

Tehnikaolümpiaad

Teoreetiline voor

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

T1. Korrusmaja (12 p.)

Arhitekt soovib mereranna lähedale projekteerida võimalikult kõrge korrusmaja, mis seisab ainult neljal ühesugusel betoonpostil ja mille maapealsel korrusel on avatud parkla. Inseneri ülesandeks on välja arvutada sellise hoone maksimaalne võimalik korruste arv, mille postid vastu peavad. Postide ja korruste mõõtmed on arhitekti poolt ette antud ja neid insener muuta ei tohi. Posti kandevõime arvutamisel peab insener arvestama korruste oma-kaaluga, inimeste ja sisustuse kaaluga ning ka hoone ühele küljele mõjuva tuulekoormusega, mis kandub osaliselt edasi postidesse.

Teoreetiline taust

Ülesandes arvestatakse ainult betooni survetugevusega, mis on üks olulisemaid kriteeriume betoonkonstruktsioonide arvutustes. Sellel eeldusel on betoonposti tugevus määratud ainult maksimaalse lubatava pingega posti ristlõikes. C40/50 klassiga betooni jaoks on see $\sigma_{\max} = 26,7 \text{ N/mm}^2$ ja järelikult on üks post võimeline vastu võtma maksimaalselt jõudu $F_{\max} = \sigma_{\max} S$, kus S on posti ristlõikepindala ruutmillimeetrites. Posti tugevus on tagatud, kui $F_{\text{tegelik}} \leq F_{\max}$.

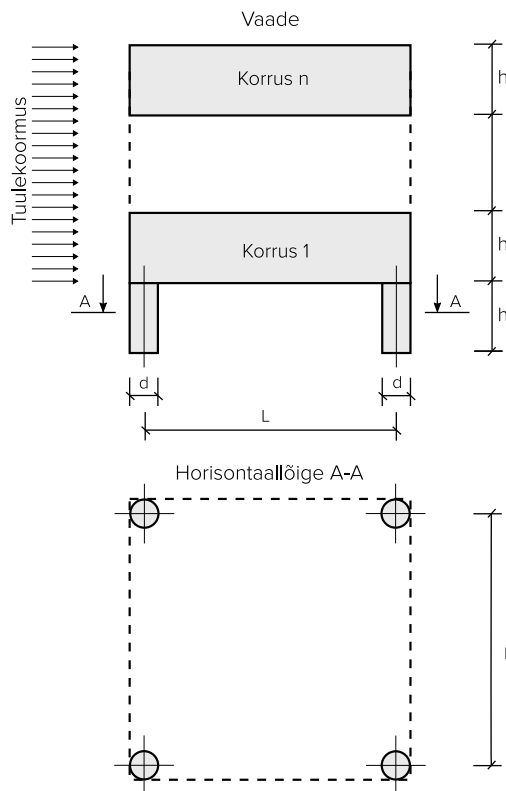
Tegelike jõudude arvutamisel peab iga korruse jaoks arvestama kasuskoormusega (so koormus, mis tuleb inimeste, mööbli jms kaalust) $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$ ja korruse konstruktsioonide keskmise omakaaluga (peamiselt ühtlase paksusega vahelae kaal) $q_0 = 10 \text{ kN/m}^2$. Koos varuteguritega on ühe korruse põrandapinna arvutuslik koormus $q = 1,5q_k + 1,2q_0$, ehk

$$q = 16,5 \text{ kN/m}^2.$$

Lisaks peab arvestama tuulekoormusega. Eeldame, et see mõjub risti hoone ühe külgpinnaga ja on

$$p = 1,0 \text{ kN/m}^2.$$

Lihtsuse huvides ei pea ülesandes arvestama katuse kaaluga, postidele mõjuva tuulekoormusega, lumekoormusega, lõikejõu ja postide stabiilsusega.



Joonis 1: Korrusmaja tugevusarvutuslik skeem.

Lisaks eeldame, et tuulekoormus on kogu kõrguse ulatuses ühtlane.

Ülesanne

- Kirjeldage postide koormusolukorda hoone omakaalu ja tuule koosmõjul. Tehke joonis, millel on näidatud postidele mõjuvad jõud. (2 p.)
- Selles punktis eeldage, et tuulekoormus $p = 0$. Tuletage valem ühele postile mõjuva summaarse jõu F_1 jaoks sõltuvana korruste arvust n ja muudest teadaolevatest parameetritest. (3 p.)
- Tuletage valem ainult tuulekoormuse poolt tekitatud jõu F_2 jaoks ühes suurema koormusega postis sõltuvana korruste arvust n ja muudest teadaolevatest parameetritest. (3 p.)
- Arvestage mõlema eespool leitud jõuga ja tuletage valem maksimaalse lubatud korruste arvu n jaoks. Leidke korruste arv kasutades ülesandes antud arvväärtsusi. Hoone mõõtmed joonisel 1 on $L = 15 \text{ m}$, $h = 4,1 \text{ m}$ ja $d = 1,4 \text{ m}$. (4 p.)

T2. Tuulegeneraatori tasuvusaeg (14 p.)

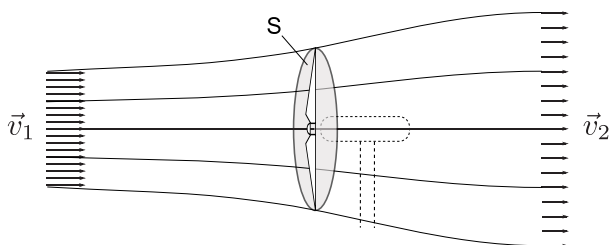
Tuuleenergia on üks peamisi taastuvenergia allikaid ja selle osakaal energia kogutoodangus kasvab pidevalt. Tuuleturbiini abil muundatakse tuule kineetiline energia tuuliku rootori mehaaniliseks energiaks ja see omakorda elektrigeneraatori abil elektrienergiaks. Tuulegeneraatori valmistamiseks aga kulutatakse energiat ja seega tekib siit loomulik küsimus: kui kaua peab tuulegeneraator töötama, et toota tagasi selle valmistamiseks kulunud energia? Käesolevas ülesandes uuritakse ühte realistlikku tuuliku mudelit Eesti tingimustes ja püütakse sellele küsimusele vastata.

Teoreetiline taust

Saab näidata, et tuuleenergia koguvõimsus P_0 ja ideaalsele tuulikule maksimaalselt üleantav võimsus P avalduvad kujul

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho_0 S v_1^3, \quad P = \frac{1}{4} \rho_0 S (v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2),$$

kus v_1 on tuule kiirus enne tuulikut (ehk looduslik tuule kiirus), v_2 on õhu kiirus pärast tuulikut, $\rho_0 = 1,226 \text{ kg/m}^3$ on õhu tihedus ja S on tuuliku efektiivne ristlõikepindala (vt joonis 2).

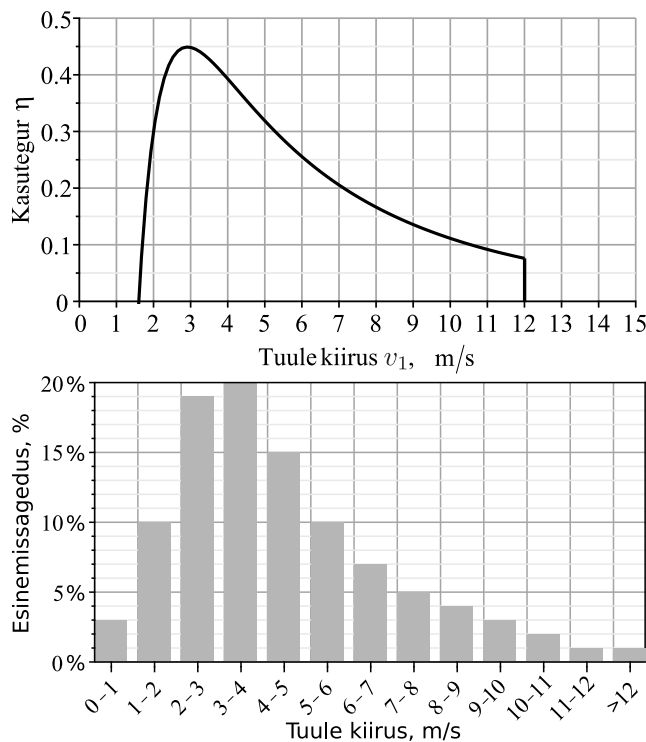


Joonis 2: Õhu liikumine tuuliku labade juures.

Reaalse tuuliku korral ei ole teine ülatoodud valem võimsuse P jaoks rakendatav, sest see on tuletatud idealiseeritud eeldustel ja kiirus v_2 ei ole praktikas teada (selle asemel on märksa keerulisem turbulentsne kiirusväli). Seetõttu leitakse reaalse tuulegeneraatori võimsus katseliselt või keerukaid matemaatilisi mudeleid ja simulatsioone kasutades. Joonise 3 ülemisel graafikul on näidatud selles ülesandes uuritava kolmelabalise tuulegeneraatori “R5000” kasuteguri

$$\eta = P/P_0$$

sõltuvus tuule kiirusest v_1 . Seda kasutades saab leida tuule kiirusele vastava võimsuse P . Teades kiiruste statistikat (alumine graafik joonisel 3), saab leida ka tootlikkuse etteantud ajaperioodil.



Joonis 3: Kolmelabalise tuulegeneraatori “R5000” kasuteguri sõltuvus tuule kiirusest ja Pakril 2006-2015 aastatel mõõdetud tuule kiiruste esinemissagedused.

Ülesanne

a) Leida ideaalse tuulegeneraatori kasuteguri sõltuvus parameetrist $\alpha = v_2/v_1$, st funktsiooni $\eta(\alpha)$. Mis on ideaalse tuulegeneraatori maksimaalne võimalik kasutegur? (3 p.)

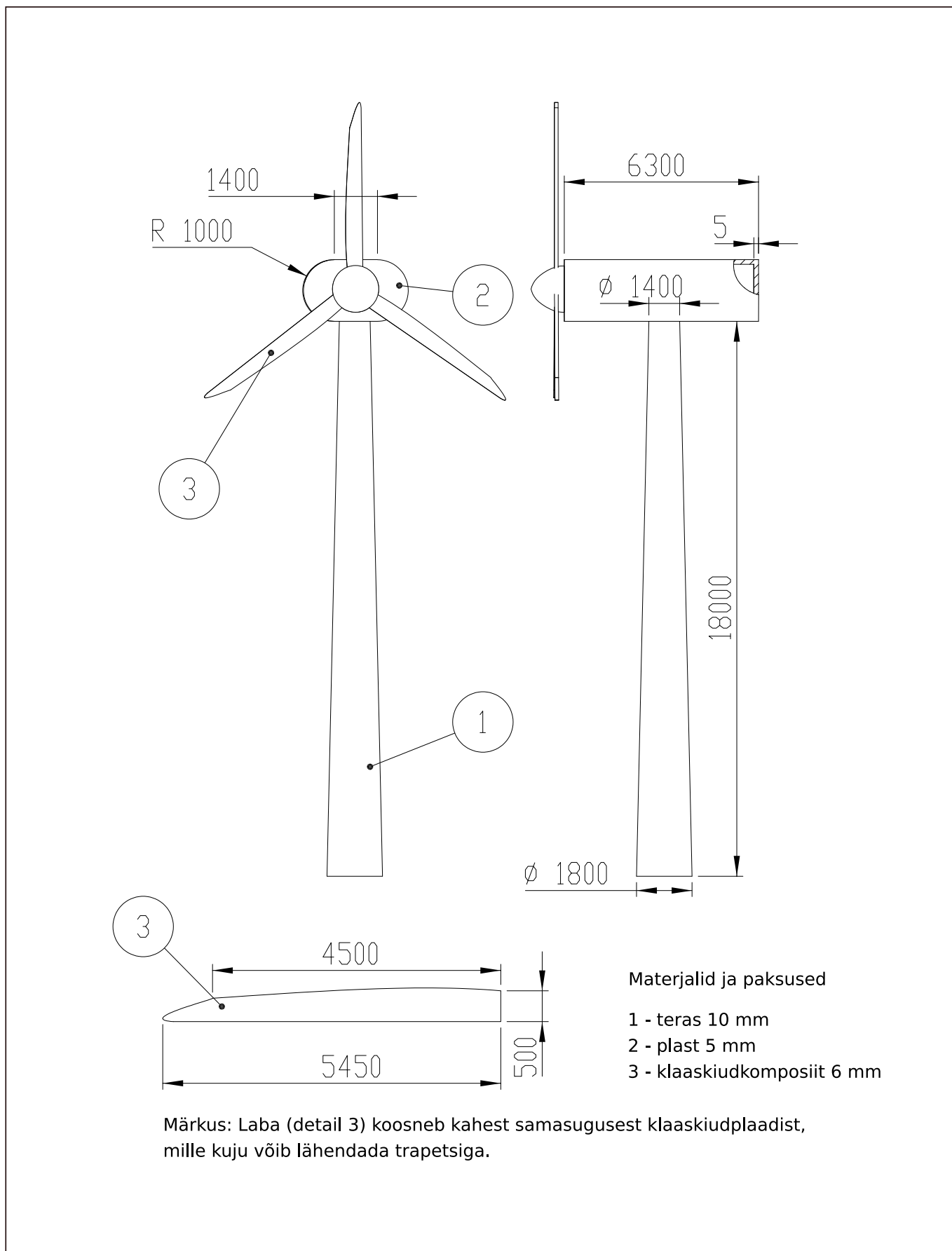
b) Hinnake tuulegeneraatori “R5000” valmistamiseks kuluvat energiahulka. Joonisel 4 on näidatud tuuliku konstruktsiooni kõige mahukamad detailid. Leidke nende valmistamiseks kuluv energia kasutades järgnevat tabelit, kus on toodud materjali tihedused (ρ) ning summaarne energiakulu nende valmistamiseks ja töötlemiseks (E_m).

Tooraine	ρ (kg/m ³)	E_m (MJ/kg)
Teras	7850	26,55
Plast	1330	72,00
Klaaskiudkomp.	2400	48,25

Hea hinnangu kogu tuulikule saab eeldusel, et need detailid moodustavad 75% kogumahust. (4 p.)

c) Arvutage Pakri saarele paigutatud tuulegeneraatori “R5000” aastane energiatoodang. Rootori laba efektiivseks pikkuseks võtke 5 m. (6 p.)

d) Leidke selle tuulegeneraatori energieetiline tasuvusaeg aastates (1 p.)



Joonis 4: Tuulegeneraatori “R5000” konstruktiivsed detailid. 1 – generaatori jalg (teras), 2 – turbiini korpus (plast), 3 – rootori laba (klaaskiudkomposiit). Kõik mõõtmed on antud millimeetrites.

T3. Tselluloos kui plasti tooraine (8 p.)

Aastane tselluloosi toodang biosfääris on 90 gigatonni. Tselluloosipõhiste plastide toodang moodustab seni sellest ainult 0,001%. Seega on tselluloos kõige perspektiivsem looduslik polümeer fossiilsetel maavaradel põhinevate plastide asendamiseks biopõhistega. Tselluloos ei konkureeri toidureessuriga. Samuti saab põllumajanduse jääke tselluloosi allikana ära kasutada. Tselluloosil on head mehaanilised omadused, termopüsivus ja vastupidavus mitmetele levinud lahustitele.

Teoreetiline taust

Tselluloos ei ole tänu makromolekulide vahel esinevatele vesiniksidemetele algkujul termoplastne ja seda ei saa sulaolekus töödelda nagu plasti. Termoplastsus saavutatakse tselluloosi keemilise modifitseerimise teel. Tuntumad on tselluloosi estrid: atsetaat, atsetaat-propionaat, atsetaat-butüraat. Tselluloosi estrid saadakse tselluloosis esinevate hüdroksüülrühmade asendamise kaudu esterrühmadega, mis katkestavad vesiniksidemed ja suurendavad ahelate liikuvust nii, et materjal muutub sulavaks ehk termoplastseks. Täieliku töödeldavuse saavutamiseks tuleb siiski kasutada ka plastifikaatoreid. Tuntuimad tselluloosi estrid on atsetaadid. Tselluloosi korduva ühiku, anhüdroglükoosi kohta võib reageerida kuni 3 hüdroksüülrühma. Kui estri tekkimisel on reageerinud kõik 3 hüdroksüülrühma, siis on saadud tselluloos triatsetaat, kahe hüdroksüülrühma reageerimise korral tselluloos diatsetaat. Tselluloos diatsetaadi valmistamine võib toimuda alloleval joonisel toodud

reaktsiooniskeemi järgi, kus tselluloos reageerib etaanhappe anhüdriidiga, mille tulemusena tekib tselluloos diatsetaat ja etaanhape (Joonis 5).

Materjalina kasutatava tselluloos diatsetaadi koostisesse lisatakse 20 massiprotsenti plastifikaatorit.

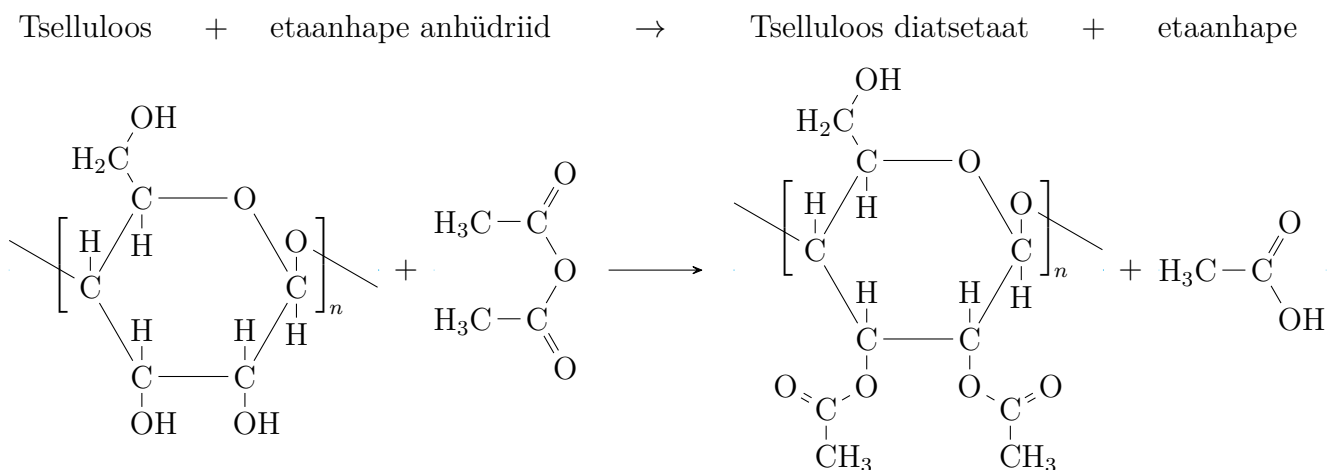
Tselluloosi estrite valmistamiseks kasutatav tselluloos saadakse peamiselt metsandusest, mehaaniliselt väärindamiseks (mööbel, puitehitus) kõlbmatu puidu biomassi keemilise töötamise käigus, mille tulemusena puidu biomassist eraldatakse ligniini, hemitselluloosi ja tselluloosi. Ühest tonnist puidu biomassist saab keskmiselt 0,4 tonni järgnevat estrite sünteesiks sobivat tselluloosi. Ühe tonni puidu biomassi saamiseks kulub keskmiselt 0,62 hektarit metsandusmaad.

Ülesanne

a) Koostage ja tasakaalustage joonisel 5 esitatud keemilise reaktsiooni võrrand kasutades ainete molekulaarvalemiteid (summaarseid valemiteid). Leidke reageerivate komponentide ja produktide molaarmassid (g/mol), teades elementide molaarmasse: $M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$; $M(\text{H}) = 1,01 \text{ g/mol}$; $M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$. (2 p.)

b) Mitu hektarit metsandusmaad kulub ühe tonni materjalina kasutatava, plastifikaatorit sisaldava tselluloos diatsetaadi valmistamiseks (kahe kümnendkoha täpsusega)? (4 p.)

c) Kui palju tekib eelnevalt nimetatud materjali tootmise kõrvalproduktina etaanhapet (tonnides, kahe kümnendkoha täpsusega)? (2 p.)



Joonis 5: Tselluloos diatsetaadi valmistamine (tasakaalustamata reaktsiooniskeem).