-% heksaania
tiheys: 655 kg/m ³	tiheys: 770 kg/m ³	tiheys: 760 kg/m ³
viskositeetti: 0,000294 kg/ms	viskositeetti: 0,00289 kg/ms	viskositeetti: 2,24*10 ⁻³
höyrynpaine: 20,337 kPa	höyrynpaine: 0,188 Pa	höyrynpaine lineaarisesti mooliosuuksien suhteessa: 0,86*20337+0,14*0,188 = 17,49 kPa

Lasketaan tarvittavia lähtötietoja ominaiskäyriä ja muita yhtälöitä varten

Lasketaan tilavuusvirta lähtötiedoista:

$$V = \frac{18 \text{ m}^3}{48 \text{ min}} = \frac{18 \text{ m}^3}{0,8 \text{ h}} = 22,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,00625 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 375 \frac{\text{litraa}}{\text{min}}$$

Lasketaan suhteellinen karheus ja Reynoldsin luku putkivastuskertoimen määrittämistä varten. **Huom!**, tehdään oletus, että putki on valurautaa.

$$\text{Suhteellinen karheus} = \frac{k}{D} = \frac{0,0003}{0,07} = 0,00429$$

Reynoldsin luku =

$$Re = \frac{4V\rho}{\pi\eta D} = \frac{4 * 0,00625 \frac{m^3}{s} * 760 \frac{kg}{m^3}}{\pi * 2,24 * 10^{-3} \frac{kg}{ms} * 0,07 m} = 38570$$

C) Näin suuri Reynoldsin luku kertoo, että virtaus on turbulenti.

Seuraavaksi määritetään putkivastuskertoimen äsken laskettujen suhteellisen karheuden ja Reynoldsin luvun avulla. Katsotaan Keskeisen taulukkokirjasta, Moodyn käyrästä putkivastuskertoimen.

Putkivastuskertoimen: $\xi = 0,028$, kun $Re = 3,8 * 10^{-3}$ ja suhteellinen karheus = 0,00429

Imupuoli ja kavitointi:

Paikallisvastusten summa = lähtöliittymä (1) + 3x 90° mutka, R=D (0,51) + palloventtiili (0,8)
 $\sum \zeta = 1 + 3 * 0,51 + 0,8 = 3,33$

Lasketaan seuraavaksi kavitoiko pumpu. Pumpu ei kavitoi, jos laskettu NPSHA on pumpun imulaipassa suurempi kuin pumpun valmistajan antama NPSHR. Jos nesteessä vallitseva staattinen paine on siis pienempi kuin nesteseoksen höyrynpaine, alkaa nesteseos kiehua.

Ajatellaan tasealueeksi nyt imupuoli varastosäiliöstä pumpun imulaippaan. Ajatellaan varastosäiliö ”pahin skenaario” niin lajaksi, että nestekorkeutta ei ole. Tasealue kuvitellaan kauaksi lähtöputken päästä, jolloin alkunopeutta ei ole, mutta nopeuseroa on. Pumpun imulaipassa pienin mahdollinen paine on tietenkin seoksen höyrynpaine. Vain ilmanpaine ajaa nesteseosta pumpuun, joten painetermi on positiivinen ja muut termit negatiivisia.

$$NPSHA = \Delta p - \Delta p_{pot} - \Delta p_{kin} - \rho h_f$$

$$NPSHA = \Delta p - \rho g \Delta z - \rho \frac{1}{2} \left(\frac{4V}{\pi D^2} \right)^2 - \rho \left(\xi \frac{\Delta L}{D} + \sum \zeta \right) \frac{\left(\frac{4V}{\pi D^2} \right)^2}{2}$$

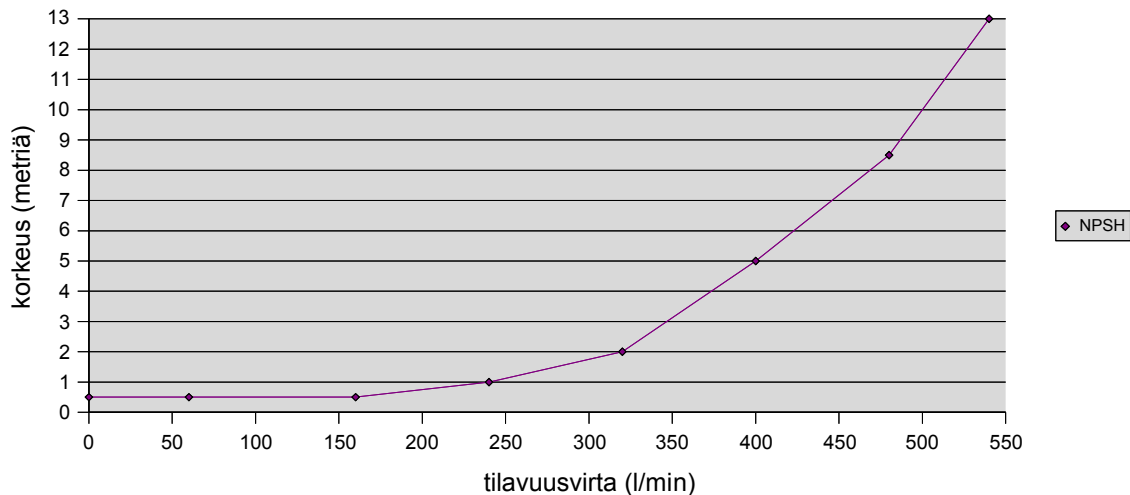
Jaetaan painetta antava yhtälö nyt ρg :llä, jolloin saammekin tulokseksi korkeutta.

$$NPSHA = \frac{\Delta p}{\rho g} - \Delta z - \left(\frac{8V^2}{g\pi^2 D^4} \right) - \left(\xi \frac{\Delta L}{D} + \sum \zeta \right) \left(\frac{8V^2}{g\pi^2 D^4} \right), \text{ sijoitetaan luvut}$$

$$\frac{(101000 - 17490) Pa}{760 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}} - 0 m - \frac{8 * (0,00625 \frac{m^3}{h})^2}{9,81 \frac{m}{s^2} * \pi^2 * (0,07 m)^4} - (0,028 * \frac{10 m}{0,07 m} + 3,33) - \frac{8 * (0,00625 \frac{m^3}{h})^2}{9,81 \frac{m}{s^2} * \pi^2 * (0,07 m)^4}$$

$$NPSHA = 11,2 m - 0 - 0,134 m - 0,98 m = 10,09 m$$

Keskikapumpun NPSHR



Keskikapumpun vaadittu minimipaine eli NPSHR pumpun imulaipassa on tehtävän lähtötietojen avulla piirretyn kuvaajan mukaan noin 4 metriä, kun tilavuusvirta on 375 litraa minuutissa.

F) NPSHA=10,09m > NPSHR=4m

Laskettu NPSHA on siis paljon isompi kuin lähtötietojen NPSHR. Pumppu ei kavitoi. Varastosäiliön nestepinnalla ei tarvitse näin ollen olla vähimmäiskorkeutta.

Putkiston ominaiskäyrä ja toimintapiste

Paikallisvastusten summa painepuolella

$$= 4x 90^\circ \text{ mutka, } R=D (0,51) + \text{palloventtiili}(0,8) + \text{tuloliittymä} (1)$$

$$\sum \zeta = 4 * 0,51 + 0,8 + 1 = 3,84$$

$$\text{Yhteensä paikallisvastukset} = \text{imupuoli} + \text{painepuoli} = 3,33 + 3,84 = 7,17$$

Tehdään nyt putkiston ominaiskäyrä kokonaisuudessaan, eli huomioidaan sekä imu- että painepuoli. Tällöin pumpun kehittämä paine-ero = putkiston kokonaispainehäviö, eli toisin sanoen pumpun nostokorkeus = putkiston häviökorkeus.

Ajatellaan tasealueeksi nyt koko systeemi varastosäiliöstä täyttösäiliöön. Tasealue kulkee kaukana tulo- ja lähtöliittymistä, jolloin nopeuseroa ei ole. Korkeusero, vastapaine ja kitkahäviöt nostavat putkiston häviökorkeutta.

$$pumppu = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z + \left(\xi \frac{\Delta L}{D} + \sum \zeta \right) \left(\frac{8V^2}{g \pi^2 D^4} \right) \quad (\text{viitataan myöhemmin termillä putkistokäyrä})$$

Sijoitetaan luvut tehtävänannosta:

$$pumppu = \frac{2000 \text{ Pa}}{760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 7 \text{ m} + \left(0,028 * \frac{(10+150) \text{ m}}{0,07 \text{ m}} + (3,33 + 3,84) \right) \left(\frac{8 * (0,00625 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \pi^2 * (0,07 \text{ m})^4} \right)$$

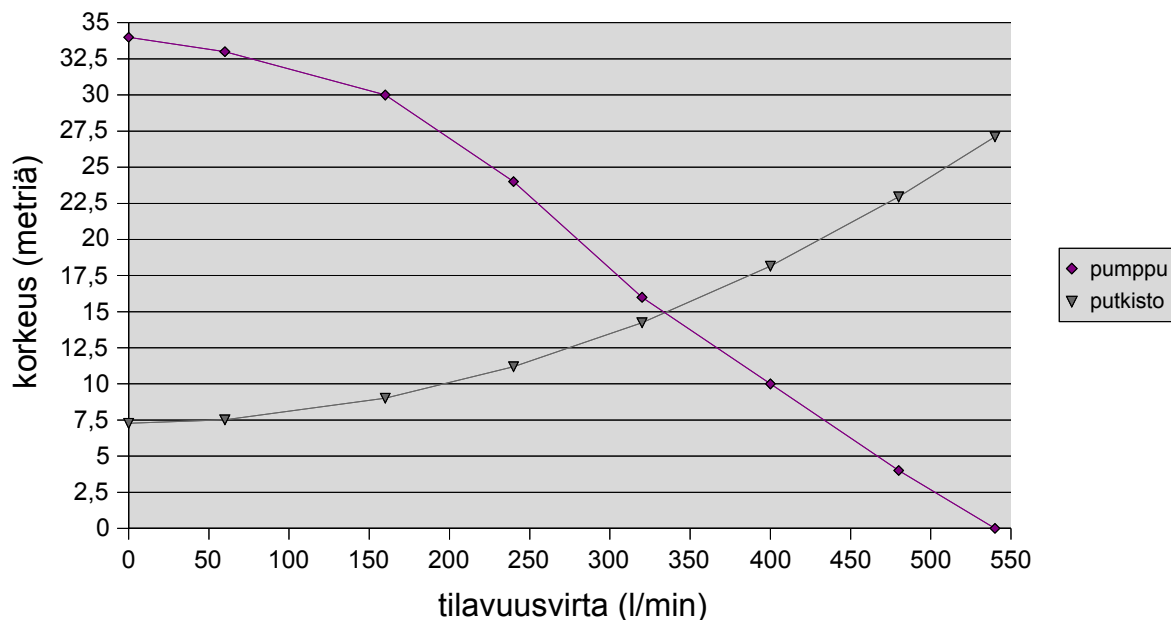
E) Ylemmän yhtälön painehäviön osatekijät lajiteltuna erikseen:

$$pumppu = 0,27 \text{ m (vastapaine)} + 7 \text{ m (nostokorkeus)} + 9,57 \text{ m (kitkahäviöt)} = 16,84 \text{ metriä}$$

Merkittävimmät häviöt tulevat siis kitkahäviöistä, eli putkivastuksesta ja paikallisvastuksista. Toinen merkittävä termi on nostokorkeus. Vastapaineella ei juurikaan ole merkitystä ja nesteen liikkeen ero on nolla.

Piirretään seuraavaksi yhden pumpun toimintapiste, eli pumpun ominaiskäyrä ja putkiston ominaiskäyrä samaan kuvaajaan. Pumpun ominaiskäyrän tiedot saadaan tehtävänannon taulukosta. **Huom! Oletamme, että ne ovat 86 mol-% n-heksaani-, 14 mol-% n-heksadekaani seokselle, eikä vedelle.** Muussa tapauksessa tarvitsisimme jonkinlaisen muuntokertoimen. Putkiston ominaiskäyrä saadaan siis ylemmästä yhtälöstä (putkistokäyrä), jonka arvoja lasketaan samoilla tilavuusvirran arvoilla kuin pumppukäyrää.

Pumpun ominaiskäyrät ja toimintapiste



B) Kuvaajasta nähdään, että pumpun toimintapiste (käyrien leikkauspiste) on noin 340 litraa minuutissa, jolloin putkiston häviökorkeudeksi saadaan noin 15 metriä.

Tavoitteena oli siirtää nestettä 375 litraa minuutissa, joten pumppu ei siis suoriudu tehtävästään annetussa ajassa.

Teho

Pumpun teho hyötysuhde huomioiden kuluu nesteen nostoon, joten pumpun aiheuttama paine jaettuna ρg :llä = äsken laskettu nostokorkeus. Tehtävän oletustiedoista arvioimme 375 litraa minuutissa siirtävän pumpun kokonaishyötysuhteeksi 0,6.

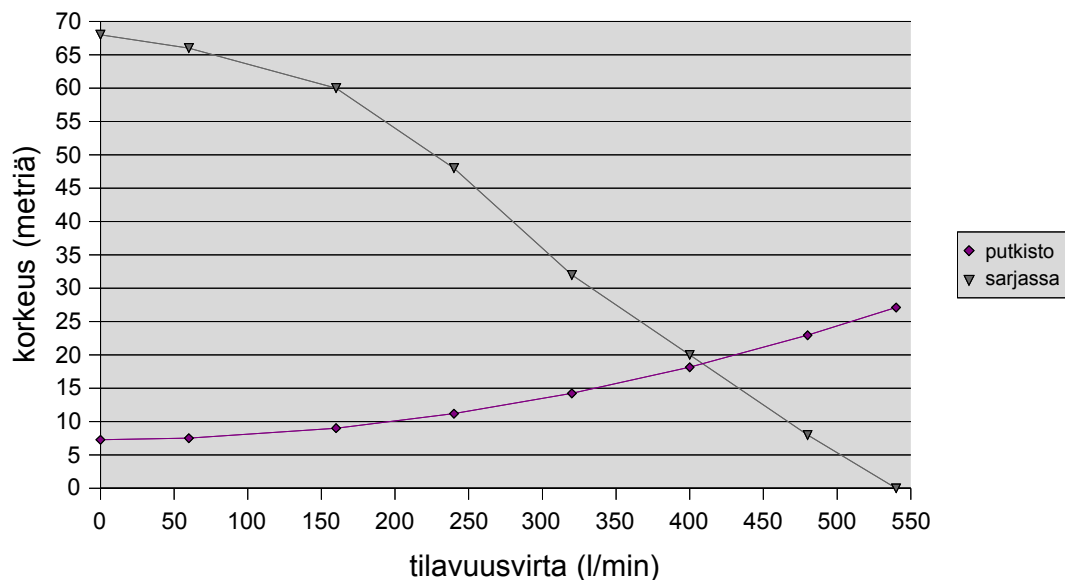
$$\frac{\rho(P_E*\eta_{TOT})}{\rho^2 g V} = 16,84 m \rightarrow \frac{(P_E*\eta_{TOT})}{\rho g V} = 16,84 m \rightarrow (P_E*\eta_{TOT}) = 16,84 m * (\rho g V)$$
$$P_E = \frac{(16,84 * \rho g V)}{\eta_{TOT}} = \frac{16,84 * 0,00625 \frac{m^3}{s} * 9,91 \frac{m}{s^2} * 760 \frac{kg}{m^3}}{0,6} = 1308 W$$

D) Pumpun tehontarve on siis 1,31 kW

Sarjankytkentä

Jos kaksi pumppua on nyt peräkkäin eli sarjaan kytkettynä, niin kokonaisnostokorkeus on nyt kummankin pumpun nostokorkeuden summa, mutta tilavuusvirta pysyy samana. Pumpun ominaiskäyrä saadaan tehtävänannon tietojen perusteella kertomalla vain nostokorkeus kahdella tilavuusvirran pysyessä samana. Putkiston ominaiskäyrä on sama kuin aikaisemminkin, koska tilavuusvirta ei kasva.

Ominaiskäyrät ja toimintapiste sarjaankytkettynä



Sarjankytkettyjen pumppujen toimintapiste: tilavuusvirta noin 415 litraa minuutissa, jolloin putkiston häviökorkeudeksi saadaan noin 18 metriä. Tavoitteena oli siirtää nestettä 375 litraa minuutissa, joten sarjankytkentä sopii tyhjennykseen. Virtausmäärää kannattaa pienentää venttiilillä, jolloin putkiston ominaiskäyrä jyrkkenee ja toimintapisteestä tulee siten optimaalinen. Myös pumppua voidaan säätää.

Sarjankytkennän NPSHR ja NPSHA eivät eroa äsken lasketusta yhden pumpun tapauksesta, koska tilavuusvirta pysyy samana. Sarjankytkettynä pumput eivät siis kavitoi ja nestepinnalla ei pidä olla vähimmäiskorkeutta.