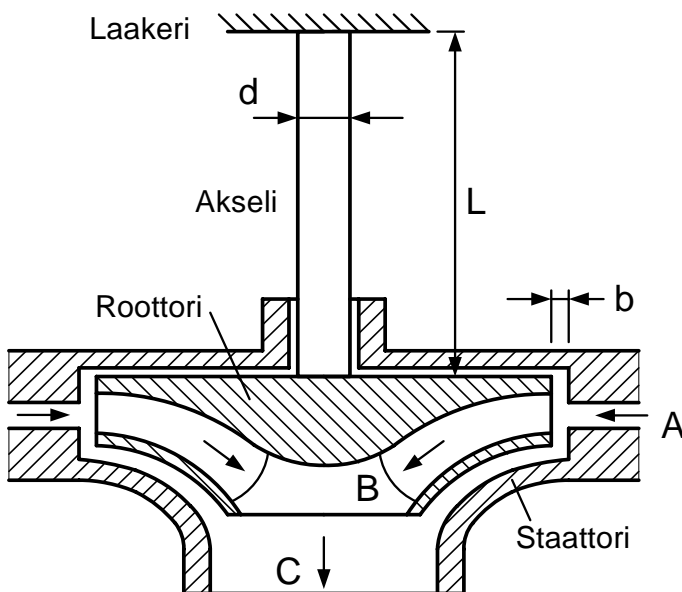


a) Kuvan vääntövärähtelysysteemissä pyörän hitausmomentti on $I_0 = 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ja pyörimisliikettä vastustavan vaimentimen vaimennusvakio $c_\theta = 300 \text{ Nm} \cdot \text{s}$. Akseli on terästä ja sen pituus on $L = 1 \text{ m}$ ja halkaisija $d = 40 \text{ mm}$. Teräksen liukumoduuli on $G = 80 \text{ GPa}$. Pyörään vaikuttaa harmonisesti vaihteleva kuormitusmomentti $M_0 \sin \Omega t$, jonka amplitudi $M_0 = 1 \text{ kNm}$. Pyörän pakkovärähtelyn kulma-amplitudin havaitaan tällöin olevan 2° . Määritä kuormitusmomentin kulmataajuus Ω ja suurin tukeen A siirtyvä momentti. **1,5 p.**



b) Kuvassa on esitetty periaatekuva Francis-turbiinista. Vesi virtaa tuloaukoista A siipiin B ja sieltä poistokanavaan C pyörittäen näin roottoria. Roottorin massa on $m_r = 250 \text{ kg}$ ja epätasapaino $m_0 e = 5 \text{ kg} \cdot \text{mm}$. Roottorin ja staattorin välinen välys on $b = 5 \text{ mm}$. Turbiinia käytetään pyörimisnopeusalueella $600 \dots 6000 \text{ r/min}$. Roottorin akselin pituus on $L = 2 \text{ m}$ ja se on terästä, jonka kimmomoduuli on $E = 210 \text{ GPa}$. Akselin oletetaan kiinnittyvän taivutuksen suhteen jäykästi laakeriin. Mitoita akselin halkaisija d siten, että roottorin ja staattorin välillä on välys koko pyörimisnopeusalueella. Vaimennusta ei oteta huomioon. Laske vielä roottorin epätasapainosta johtuva suurin laakeriin kohdistuva voima. **1,5 p.**

c) Autoa mallinnetaan yhden vapausasteen systeemillä, joka voi värähdellä pystysuunnassa. Autolla ajetaan pitkin tietä, jonka pinnan muotoa approksimoidaan sinikäyrällä. Käyrän jakson pituus on $j = 35 \text{ m}$ ja amplitudi $b = 0,1 \text{ m}$. Auton pystysuuntaisen värähtelyn ominaistaajuus on $f = 2 \text{ Hz}$ ja iskunvaimennuksen vaimennussuhde $\zeta = 0,15$. Määritä auton pakkovärähtelyn amplitudi, kun sillä ajetaan nopeudella $v = 60 \text{ km/h}$. Millä nopeudella ajettaessa pakkovärähtelyn amplitudi on suurin ja paljonko se on? **1 p.**