

# Tehnikaolümpiaad

## Teoreetiline osa

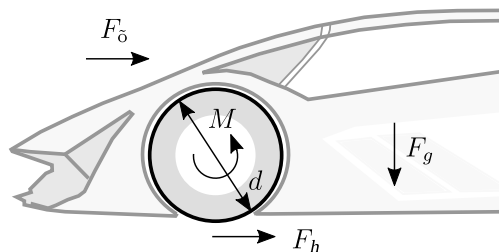
Iga ülesanne tuleb lahendada eraldi lehele ja igale lehele kirjutada oma nimi. Lahendada võib kõiki ülesandeid. Arvesse lähevad 2 suurima punktide arvu saanud ülesannet.

### T1. Elektriauto optimeerimine (10 p.)

Elektriauto arendusmeeskond projekteerib uut linnasõiduks mõeldud energiasäästlikku mudelit. Tähtsaks otsuseks on ratta diameetri ja elektrimootori valimine nii, et need koos kõige energiaefektiivsemalt töötaksid. Sellest sõltub eelkõige maksimaalne teepikkus, mida ühe laadimisega läbida saab. Käesoleva ülesande eesmärgiks ongi välja selgitada, milline ratta diameeter ja milline elektrimootor oleksid koos kõige efektiivsemad linnasõidu kiirusel 50 km/h.

#### Teoreetiline taust

Kiiruse hoidmiseks on vajalik, et ratta võllil oleks väändemoment  $M = \frac{1}{2}F_k d$ , kus  $F_k$  on kogu takistusjõud ja  $d$  on ratta diameeter. Õhutakistusest tulenev jõud on  $F_o = \frac{1}{2}C\rho Av^2$ , kus  $C = 0,25$  on takistustegur,  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$  on õhu tihedus,  $A = 2 \text{ m}^2$  on auto ristlõikepindala ja  $v$  on auto kiirus. Veerehõõrdest tingitud jõud on  $F_h = \alpha F_g$ , kus  $F_g$  on raskusjõud ja  $\alpha = 0,02$  on takistustegur.

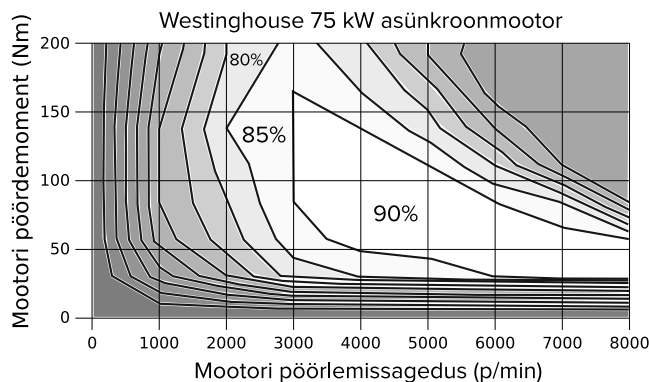
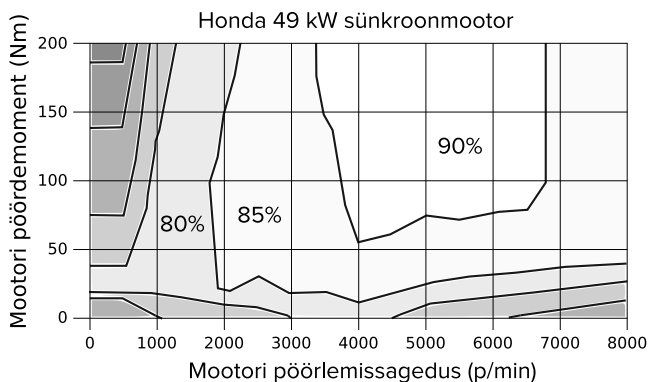
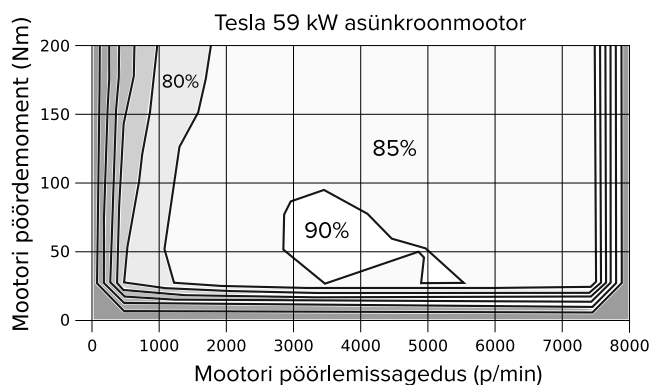
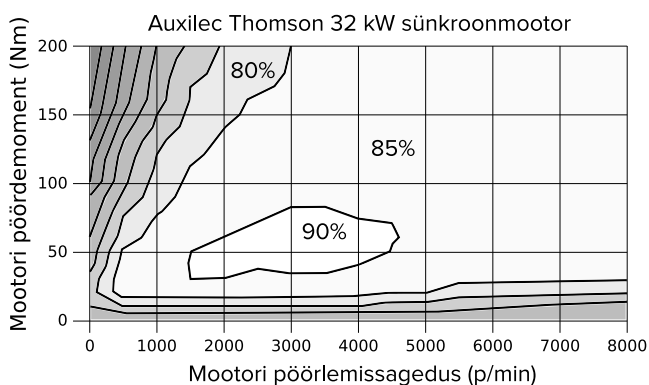


Joonis 1: Elektriautole mõjuvad jõud.

Arvestama peab ka ülekandekadudega elektrimootori ja ratta vahel olevas reduktoris. Reduktor on aeglustava suhtega 1:8 ja kasuteguriga  $\eta = 0,9$ .

#### Ülesanne

- Arvutage mootori väändemoment  $M_0$ , mis on vajalik linnasõidu kiiruse 50 km/h hoidmiseks ratta diameetrite 50, 60 ja 70 cm korral. Auto täismass  $m = 1800 \text{ kg}$ . (5 p.)
- Arvutage ratta diameetritele vastavad mootori pöörlemissagedused ja valige linnasõidu sobilik diameetri ja mootori kombinatsioon joonise 2 põhjal. Põhjendage valikut. (5 p.)



Joonis 2: Efektiivsuse sõltuvus pöördemomendist ja pöörlemissagedusest nelja erineva mootori jaoks

## T2. Nakatumise tõenäosus (12 p.)

Idufirma tooteideeks on seade, mis võimaldab ruumi süsihappegaasi taseme põhjal määrata viirushaigusse nakatumise tõenäosust. Idee kohaselt on toode lihtsalt väike süsihappegaasi mõõtja koos mobiilirakendusega. Kui seadme omanik viibib näiteks loengul, siis sisestab ta rakendusse auditooriumi mõõtmed ja inimeste arvu ning lülitab mõõteseadme sisse. Kui hiljem selgub, et ruumis viibis ka  $n$  nakatunut, siis saab ta kogutud andmete põhjal teada enda nakatumise tõenäosuse. Keerukus seisneb selles, et mobiilirakendus peab muutuva süsihappegaasi taseme põhjal hindama ruumi ventilatsiooniõhu vooluhulka ja sellest lähtuvalt leidma vajaliku tõenäosuse. Käesolev ülesanne keskendubki nimetatud probleemide uurimisele auditoorse loengu või olümpiaadi näitel.

### Teoreetiline taust

Individuaalne nakatumise tõenäosus  $p$  sõltub ruumis viibimise ajast ja arvutub valemiga

$$p(t) = 1 - e^{-WQ_h t},$$

kus  $W$  on keskmine ruumiõhu viiruse kontsentratsioon ruumis viibitud aja jooksul<sup>1</sup> (kvanti/m<sup>3</sup>),  $Q_h$  on inimese keskmine hingatava õhu vooluhulk (m<sup>3</sup>/h) ja  $t$  on ruumis viibitud aeg (h).

Keskmine ruumiõhu viiruse kontsentratsioon sõltub üldjuhul samuti ruumis viibimise ajast  $t$  ja arvutub valemiga

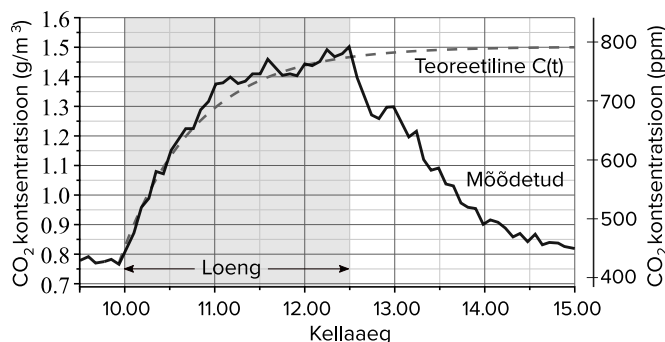
$$W = W(t) = \frac{E}{\lambda V} \left( 1 - \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda t} \right),$$

kus  $E$  on nakatanute viirusosakeste eritamise kiirus (kvanti/h),  $\lambda$  on viiruseosakeste lahjenemise määra iseloomustav koefitsent (1/h) ja  $V$  on auditooriumi ruumala (m<sup>3</sup>). Koefitsent  $\lambda$  on summa kolmest komponendist

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_l + \lambda_o; \quad \lambda_o = Q/V,$$

kus  $\lambda_s = 0,24$  1/h on viiruse osakeste pindadele sadestumise määr,  $\lambda_l = 0,63$  1/h on viiruse lagunemise määr ja  $\lambda_o$  on ruumi õhuvahetuse kordarv, mis antud kontekstis iseloomustab viiruseosakeste õhuvahetusest tingitud lahjenemise määra (1/h).  $Q$  on ventilatsiooniõhu vooluhulk (m<sup>3</sup>/h).

<sup>1</sup>Üks kvant on selline viirusosakeste kogus, mis põhjustab nakatumise tõenäosusega 63,2%.



Joonis 3: Auditooriumis mõõdetud CO<sub>2</sub> kontsentratsioon.

Süsihappegaasi kontsentratsiooni kasvu kirjeldab järgmine teoreetiliselt saadud funktsioon:

$$C(t) = C_0 + \frac{R}{Q} \left( 1 - e^{-\frac{Q}{V}t} \right), \quad (1)$$

kus  $C_0$  on CO<sub>2</sub> kontsentratsioon alghetkel (g/m<sup>3</sup>) ja  $R$  on ruumis viibivate inimeste poolt ühes tunnis eritav CO<sub>2</sub> koguhulk (g/h).

### Ülesanne

**a)** Leidke iseenda jaoks keskmine hingatava õhu vooluhulk  $Q_h$  (m<sup>3</sup>/h) arvestades, et ühe hingetõmbega läbib täiskasvanud inimese kopse umbes 0,6 l õhku (1 m<sup>3</sup>=1000 l). Leidke  $R$  eeldades, et ruumis on 50 inimest ja üks täiskasvanu eritab keskmiselt 37 g CO<sub>2</sub> tunnis. (2 p.)

**b)** Leidke joonise 3 ja valemi 1 põhjal ventilatsiooniõhu vooluhulk  $Q$ . Pange tähele, et kui inimesed ruumist kell 12.30 ei lahkukuks, saavutaks CO<sub>2</sub> konts. pika aja möödudes tasakaaluoleku. (4 p.)

**c)** Arvutage  $\lambda$  ja  $W$  ning nakatumise tõenäosus  $p$ . Eeldage, et viibite ruumis 2,5 h ja seal on üks nakatanu, kes eritab viirust kiirusega  $E = 5$  kvanti/h. Auditooriumi ruumala  $V = 4580$  m<sup>3</sup>. (3 p.)

**d)** Mis on tõenäosus, et ruumis viibijatest nakatub vähemalt üks inimene, kui individuaalne nakatumise tõenäosus on  $p$ ? Arvutage see tõenäosus kasutades varem leitud  $p$  väärtust. (3 p.)

### Tähiste kokkuvõte

$E$	-	nakatanute viiruse erituse kiirus, kvanti/h
$W$	-	keskmine viiruse konts. ruumis, kvanti/m <sup>3</sup>
$\lambda$	-	viiruseosakeste lahjenemise koefitsent, 1/h
$C$	-	CO <sub>2</sub> konts. ruumis, g/m <sup>3</sup>
$C_0$	-	CO <sub>2</sub> konts. välisõhus (ka ruumis alghetkel), g/m <sup>3</sup>
$R$	-	CO <sub>2</sub> eritus ruumis, g/h
$Q$	-	ventilatsiooniõhu vooluhulk, m <sup>3</sup> /h
$Q_h$	-	inimese hingatava õhu vooluhulk, m <sup>3</sup> /h
$V$	-	auditooriumi ruumala, m <sup>3</sup>

### T3. Polümeeri makromolekulid (8 p.)

Ettevõtte vajab kaubapakside kaitsmiseks piisava tugevusega pakkekilet. Kaupluse laos on olemas polüetüleenist valmistatud kile, mille kohta on teada materjali keskmine polümerisatsiooniaste  $\bar{X}$  (selgitus allpool), aga puuduvad andmed tugevuse kohta. Käesolevas ülesandes uuritakse, kas pakutav kile vastab ettevõtte vajadustele.

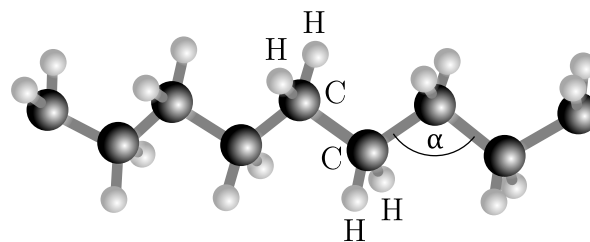
#### Teoreetiline taust

Polümeerid koosnevad pikkadest kovalentselt seotud elementide ahelatest, milles valdav element on üldjuhul süsinik (C). Polümeer sünteesitakse monomeeridest nende korduva liitumise tulemusena. Ahelaga liitunud monomeeri nimetatakse meeriiks. Siin vaadeldava polüetüleeni meeri on ahela lõik  $\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2$  (joonis 4). Meeriide arvu ahelas nimetatakse polümerisatsiooniastmeks  $X$ . Kuna polümeeris ei ole üldjuhul kõik ahelad ühesuguse pikkusega, siis kasutatakse polümerisatsiooniastme ja molaarmassi väljendamisel keskmisi väärtusi.

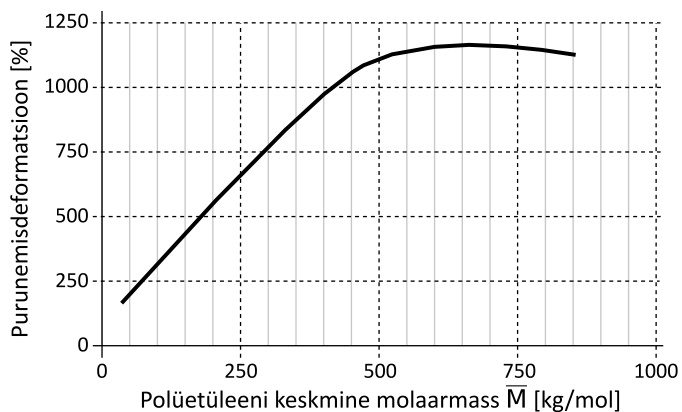
Pakkekile valmistamiseks sobib selline polüetüleen, millel on teatav purunemisdeformatsioon ehk see puruneb tõmbel teatava pikenemise juures. Pakkematerjalidena kasutatavatel polümeeridel on see võrreldes anorgaaniliste materjalidega väga suur, ulatudes mitmesaja protsendini. Purunemisdeformatsioon leitakse katsekeha purunemispikenemise ja algpikkuse suhtest. Polümeerimaterjali purunemisdeformatsioon sõltub ahelate keskmisest polümerisatsiooniastmest ja molaarmassist. PE purunemisdeformatsiooni sõltuvus ahelate keskmisest molaarmassist on näidatud joonisel 5.

#### Andmed

Elemendi C (süsinik) mass  $m_C = 1,994 \cdot 10^{-23}$  g;  
 Elemendi H (vesinik) mass  $m_H = 1,674 \cdot 10^{-24}$  g;  
 Kovalentse C – C sideme pikkus  $L = 0,154$  nm;  
 Nurk C – C sidemete vahel  $\alpha = 109,5^\circ$ ;  
 Avogadro konstant  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ .



Joonis 4: Polüetüleeni ahela lõik



Joonis 5: Polüetüleeni purunemisdeformatsiooni sõltuvus ahelate keskmisest molaarmassist.<sup>2</sup>

#### Ülesanne

Ettevõtte vajab pakkekilet, mille purunemisdeformatsioon on vähemalt 500%, st kile ei tohi laboris tehtud tõmbekatsel puruneda enne, kui see on pikenenud vähemalt viis korda võrreldes algpikkusega. Saadaoleva PE kile kohta on teada, et selle materjali keskmine polümerisatsiooniaste on  $\bar{X} = 10\,000$ .

**a)** Kas kile vastab ettevõtte vajadustele? Vastuse andmisel lähtuda joonisest 5 ja põhjendada arvutustega. Ilma arvutusliku selgituseta, ei või jah vastus arvesse ei lähe. (4 p.)

**b)** Leida kiles keskmist polümerisatsiooniastet  $\bar{X}$  omavate makromolekulide pikkus ruumis (ahela alguse ja lõpu vahekaugus nanomeetrites). (4 p.)

<sup>2</sup>kohandatud teosest G.W. Ehrenstein. Polymeric Materials, Hanser 2001.