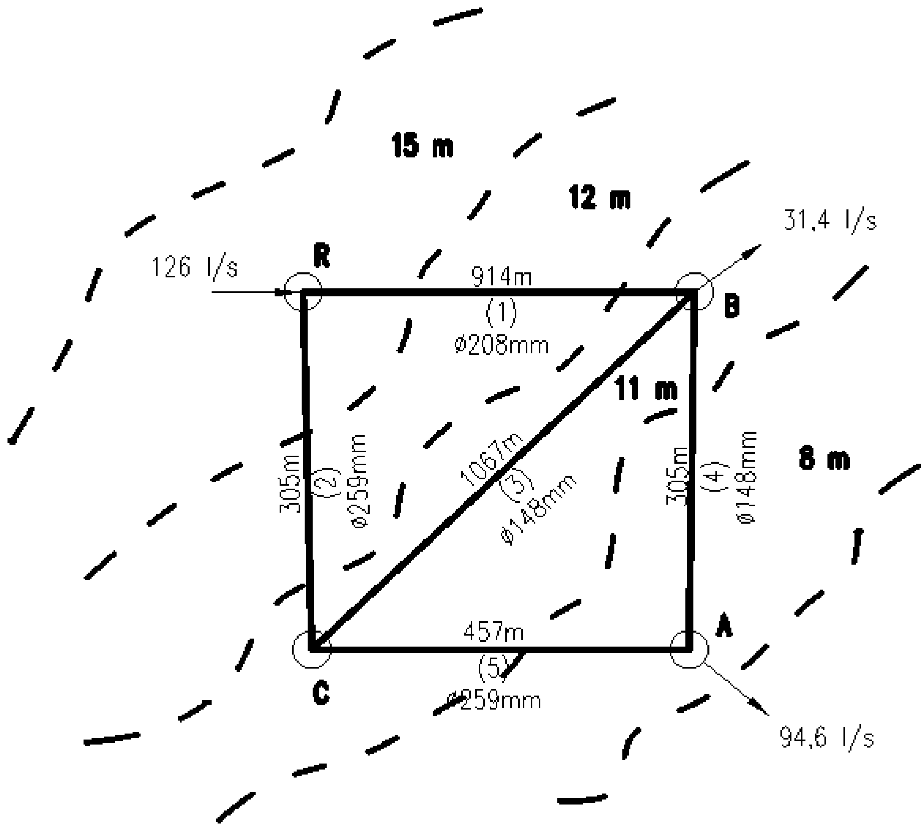
Rõhkude arvutamise näide

Vaadates *joonist 1* ning teades lõplikke rõhukadusid torudes (1), (2), (4) ja (5), vaatame ülesannet, kus meil on vaja leida reservuaari vabasurve nii, et tarbimispunktides (*„B“* ja *„A“*) oleks tagatud etteantud vabasurve *32 mH2O*.

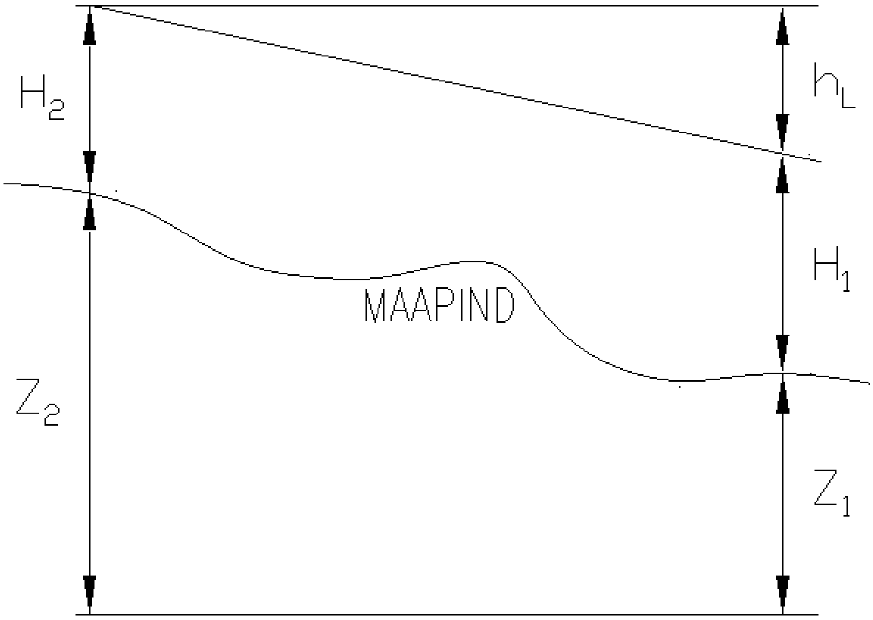


Joonis 1.

Ülesande lahendamisel peame teadma nii rõhukadusid torudes (kasutades *Darcy-Weisbach*`i valemit), kui ka maapinna kõrgusmärke (*joonisel 1*, tähistatud punktiirjoontega ja lisatud vastav kõrgusnivoo vahemikuna). Teiseks oluliseks kriteeriumiks veevõrkude arvutamisel on, kui palju peab olema tagatud vabasurvet tarbimispunktis. Vabasurve ei arvesta maapinna kõrgust, see on sellest maha arvestatud. Vabasurve on oluline näitaja selleks, et tagada piirkonnas olevatele korrus- ja/või eramajadele piisav rõhk veetorustikes, et kasvõi seadmed saaksid normaalselt toimida. Olgu siis veelkord mainitud, et antud juhul võtame kontrollarvuks *32 mH2O*.

Kuidas rõhukadusid arvutatakse?

Selleks esitame ühe pildi:



Joonis 2.

Kasutades *joonist 2* näitena, saab leida meid huvitava suuruse, on siis selleks vabasurve („H_1“ või „H_2“), maapind („Z_1“ või „Z_2“) või rõhukadu torus („h_L“).

Arvestame *joonis 3.1* reservuaari veetasapinna. Vabasurve („*H*“) peab olema tagatud tarbimispunktides („*A*“ ja „*B*“). Valime esmalt punkti „*A*“. Seega kasutades *joonisel 2* esitatut, saame kirjutada:

$$Z_B + H_B = Z_A + H_A + h_L \qquad (1)$$

Teame nii mõlemat maapinda ning ka seda, et vabasurve punktis „*A*“ peab olema *32mH2O*. Rõhukao *torus (4)* saame eelmisest ülesandest. Olgu see meil: $h_L = 1.29\ m$.

Seega:

$$11 + H_B = 8 + 32 + 1.29 \qquad (2)$$

Võrdusest (2) leiame punktis „*B*“ vastava vabasurve, milleks saame: $H_B = 30.29\ m$. Näeme, et punktis „*B*“ pole tagatud vabasurve *32 mH2O*. Seega järgmisena võib toimida kaheti (viivad ühe ja sama tulemuseni).

a) Võtame punkti „*B*“ uueks kriitiliseks punktiks, ning arvestame, et ka siin peab olema tagatud *32 mH2O*. Seega võrdust (1) kohandades:

$$Z_R + H_R = Z_B + H_B + h_L \qquad (3)$$

Leiame võrdusest (3) reservuaari vabasurve, arvestades, et uueks kriitiliseks punktiks on „*B*“.

$$15 + H_R = 11 + 32 + 4.27 \quad (4)$$

(Arvestasime ka, et *toru (1)* rõhukadu on: $h_L = 4.27\ m$)

Võrdusest (4) leiame: $H_R = 32.27\ m$

b) Teise variandina teeme täpselt sama läbi, kuid arvestame punktis „*B*“ olevat tegelikku vabasurvet, see on: $H_B = 30.29\ m$.

Saame võrdust (3) kasutades:

$$15 + H_R = 11 + 30.29 + 4.27 \quad (5)$$

Siit saame, et: $H_R = 30.56\ m$

Ära aga ei tohi unustada, et meil polnud punktis „*B*“ täidetud tingimus *32 mH2O*. Seega korrektne vastus oleks, kui leiame punktis „*B*“ saadud reaalse väärtuse ja tingimusena esitatud väärtuse vahe, s.o $\Delta H = 32 - 30.29 = 1.71\ m$ ning liidame selle väärtusele H_R, mille saime variandis (b):

$$H_R = 30.56 + 1.71 = 32.27\ m$$

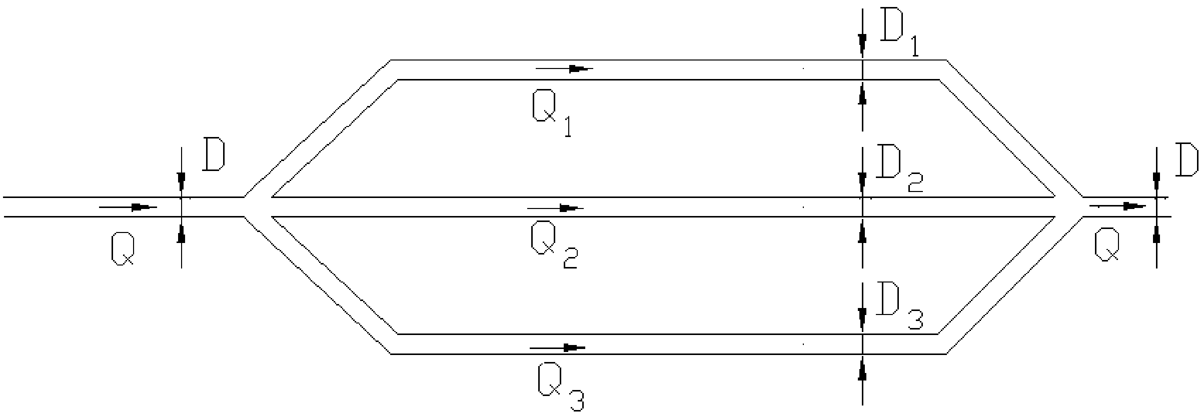
Nagu näha, saime nii variandi (a) kui (b) korral sama tulemuse. See polnud juhus, vaid nii võib alati teha. Tegemist on lineaarsete protsessidega ja me võime selliselt seega puuduoleva rõhu lõpptulemusele juurde liita. Siiski, erilist tähelepanu tuleb pöörata, et ükskõik millise variandi kasuks te otsustate, kontrollida, et lahenduskäik sisaldab õigeid arvväärtusi.

See lõpetab ülesande.

Vooluhulkade tasakaal

Järgnevalt veel üks ülesanne, kus rõhku pööratakse ennekõike sellele, mismoodi käib käsitsi arvutamine torustikes olevate vooluhulkade tasakaalustamiseks.

Tegemist on paralleeltorustiku näitega.



Joonis 3.

Olgu meil tegemist *joonisel 3* esitatud paralleeltorustikuga. Voolavaks vedelikuks on loomulikult vesi. Veidi omapärase temperatuuriga: . Olgu vooluhulk enne jagunemist *56,6 l/s*. Toru läbimõõdud on: D_1*=102mm*, D_2*=152mm*, D_3*=203mm*. Paralleeltorud on kõik ühe pikkusega, teisisõnu: $L_1=L_2=L_3=304{,}8m$. Toru materjaliks on teras. Kohtsurvekadusid arvestamata, leida vooluhulgad Q_1, Q_2, Q_3 ja rõhukaod paralleeltorustikes?

Lahendus:

Teatavasti pidevustingimusest lähtudes, peavad vooluhulgad torudes andma summaarselt kokku esialgse vooluhulga:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 56.6\ l/s$$

Leiame torude ristlõiked, mida hiljem arvulise väärtusena kasutame:

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = 0.0082\ m^2\ ,$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = 0.01815\ m^2\ ,$$

$$A_3 = \frac{\pi D_3^2}{4} = 0.0324\ m^2\ .$$

Pidevusvõrrandist tuletame vastavad kiirused:

Üldjuhul: $v = \frac{Q}{A}$,

Rakendades seda vastavatele torudele ja tuues sisse välja arvutatud ristlõikepindala saame,

$$v_1 = \frac{Q_1}{0.0082}\ ,\ v_2 = \frac{Q_2}{0.0181}\ ,\ v_3 = \frac{Q_3}{0.0324}\ .$$

Nüüd leiame ka toru pikkuse ja diameetri vahelise suhte (seda saame kasutada *Darcy-Weisbach*`i valemis):

$$\frac{L_1}{D_1} = \frac{304.8}{0.102} = 2988 \ ,$$

$$\frac{L_2}{D_2} = \frac{304.8}{0.152} = 2005 \ ,$$

$$\frac{L_3}{D_3} = \frac{304.8}{0.203} = 1501 \ .$$

ning kasutades *Darcy-Weisbach*`i rõhukao arvutamise valemit

Üldkuju: $h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$.

Ning teades, et $v = \frac{Q}{A}$, saame (peale arvude läbijagamist ja korrutamist):

$$h_{L1} = 2264925 f_1 Q_1^2 \ ,$$

$$h_{L2} = 310215 f_2 Q_2^2 \ ,$$

$$h_{L3} = 72877 f_3 Q_3^2 \ .$$

Viimased võrdused annavad meile kaks sõltumatut võrrandisüsteemi, ning teades, et rõhukaod kõigis torudes on võrdsed ehk teisisõnu:

$$h_{L1} = h_{L2} = h_{L3}$$

saame leida vooluhulgad (arvestades muidugi tingimust: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 56.6$ *l/s*), eeldades väärtusi: f_1, f_2, f_3 .

Seega saame:

$$Q_2 = 2.70 \sqrt{\frac{f_1}{f_2}} Q_1 \ ,$$

$$Q_3 = 5.57 \sqrt{\frac{f_1}{f_3}} Q_1 \ .$$

Nüüd asendame vooluhulkade summa avaldises viimati leitud avaldised ja saame:

$$Q_1 + 2.70 \sqrt{\frac{f_1}{f_2}} Q_1 + 5.57 \sqrt{\frac{f_1}{f_3}} Q_1 = 0.0566 \quad (m^3/s)$$

Peale teisendusi:

$$Q_1\left(1+2.70\sqrt{\frac{f_1}{f_2}}+5.57\sqrt{\frac{f_1}{f_3}}\right)=0.0566 \qquad (m^3/s)$$

ja avaldades:

$$Q_1=\frac{0.0566}{\left(1+2.70\sqrt{\frac{f_1}{f_2}}+5.57\sqrt{\frac{f_1}{f_3}}\right)} \quad .$$

Esimeses lähenduses eeldame, et $f_1 = f_2 = f_3 = 0.01$

Saame:

$Q_1 = 0.0061\ m^3/s$,

$Q_2 = 0.0165\ m^3/s$,

$Q_3 = 0.0340\ m^3/s$.

$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.0566\ m^3/s$

Vastus on seega suhteliselt hea!

Leiame vastavad kiirused:

$v_1 = 0.74\ m/s$,

$v_2 = 0.91\ m/s$,

$v_3 = 1.05\ m/s$.

Viskoossus: $\upsilon = 8.64 \cdot 10^{-7}$ (m^2/s)

Nüüd leiame vastavad *Reynolds*`i arvud:

$Re_1 = 8.75 \cdot 10^4$,

$Re_2 = 1.6 \cdot 10^5$,

$Re_3 = 2.47 \cdot 10^5$.

ja suhteline karedus:

$\frac{e_1}{D_1} = 0.00045$,

$\frac{e_2}{D_2} = 0.00030$,

$$\frac{e_3}{D_3} = 0.000225 .$$

Moody diagrammilt saame vastavad karedustegurid:

$f_1 = 0.0208$,

$f_2 = 0.0185$,

$f_3 = 0.0170$.

Nüüd saame leida uued vooluhulgad:

$Q_1 = 0.0056\ m^3/s$,

$Q_2 = 0.0160\ m^3/s$,

$Q_3 = 0.0345\ m^3/s$.

$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.0561\ m^3/s$

Vastavalt ka uued kiirused:

$v_1 = 0.68\ m/s$,

$v_2 = 0.88\ m/s$,

$v_3 = 1.06\ m/s$.

Uued *Reynolds*`i arvud seega:

$Re_1 = 80278$,

$Re_2 = 154815$,

$Re_3 = 249051$.

ning karedustegurid:

$f_1 = 0.0208$,

$f_2 = 0.0184$,

$f_3 = 0.0169$.

Näeme, et erinevused algsetega on piisavalt väikesed (~2%), et võime rahule jääda, seega saame:

$Q_1 = 0.0056\ m^3/s$,

$Q_2 = 0.0160\ m^3/s$,

$Q_3 = 0.0346\ m^3/s$.

Kuna rõhukadu igas torus on ühesugune, võib seda arvutada järgnevalt:

$$h_L = f_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{v_1^2}{2g} = 0.0208 \cdot 2988 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot 9.81} = 0.2039 \cdot v_1^2 = 0.2039 \cdot \frac{Q_1^2}{A^2} = 1.46\ m$$

See lõpetab ülesande.