

III Tehnikaolümpiaad

Praktiline osa

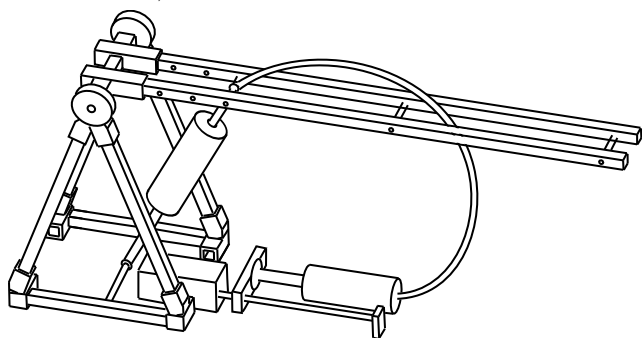
Iga ülesanne tuleb lahendada eraldi lehel ja igale lehele kirjutada oma kood.

P1. Tõstesild (10 p.)

Muuga sadamasse planeeritakse jalakäijate silda, et võimaldada mugavamat liikumist erinevate kai-
de vahel. Kuna sadamas on palju laevaliiklust, siis peab sild olema ülestõstetav. Noor ja kogematu insener otsustas enne projekteerimistöde algust valmistada sillast lihtsustatud mudeli, et kasutatavatest mehhanismidest paremini aru saada ja kitsaskohti ette näha.

Mudel

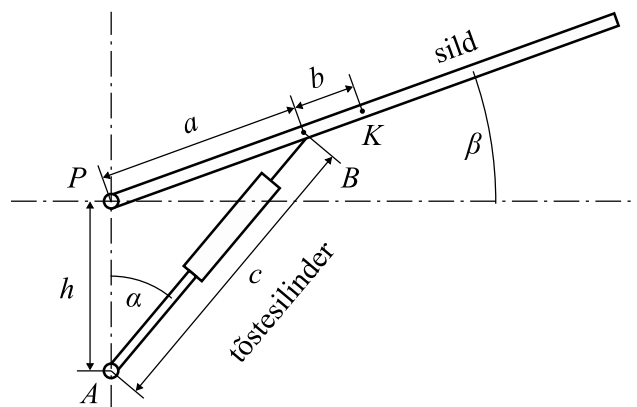
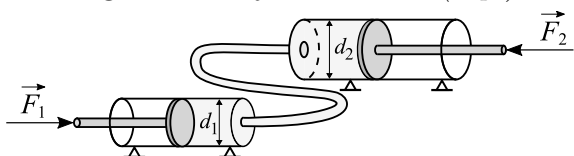
Tõstesilla mudel (vt Joonis 1) koosneb alusplaadist, tugiraamist ja silla peataladest, mille otsa on kinnitatud raskused. Tõstemehanism koosneb veega täidetud ühendatud süstaldest, mis on üle-
kandemehanismi abil ühendatud alusplaadi küljes oleva elektrimootoriga. Kahe lüliti abil saab silda tõsta ja langetada. Et võimas mootor detaile ära ei lõhuks, on ülekandevõlli otstesse paigaldatud ohutuslüitid, mis voolu katkestavad.



Joonis 1: Tõstesilla mudeli skemaatiline joonis (alusplaat näitamata).

Ülesanne. Osad a) ja b) on teoreetilised.

a) Järgneval joonisel on näidatud veega täidetud ühendatud süstlad, mis on jäigalt alusele kinnitatud ja nende kolvid vaadeldaval hetkel ei liigu. Süstalde sisediaameetrid on $d_1 = 12$ mm ja $d_2 = 15$ mm ning vasakpoolsele kolvile mõjub jõud $F_1 = 8$ N. Kui suur jõud F_2 mõjub parempoolsele kolvile ja kui suur ülerõhk p on süstaldes? Hõõrdejõududega ei ole vaja arvestada. (1 p.)



Joonis 2: Tõstesilla arvutuslik skeem. A - tõstesilindri alumine kinnituspunkt, B - tõstesilindri ülemine kinnituspunkt, P - silla pöörlemiselje asukoht, K - silla keskpunkt.

b) Olgu sild tõstetud nurga β võrra ($0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$) ja toetatud ainult punktidest P ja B. Silla mass on m ja see on ühtlaselt jaotunud üle silla pikkuse. Toetuspunkti B ja silla keskpunkti K kaugused pöörlemiseljest on a ja $a + b$. Kui suur jõud F mõjub tõstesilindris? Millise nurga β korral on silindris mõjuv jõud maksimaalne? Mis on sellisel juhul suhe F/mg ? (4 p.)

c) Vaatleme nüüd tõstesilla füüsilist mudelit, millega saab katseid teha. Lisaks on kasutada kaks multimeetrit; mõõdulint, mille null-lugemi kõrgus laua pinnast (kui mõõdulint on püstises asendis) on 7 cm; dünamomeeter ja kaks erinevate mõõtmetega tõstesilindrit (süstalt), mille paigutamiseks on valida kahe erineva kinnituspunkti B vahel. Tõstesild on vaja silindri abil tõsta horisontaalasendist nii kõrgele, et silla otsas olev raskust kandev telg on laua pinnast 50 cm kõrgusel. Leidke, millise tõstesilindri ja millise kinnituspunkti korral on tõstesilla mudeli kasutegur suurim. Mida tuleks mudeli juures parandada, et kasutegurit suurendada? (5 p.)

Märkus: Tõstesilindrite vahetamiseks laske kõigepealt sild alla nii, et vahetatav süstal oleks veest tühi (pumbasilinder ja voolik on seejuures vett täis). Eemaldage süstal ettevaatlikult vooliku otsast ja vahetage teise vastu. Ärge jätkke õhku süstlasse.

P2. Elektroonika jahutamine (12 p.)

Vastavalt Joule'i-Lenzi seadusele toodavad kõik elektroonikakomponendid elektrivoolu toimel soojusenergiat, mistõttu nende temperatuur kasvab. Liiga kõrge temperatuur on komponentidele kahjulik ja seega on neid sageli vaja spetsiaalselt jahutada, et tagada normaalne töörežiim.

Vesijahuti

Vesijahuti kujutab endast metallist keha, mille välispind puutub kokku jahutatava elektroonikakomponendiga ning mille sees on kanalid kus liigub vesi. Kanalid on voolikute abil ühendatud suurema reservuaariga, kuhu jääksoojust edasi kantakse. Vesi sobib hästi soojuse ülekandjaks tänu oma suurele soojusmahtuvusele.

Jahuti sisepinna soojuseralduse kirjeldamiseks kasutatakse konveksioonitegurit h ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), mille üldine definitsioon antakse kujul

$$h = P/(A \cdot \Delta T),$$

kus P on jahutatavalt pinnalt eralduv soojusvõimsus, A on jahutatav pindala ning ΔT on jahuti ja vee temperatuuride vahe. Tegur h sõltub peamiselt jahutit läbiva vee vooluhulgast ja jahuti geomeetriast. Antud ülesandes kasutatava jahuti jaoks kehtib hästi valem

$$h_J = \lambda_{\text{vesi}} \sqrt{v/D},$$

kus $\lambda_{\text{vesi}} = 0,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ on vee soojusjuhtivustegur, v on voolukiirus ja D on voolukanali diameeter. Jahuti soojusvahetustegur Y ($\text{W}/^\circ\text{C}$) defineeritakse nüüd kujul

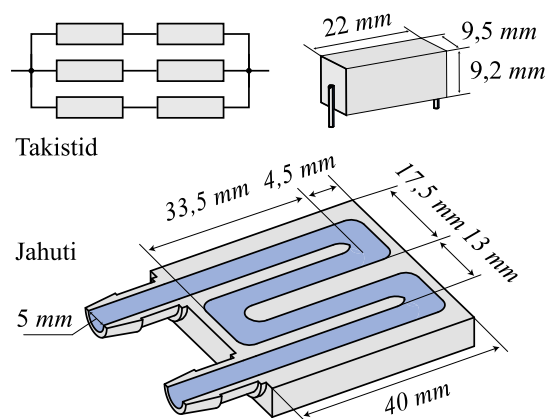
$$Y = h_J A_J,$$

kus A_J on voolukanali sisepinna pindala. Eksperimentaalselt saab seda määrata kui jagada sisendvõimsus P küttekeha ja jahutusvee temperatuuride vahel:

$$Y = P/\Delta T.$$

Katsevahendid

Teile on antud trükkplaat keraamiliste takistitega, mis kuumenevad toiteallika voolu toimel (vt Joonis 4). Takistite ja siseneva vee temperatuuri mõõtmiseks on kaks sensorit. Üks on juba plaadile joodetud ja selle lugemeid näete mikrokontrolleri ekraanil. Teine on juhtmega termomeeter, mis asetatakse vee anumasse. Mikrokontrolleri toitmiseks kasutatakse USB-C kaablit.



Joonis 3: Takistid ja jahuti läbilõige (detail nr. 11 Joonisel 4). Siniselt on näidatud vee voolukanal.

Ülesanne

a) Trükkplaadil on kuus keraamilist takistit, mis on ühendatud paari kaupa rööbiti (vt Joonis 3). Iga takisti takistus on $R = 8,2 \Omega$. Leidke selle ahela summaarne elektritakistus. (1 p.)

b) Rakendage plaadile aeglaselt võimsus $1,5 \text{ W}$ takistitele vesijahutit paigaldamata. Oodake kuni temperatuur saavutab stabiilse väärtuse ja arvutage selle põhjal takisti pinna konveksioonitegur h_T . Takisti mõõdud on esitatud joonisel 3. (2 p.)

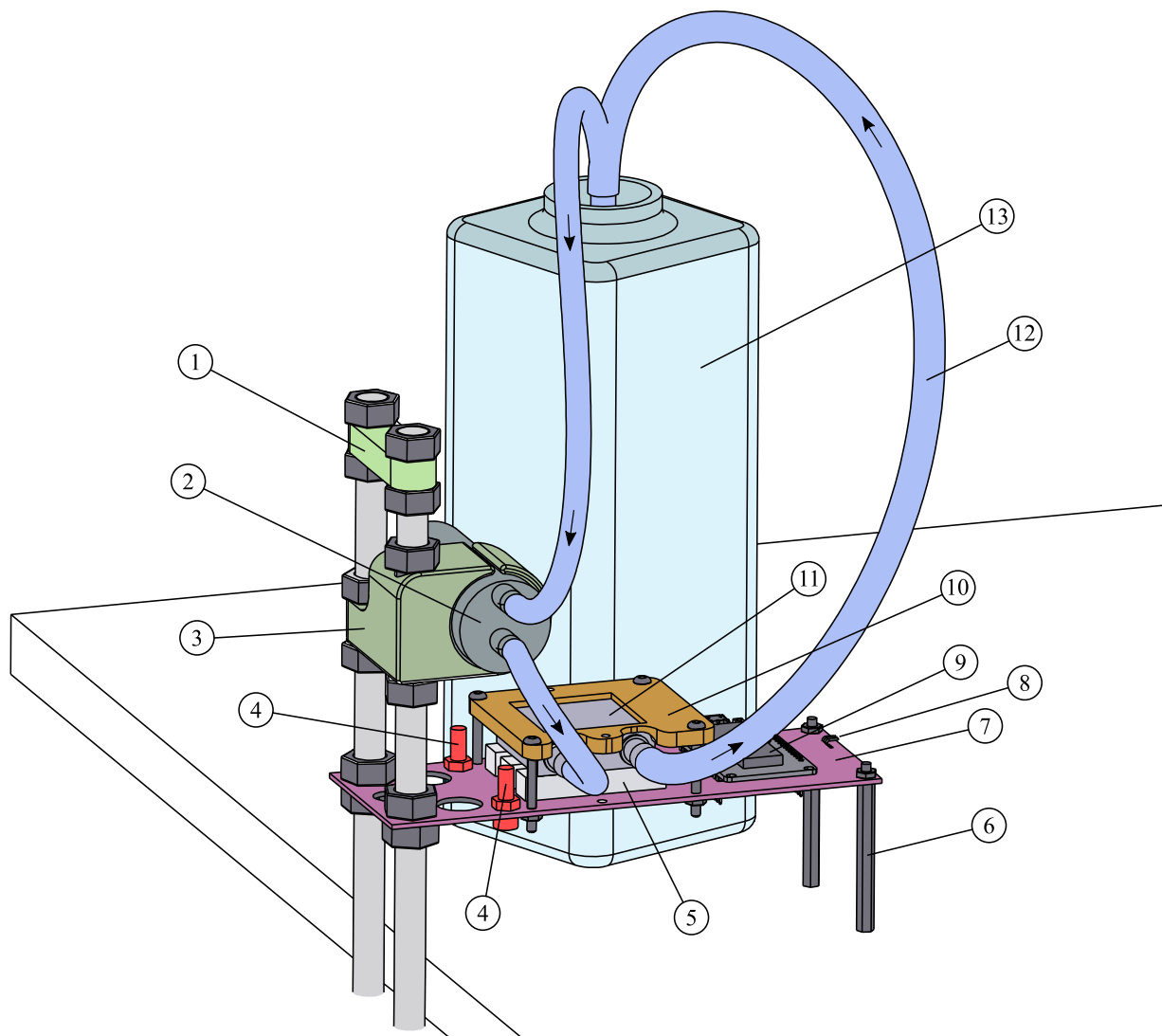
c) Paigalda plaadile jahuti ning selle külge voolikud vastavalt joonisele 2. Enne pumba käivitamist veendu, et süsteem ei leki ja et torustik moodustab suletud kontuuri. Rakenda süsteemile pinge 12 V ning märgi üles takistite temperatuur iga 10 sekundi tagant, kuni see saavutab stabiilse väärtuse. Arvuta mõõtmistulemuste põhjal süsteemi soojusmahtuvus c ja soojusvahetustegur Y . (2 p.)

d) Leia eelnevalt arvatud tulemuste põhjal vesijahuti voolukanali sisepinna keskmine konveksioonitegur h_k . Jahuti geomeetrised parameetrid on esitatud joonisel 3. (1 p.)

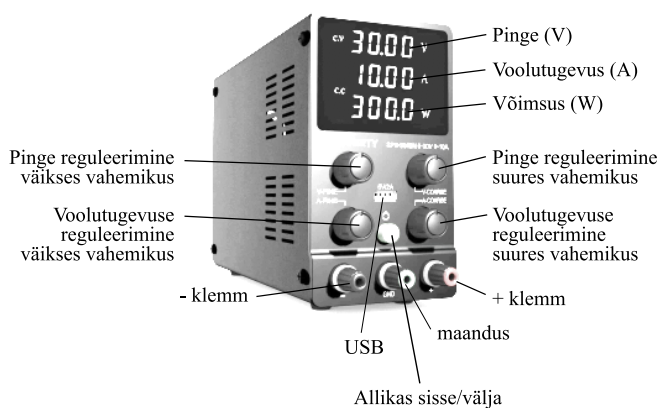
e) Leia teoreetiliselt, milline on maksimaalne võimsus, mida võib takistitele rakendada 10 sekundi jooksul nii, et nende temperatuur ei ületaks $150 \text{ }^\circ\text{C}$? Takistite ja jahutusvee temperatuurid olgu vastavalt $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $25 \text{ }^\circ\text{C}$. (3 p.)

f) Soorita temperatuuride mõõtmised ka järgmistel pingetel: 6 V , 8 V , 10 V . Arvuta vee vooluhulk sõltuvalt pumbale rakendatud voolust ja esita tulemused graafiliselt. (1 p.)

g) Kasuta kogutud mõõteandmeid ja arvuta vee erisoojus c_v . Kust tulevad ebatäpsused? (2 p.)



Joonis 4: Jahutussüsteemi detailid. 1 - varraste kinnitusdetail; 2 - pump, mis elektriliselt ühendatakse takisti toiteklemmidega; 3 - pumba tugi; 4 - takistite toiteklemm; 5 - keraamilised takistid; 6 - trükkplaadi jalad; 7 - trükkplaat; 8 - veepudelis oleva temperatuurisensori ühendus; 9 - mikrokontroller; 10 - jahuti kinnitusplokk; 11 - jahuti; 12 - voolik; 13 - veeanum.



Joonis 5: Vooluallika kasutusjuhend.

Tähelepanu!

- Ülesanne P1: Ei kasuta seda vooluallikat.
- Ülesanne P2: Maksimaalne lubatud pinge on 12 V ja maksimaalne lubatud voolutugevus on 2,5 A.
- Ülesanne P3: Maksimaalne lubatud pinge on 4,5 V ja maksimaalne lubatud voolutugevus on 3 A.

Maksimaalse voolu ja pingi seadistamine (piiramine):

- 1) Keera aeglaselt peale maksimaalne lubatud pinge.
- 2) Lühista + ja - klemmid (pane omavahel kokku).
- 3) Keera aeglaselt peale maksimaalne lubatud voolutugevus.
- 4) Võta juhtmed lühisest lahti ja ühenda koormusega.
- 5) Ära rohkem vooluallika nuppe keera.
- 6) Töö käigus saate vooluahela kiireks katkestamiseks + või - klemmilt juhtme eemaldada (või ka allika välja lülitada, seadistatud U ja I jäävad mällu).

P3. Elektrimootori ehitamine (12 p.)

Selles ülesandes tuleb iseseisvalt valmis ehitada väike elektrimootor. Kasutatav õppekomplekt on valmistatud Saksamaal Leopold Eschke pereettevõttes (www.eschke.com) ja seda on toodetud alates 1935. aastast praktiliselt muutumatul kujul.¹

Tööpõhimõte

Vaatame skeemi joonisel 6 (a). See on nn. jadaergutusega mootor milles staatori mähis A ja rootori mähis F on ühendatud jadasisi. Voolu teekond on tähistatud siniselt. Mähis A tekitab seotud plaadide E ja D vahele magnetvälja ja kogu staator AED moodustab sisuliselt hoburaudmagneti. Rotor F toimib nagu piklik magnet, mis iga poole pöörde tagant pooluseid vahetab (harjad J ja K puutuvad liugkontakte O ja P pöörlemise käigus vaheldumisi, muutes nii voolu suunda rootoris). Selle tõttu mõjub magnetite vaheline jõud ja järelikult ka mootori pöördemoment alati samas suunas.

Mootori pöördemoment T (N·m) sõltub rootori keerdude arvust n_R , rootori pikkusest l_R ja laiusest a_R (m), staatori magnetvoost Φ_S (Wb), staatori plaadi D ristlõikepindalast A_S ja voolust I : $T = n_R l_R a_R \Phi_S I / A_S$. Staatori magnetvoog sõltub omakorda staatori keerdude arvust n_S , voolust I ja magnetahela reluktantsist R : $\Phi_S = n_S I / R$. Reluktants on elektritakistuse analoog magnetahelates ja antud mootori korral on $R = 4,8 \times 10^7$ 1/H. Ilma koormuseta on elektrimootori pöörlemiskiirus ω piiratud Faraday induksiooniseadusest tuleneva vastuelektromotoorjõuga $\mathcal{E}_V = \Phi_S n_R \omega / A_S$.

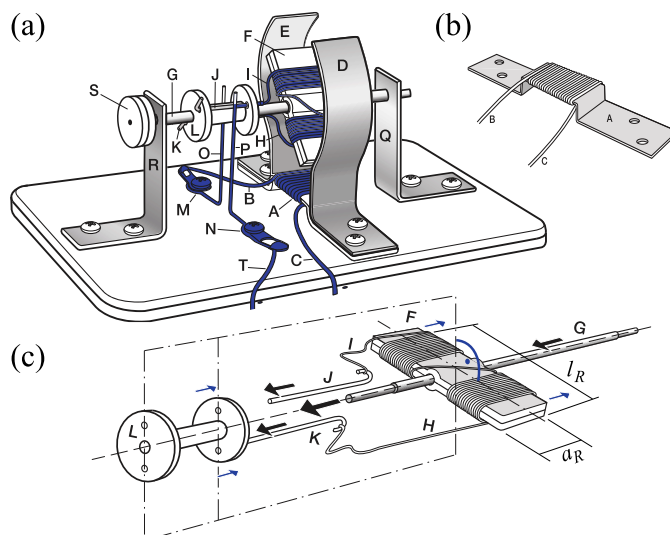
Ülesanne

a) Põhjendage, kasutades muuhulgas ülaltoodud valemeid, miks on kasulik keerdude arvu jaotus staatori ja rootori vahel $n_S = n_R$. (2 p.)

b) Ehitage elektrimootor vastavalt teksti lõpus toodud juhendile. NB! Mootori tööpinge on 4,5 V, suuremal pingel võib mootor läbi põleda. (7 p.)

c) Leidke ehitatud mootori teoreetiline pöördemoment voolutugevuse $I = 2$ A korral. (1 p.)

d) Arvutage ehitatud mootori teoreetiline pöörlemiskiirus kui mootori sisendpinge on 4,5 V (voolutugevus määrake toiteploki abil). Žürii laua juures laske mõõta tegelik pöörlemiskiirus. (2 p.)



Joonis 6: Mootori skemaatilised joonised.

Ehitusjuhend

Staator AED. Keerake traat väga ettevaatlikult lahti ja lõigake kaheks võrdse pikkusega tükiks. Lõigake ühe traadi otsast 10 cm pikkune jupp ja pange kõrvale, ülejäänud osa kerige ühtlaselt ja tihedalt staatori südamik A peale. Lugege samal ajal keerdude arvu! Jätke traadi ots B 5 cm ja ots C 10 cm väljaulatavaks. Eemaldage liivapaberiga traadi otstelt isolatsioonikiht (u. 2 cm pikkuselt). Asetage staatori südamik A ning plaadid D ja E alusplaadile ja kinnitage kruvidega.

Rootor F. Asetage rootori F südamiku kaks poolt üle pöörlemistelje G ja mähkige see ühtlaselt ja tihedalt teise poole traadiga. Lugege samal ajal keerdude arvu! Jälgige, et traati oleks peaaegu võrdselt südamiku mõlemal poolel ja et külgede vahetamisel säilitaksite mähise suuna! Jätke traadi otsad H ja I 3 cm välja ulatuma. Eemaldage traadi otstelt isolatsioon (u. 1 cm).

Voolumuundur L. Painutage tangidega mõlemale vasest harjale J ja K ühte otsa väike aas. Siduge rootorimähise juhtmeotsad H ja I aasade külge nii, et tekiks hea elektriline kontakt. Sisestage harjad voolumuunduri L aukudesse ja painutage otsad kõveraks. Lükake võll G läbi voolumuunduri. Veenduge, et mähise otsad H ja I ei puutuks võlliga kokku. Keerake voolumuundurit L nii, et harjade J ja K tasand oleks risti rootori tasandiga F.

Liugkontaktid OP. Ühendage staatorimähise juhtme lühem ots B klemmiga M. Kinnitage liugkontakt O ja klemm M kruviga alusplaadi külge. Eemaldage kõrvale pandud juhtme T otstest isolatsioon (u. 2 cm) ja ühendage see teise klemmiga N. Kruvige liugkontakt P ja klemm N aluse külge.

Lõplik montaaž. Asetage telg G tugeledele Q ja R ja kruvige need alusplaadile. Lükake veoratas S telje G otsa. Reguleerige liugkontaktid O ja P nii, et need puutuksid harjadega H ja I hästi kokku. Surve peaks siiski olema kerge, et rotor saaks pöörlema. Ühendage juhtmed C ja T vooluallikaga pingel 4,5 V ja käivitage mootor hooratta S abil.

¹selles ülesandes kasutatud joonised pärinevad lehelt <https://www.eschke.com/bauanleitung.html>