

2024/25. õa keemiaolümpiaadi lahtise võistluse ülesanded
Vanem rühm (11. ja 12. klass)
21. september 2024

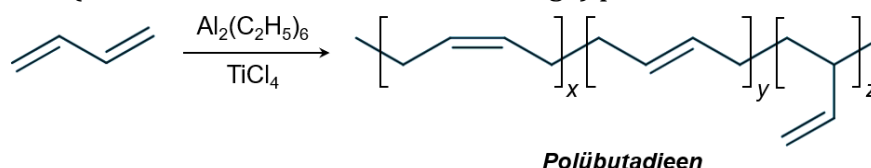
1. Kõrgmolekulaarsed polüeenid

(9 p)

Ziegler–Natta katalüsaatorit kasutatakse kõrgmolekulaarsete polüeenide sünteesimiseks. Mitmekomponentse katalüsaatori üheks koostisosaks on dimeerne $\text{Al}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_6$. See süttib iseeneslikult kokkupuutel hapnikuga, mille tulemusel tekivad valge metallioksiid **A**, süsinikdioksiid ja vesi (**reaktsioon 1**). $\text{Al}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_6$ reageerib ka õhus sisalduva veeauruga, andes valge hüdroksiidi **B** ja gaasilise süsivesiniku **C** (**reaktsioon 2**).

a) Kirjuta ja tasakaalusta **reaktsioonide 1–2** võrrandid. (2)

1,3-butadien moodustab Ziegler–Natta katalüsaatori toimel polümeriseerumisel setereoregulaarseid (s.t kindla stereokeemilise koostisega) polübutadieenahelaid:



b) Vali ühendi valem, mis tekib $\text{Al}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_6$ dissotsiatsiooni käigus. (1)

- $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^-$
- $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^+$
- $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3 \cdot$ (radikaal)
- $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$

c) Vali, millist liiki liitumispolümerisatsiooniga on polübutadieeni sünteesi näol tegu. (1)

- Anioon-initsieeritud polümerisatsioon
- Kation-initsieeritud polümerisatsioon
- Radikaal-initsieeritud polümerisatsioon
- Koordinatsioonipolümerisatsioon

Laboratoorsel analüüsil leiti, et sünteesitud polübutadieeni molaarmass on $108180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Vastavas molekulahelas on *trans*-konfiguratsioonis kaksiksidemeid kaks korda rohkem kui vinüülrühmasid. Seejuures on $x : y$ suhe 23,5.

d) Arvuta x, y ning z alaindeksite väärtused kirjeldatud polübutadieeni molekulahelas. (2)

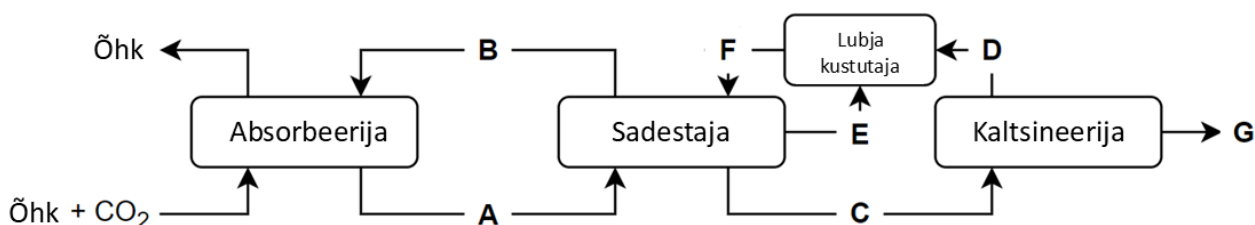
Akrüülnitriilbutadieenstüreen ehk ABS on sünteetiline plastik, millest valmistatakse legoklotse. Liitpolümeer ABS koosneb akrüülnitriili ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CN}$), 1,3-butadieeni ning stüreeni ($\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2$) monomeeridest. On teada, et ABS-i polümeerahel ($M_{\text{ABS}} = 8390 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) sisaldab massi järgi 2,672% lämmastikku ning 1,929 g broomi reageerib täielikult 2,155 g ABS-i proovis sisalduvate 1,3-butadieeni elementaarlülidega moolsuhtes 1 : 1.

e) Arvuta akrüülnitriili, 1,3-butadieeni ning stüreeni elementaarlülide arv N ja massiprotsendiline sisaldus ABS-i polümeerahelas. (3)

2. CO_2 püüdmine

(10 p)

Alltoodud skeemil on kujutatud vahetu CO_2 püüdmine õhust naatriumhüdroksiidi abil. Antud meetod võimaldab toota puhast CO_2 edasiseks kasutamiseks või hoiustamiseks. CO_2 absorbeerija, sadestaja, lubja kustutaja ja kaltsineerija on reaktorid, milles asetleidvate reaktsioonide entalpiad on vastavalt $-84,8$, $-11,6$, $-81,9$ ning $178,3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.



a) Määra arvutustega ühendid A–G kasutades antud standardseid tekkeentalpiaid. (7)

Ühend	NaOH _(aq)	Na ₂ CO _{3(aq)}	CO _{2(g)}	CaO _(t)	Ca(OH) _{2(aq)}	CaCO _{3(t)}	H ₂ O _(v)
ΔH_f° (kJ · mol ⁻¹)	-469,1	-1130,7	-393,5	-635,1	-1002,8	-1206,9	-285,8

CO₂ püüdmise kulu võib tuletada metallkarbonaadi lagundamise hinnast. Ühendi C puhul on vastav hinnanguline kulu 100€ ühe tonni CO₂ kohta. Kulu vähendamiseks võib kasutada madalama lagunemisentaliiaga metallkarbonaate.

b) Arvuta nii MgCO₃ kui ka ZnCO₃ lagundamisprotsesside kulu, kui 2024. aastal on Eestis energiahind 100€·MWh⁻¹. $\Delta H_f^\circ(\text{MgCO}_3\text{(t)}) = -1095,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta H_f^\circ(\text{MgO (t)}) = -601,6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta H_f^\circ(\text{ZnCO}_3\text{(t)}) = -814,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ja $\Delta H_f^\circ(\text{ZnO (t)}) = -348,0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. (2)

c) Arvestades Mg ja Zn keemilisi omadusi, vali, milline järgmistest ühenditest sobiks kõige paremini CO₂ püüdmiseks ja vabastamiseks. (1)

- MgCO₃
- ZnCO₃
- Ühend C

3. Lääkiv mõistatus

(13 p)

Väike asula Põhja-Ameerikas kannab sarnast nimetust kui elemendi Z mineraalne oksiid A, mille hapniku massiprotsent (w_0) on 20,05%. Z mineraalide seas on eriti olulised X₃YZ₂ ($w_Z = 32,90\%$) ja XYZ₄ ($w_Z = 62,61\%$), mis sisaldavad lisaks Z-ile ka väärismetalle X ning Y. Seejuures asuvad metallid X ja Y perioodilisustabelis samas rühmas.

a) Tuvasta arvutustega oksiid A ning elemendid X–Z. (4)

Oksiidi A reageerimisel vesinikperoksiidi ning veega moodustub ortohape B. Ortohappe B kuumutamisel saadakse oksiid C. Oksiidi A reaktsioonil vääveltetrafluoriidiga (SF₄) tekib binaarne ühend D ja eraldub põletatud tiku lõhnaga gaas. Oksiidi C kuumutamisel baariumoksiidiga moolsuhtes 1 : 1 tekib sool E. Soola E reageerimisel fluoroväävelhappega (FSO₂OH) tekivad elementi Z sisaldav tugev üheprootoniline hapnikhape F ($w_0 = 6,68\%$), vees lahustumatu baariumisool ning tugev mineraalhape. Reaktsioonis käitub fluoroväävelhape ainult fluori aatomite doonorina. Ühendite F ja D omavahelisel segamisel moodustub sool G, milles element Z esineb nii kationina kui ka aniooni koostises.

b) Tuvasta ühendid B–G. (6)

Elementi Z kasutatakse päikesepaneelide pooljuhtide sünteesis. Z reageerimisel naatriumboorhüdriidiga (NaBH₄) tekib binaarne sool H ning kaks gaasi. Reaktsiooni läbiviimisel kasutatakse lahustina vedelat ammoniaaki, et reagentide kokkupuude veega oleks minimaalne, sest soola H hüdrolüüsil eraldub mädaküüslaugu lõhnaga gaas I. Pooljuhti J ($w_Z = 53,16\%$) saadakse kaadmium(II)kloriidi segamisel H-ga.

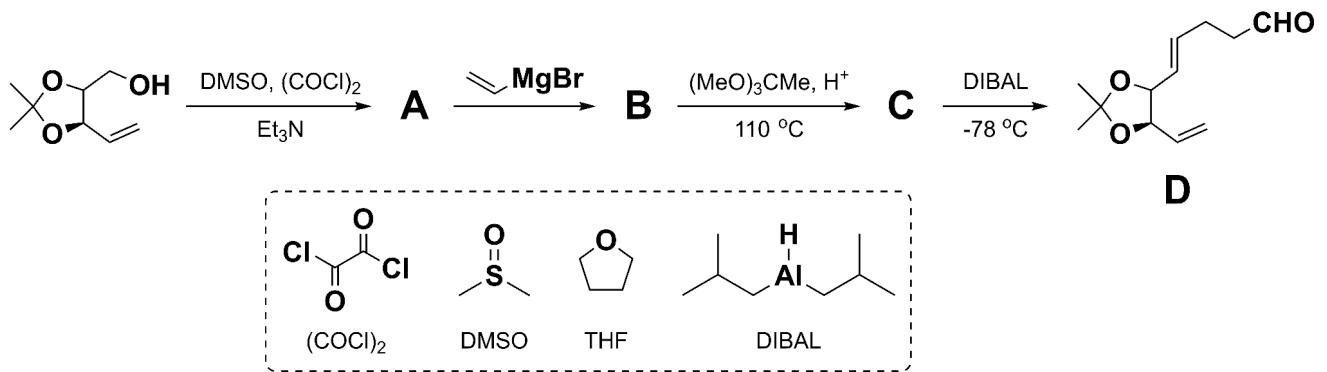
c) Tuvasta ühendid H–J. (3)

4. Tuntud nimed amfidinoliid E sünteesis

(13 p)

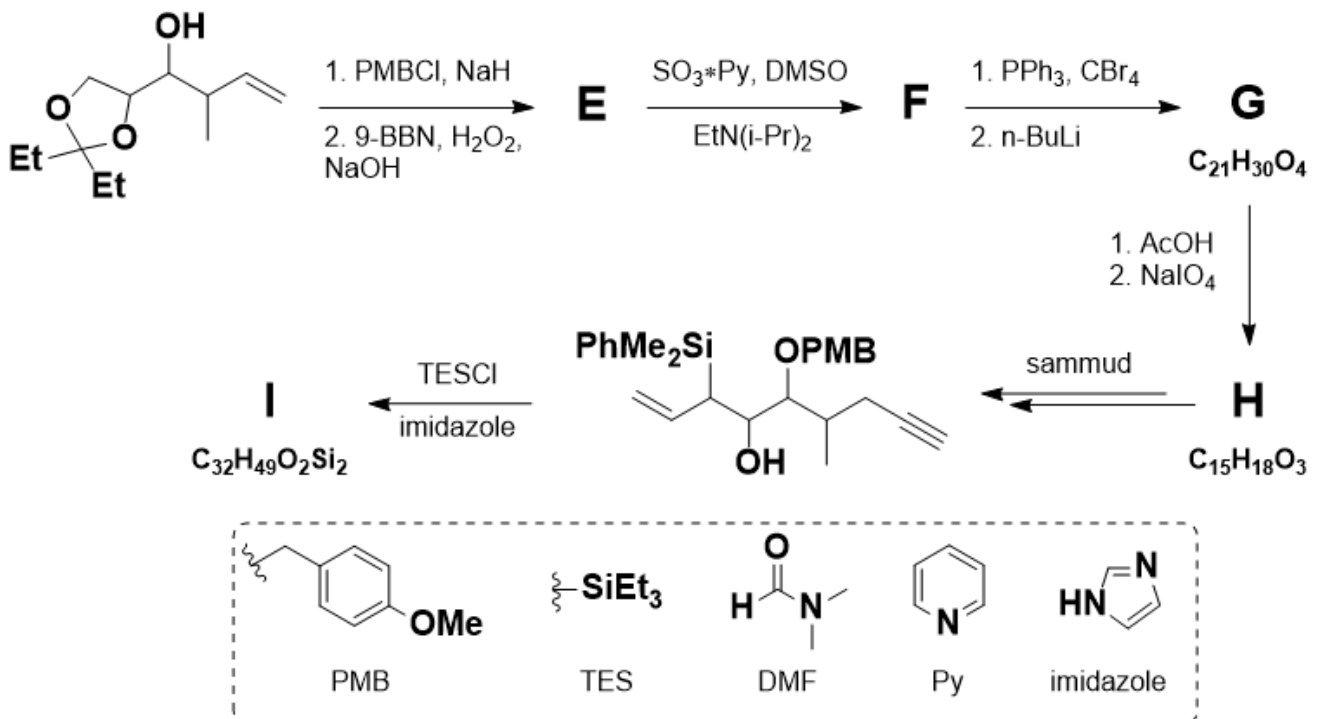
Amfidinoliidid on tugeva vähivastase toimega ühendid, mida on võimalik eraldada *Amphidinium* perekonda kuuluvatest vetikatest. Amfidinoliid E on võimalik sünteesida kahest lihtsamast

ühendist **D** ja **I**. **D** sünteesijada esimeses etapis oksüdeeritakse lähteühend aldehyüdiks **A**. Teises etapis toimub nukleofiilne liitumisreaktsioon ning kolmandas etapis funktsionaalrühmade ümberasetus.



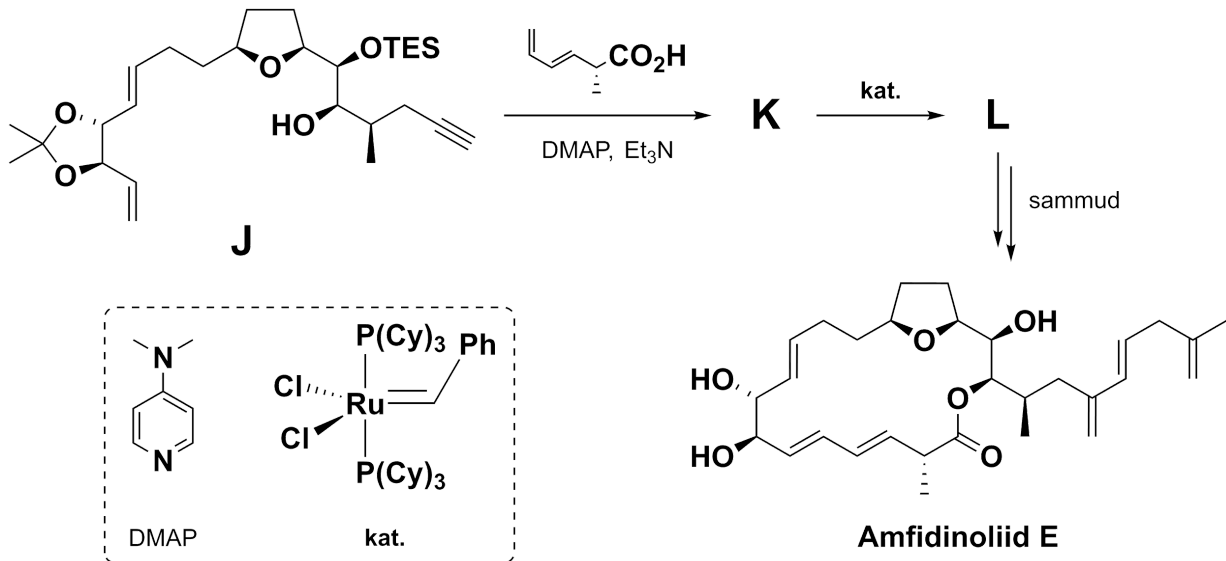
- a) Joonista ühendite **A–C** struktuurivalemid stereokeemiat näitamata. (3)
- b) Vali sammul **B** → **C** toimuva reaktsiooni nimetus. (1)
- Claisen–Johnsoni ümberasetusreaktsioon
- Gabrieli sünteesireaktsioon
- Wittigi reaktsioon
- c) Vali teadlaste nimekirjast prantsuse keemik (1871–1935), kelle järgi on sammul **A** → **B** kasutatav metallorgaaniline reagent (Nobeli preemia 1912) nime saanud. (1)
- Markovnikov
- Grignard
- Claisen
- Suzuki

I sünteesi teises etapis **E** → **F** toimub oksüdeerimine. Kolmandas etapis **F** → **G** suureneb kaksiksideme ekvivalent ühe võrra – esimesel sammul tekib Wittigi reaktsiooniga sarnases reaktsioonis vaheühendina geminaalne dibromoühend, mille edasisel elimineerimisel moodustub kordne side. 9-BBN ehk ingl *banana borane* on diboraaniga (B_2H_6) sarnane redutseerija. $NaIO_4$ on tugev oksüdeerija.



- d) Joonista ühendite **E–I** struktuurivalemid stereokeemiat näitamata. (5)

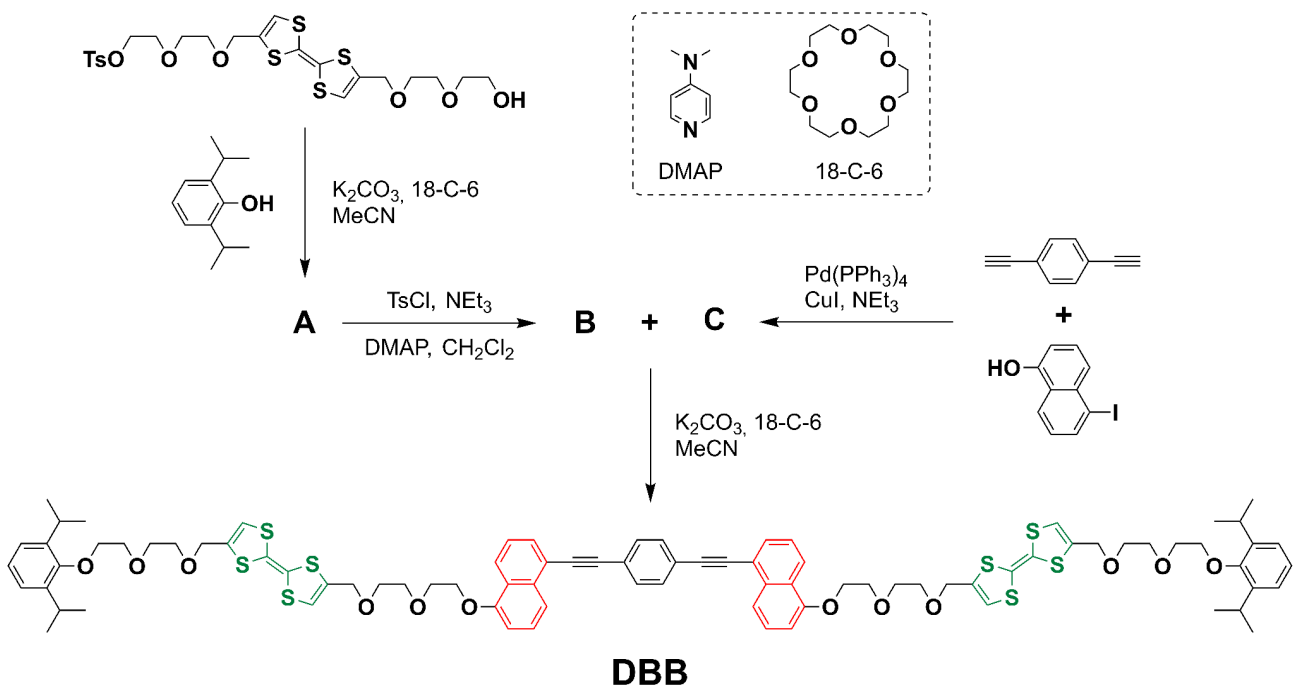
Ühenditest **D** ja **I** sünteesitakse ühend **J**. Sammud **K** → **L** tekib 18-lüliline tsükkel ja eraldub õhust ($M_{\text{õhk}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) kergem gaas.



- e) Joonista ühendite **K** ja **L** struktuurivalemid stereokeemiat näitamata. (2)
- f) Vali, kuidas nimetatakse katalüsaatorit, mis on tähistatud **kat.**-iga. (1)
- Lindlari katalüsaator
 - Ziegler–Natta katalüsaator
 - Friedel–Craftsi katalüsaator
 - Grubbsi katalüsaator

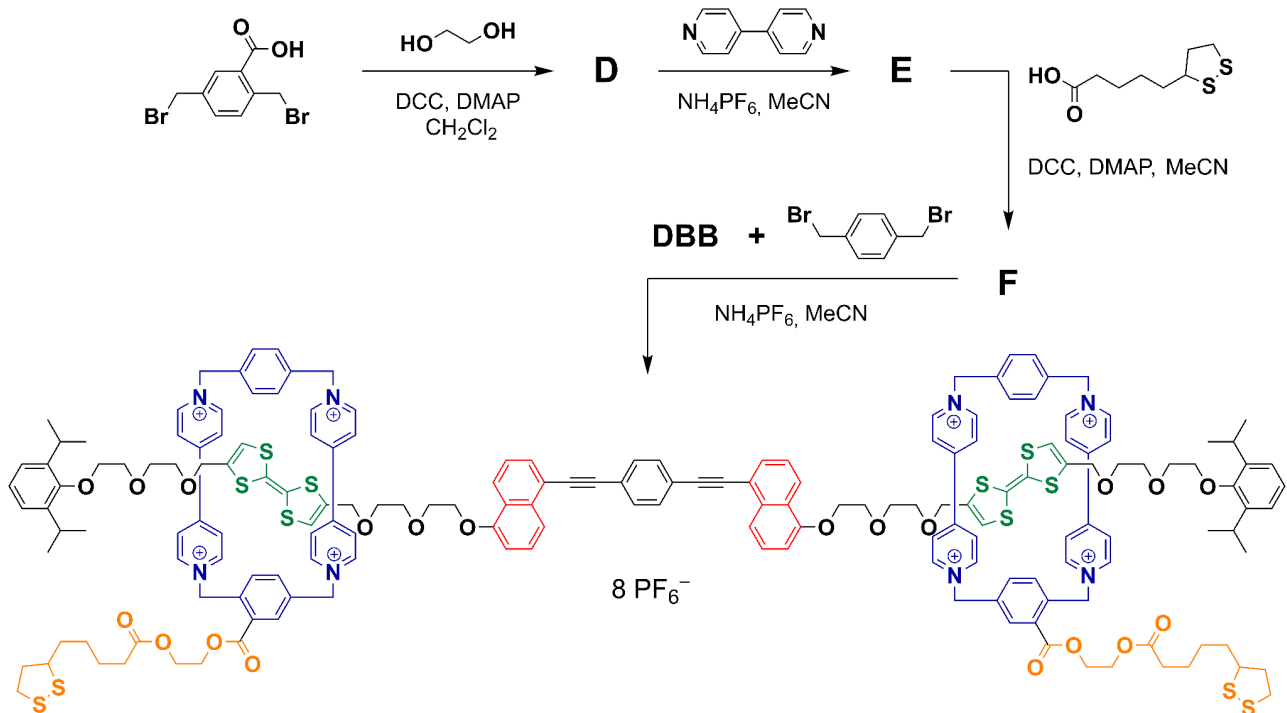
5. Molekulaarsed lihased (9 p)

Rotaksaanid on omavahel mittekovalentsete vastasmõjude läbi mehaaniliselt seotud supramolekulaarsed struktuurid. Rotaksaanid koosnevad ümmargustest makrotsüklitest (ülesandes tähistatud siniselt), mida läbib pikk hantlikujuline molekul. Selliseid komplekseid struktuure kasutatakse kunstlike molekulaarmasinade sünteesis. Hantlikujulist **DBB**-d on võimalik valmistada alltoodud sünteesiskeemi järgi:



- a) Joonista ühendite **A-C** struktuurivalemid. (4)
- b) Vali, mis on **DBB** sünteesil krooneetri (18-C-6) ülesanne. (1)
- Lahusti
 - Nukleofiil
 - Radikaalinitiaator
 - Katioone kelateeriv ligand

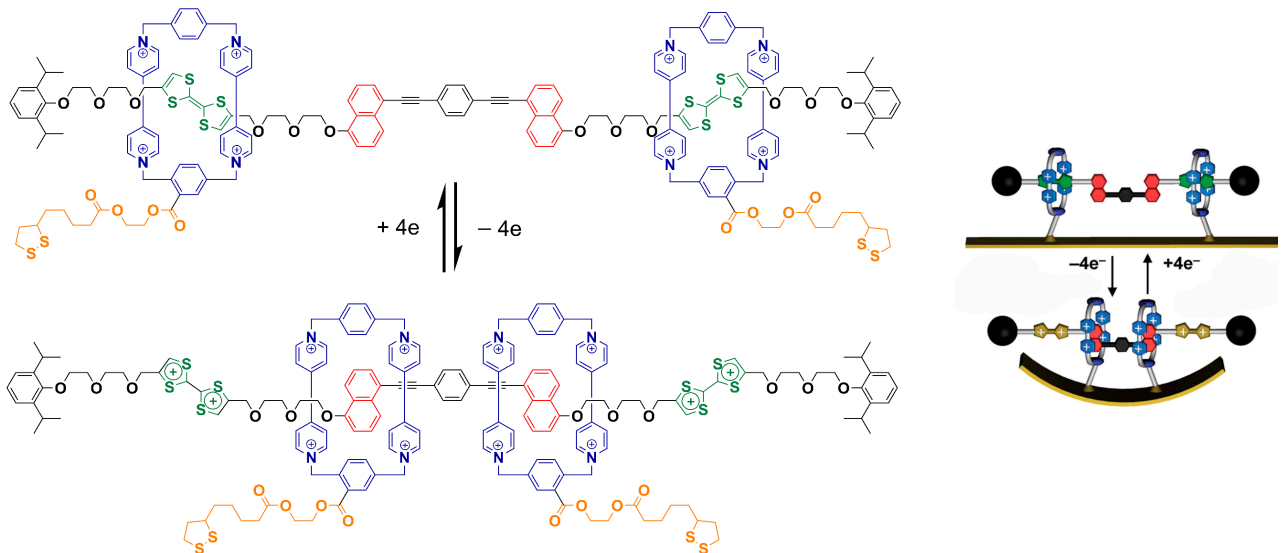
Järgnev sünteesiskeem kujutab rotaksaani valmistamist:



- c) Joonista ühendite **D-F** struktuurivalemid, **E** ja **F** puhul joonista ainult nende katioonid. (3)
- Sünteesitud rotaksaanist saab ehitada molekulaarseid lihaseid, mis tõmbuvad kokku ja lõdveneivad sarnaselt bioloogiliste lihastega. Makrotsüklite koostisesse kuuluvad disulfiidfragmendid võimaldavad rotaksaani siduda kullapinnaga, millel toimuvad eelkirjeldatud nähtused.
- d) Vali tulenevalt jäikade ja pehmete hapete ning aluste teooriast (HSAB), miks sobivad polariseeritavad väävli aatomid rotaksaani sidumiseks kullapinnaga. (1)
- Väävel ja kuld on mõlemad **pehmed** osakesed, mis moodustavad tugevaid kovalentseid sidemeid.
 - Väävel ja kuld on mõlemad **piiripealsed** (pehmete ja jäikade osakeste vahepealsete omadustega) osakesed, mis moodustavad tugevaid ioonilis-kovalentseid sidemeid.
 - Väävel ja kuld on mõlemad **jäigad** osakesed, mis moodustavad tugevaid ioonilisi sidemeid.

6. Molekulaarsete lihaste konstrueerimine (8 p)

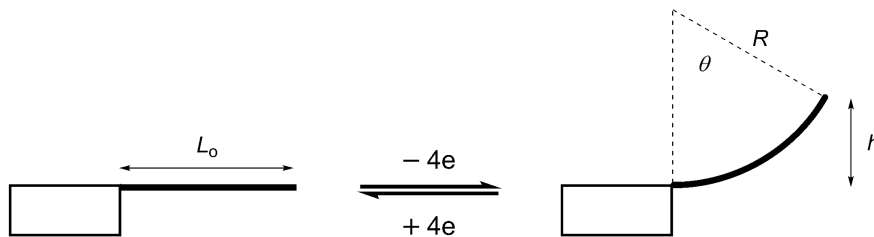
Tetratiafulvaleeni fragmente (joonisel värvitud rohelisega) on võimalik pöördvalt oksüdeerida. Oksüdeerimisel muutub elektrostaatiliste tõukumiste tõttu rotaksaani makrotsüklite (värvitud sinisega) ruumiline asetus. Alltoodud joonisel on skemaatiliselt kujutatud rotaksaani ruumilise asetuse muutust, mis painutab sellega seotud kullapinda.



- a) Määra tetratiafulvaleeni fragmendis esineva väävlit sisaldava heterotsükli redutseeritud ja oksüdeeritud vormides **i)** π -elektronide arv ning **ii)** kas tegu on aromaatses või mittearomaatses tsükliga. (2)

	Redutseeritud vorm	Oksüdeeritud vorm
π -elektronide arv		
Aromaatsne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mittearomaatsne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kunstlihaste konstrueerimiseks seotakse hulk rotaksaane kullapinnale. Sellise lihase kokkutõmbumine toimub kõigi rotaksaanide üheaegsel konformatsiooni muutusel. Kõik rotaksaani molekulid on orienteeritud piki ümber lihast.



Iga lihase kokkutõmbe vertikaalse nihke vahemaa h (μm) avaldub järgmise valemiga, kus L_0 on lihase täispikkus ja R selle kõverusraadius:

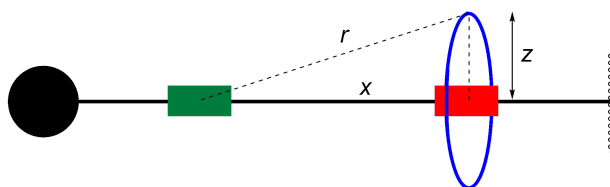
$$h = R \left[1 - \cos\left(\frac{L_0}{R}\right) \right]$$

- b) Arvuta **i)** lihase täispikkus (L_0) ja **ii)** vertikaalse nihke vahemaa (h), kui $\theta = 30^\circ$ ning $R = 955 \mu\text{m}$ (vt joonis). Arvutuste läbiviimisel eelda, et lihase täispikkus ei muutu. (2)

Dikatioonse tetratiafulvaleeni ja tetrakatioonse makrotsükli elektrostaatiliste tõukumiste põhjustatud pinget (F) lihase pinnal kirjeldab Coulomb'i seadus, kus q_1 ning q_2 on vastavate laengute suurus, ϵ suhteline dielektriline läbitavus, ϵ_0 vaakumi dielektriline läbitavus ja r laengutevaheline kaugus:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$$

Alloleval pildil on skemaatiliselt kujutatud rotaksaani külgsuunas, kus sinine makrotsükkel on tetratiafulvaleeni suhtes x vahemaa võrra liikunud.



- c) Tuleta pinge horisontaalse komponendi F_x avaldis elektrostaatilisest jõu F , sinise makrotsükli raadiuse z ning horisontaalse nihke vahemaad x kaudu, mida tekitab üks rotaksaani molekuli. Jäta arvestamata kõik rotaksaanide omavahelised vastasmõjud. (2)

- $F \frac{x}{\sqrt{x^2+z^2}}$
- $F \frac{\sqrt{x^2+z^2}}{x}$
- $2F \frac{x}{\sqrt{x^2+z^2}}$
- $2F \frac{xz}{\sqrt{x^2+z^2}}$

Täispinge F_{tot} lihase pinnal on võrdeline selle vertikaalse nihke vahemaaga, kus β on konstant:

$$F_{\text{tot}} = \beta h$$

- d) Arvuta, mitu rotaksaani molekuli N on vaja saavutamaks 120 μm vertikaalse nihke vahemaad, kui $\beta = 1500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, $z = 0,50 \text{ nm}$, $x = 1,4 \text{ nm}$, $\epsilon = 80$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ ning elementaarlaeng $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. (2)

7. Antiariin

Antiariin kuulub südamenõrkuse raviks kasutatavate ühendite hulka, kuid on ühtlasi väga mürgine – selle kasutusala ulatuvad kõrge vererõhu reguleerimisest mürginooltes kasutamiseni.

- a) Määra antiariini brutovalem ja arvuta selle molaarmass. (1)

Paljude imetajate jaoks on antiariini mürgiannus (LD_{50}) $1,76 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ – ainehulk, mis on teatud ajavahemiku jooksul surmav pooltele (50%) katsegrupi isenditele.

- b) Südamenõrkuse korral tarvitatav tablett massiga 0,22 g sisaldab 1,24% toimeainet. Arvuta, mitu tabletti võib Alex, kelle kehamass on 70 kg, päevas maksimaalselt manustada, et ta ei ületaks antiariini minimaalset mürgiannust. (2)

Antiariin sisaldub tabletis derivaadina, mille brutovalem on $\text{C}_{50}\text{H}_{54}\text{O}_{14}$. On teada, et selle struktuuris esineb benseenituum ning iga antiariini molekuli küljes on kolm happe **X** jääki. (2)

- c) Tuvasta hape **X** ja joonista selle struktuurivalem. (2)

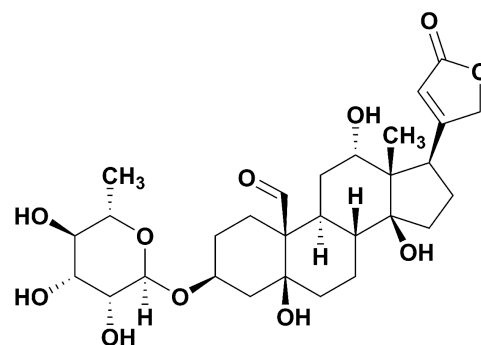
Maos toimub antiariiniga happeline hüdrolyüs, mille toimele lõhustub molekulis esinev glükosiidside.

- d) Joonista antiariini happelisel hüdrolyüsil tekkivate ühendite struktuurivalemid stereokeemiat näitamata. (2)

Antiariini vastumürgina kasutatakse teist mürgist südameglükosiidi sisaldavat ravimit nimega Digibind, mille kohta kehtib mõtetera “ka mürk võib olla ravim, kõik sõltub vaid annusest”, kuna see “nullib” õige annuse korral antiariini toksilisuse ära. Uimane Alex võttis hommikul hajameelsusest lubatud annusest ühe tableti rohkem, mis osutus aga eluohtlikuks. Kutsutud kiirabi manustas Alexile n viali Digibindi:

$$n = 2 \cdot m_{\text{kogu antiariin}} (\text{mg}) \cdot 0,8 (\text{biosaadavus})$$

- e) Arvuta, mitu viali vastumürki Alexile manustati. (2)

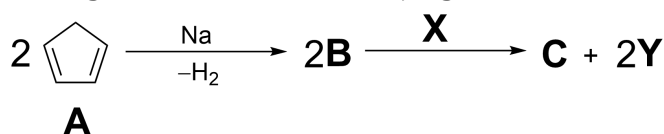


(9 p)

8. Monomeerid ja dimeerid

(9 p)

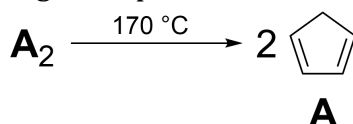
Organometalliühendid on molekulid, mis sisaldavad kovalentset sidet metalli aatomi ja süsiniku vahel. 1951. aastal esmakordselt sünteesitud ühend **C** on üks kuulsamaid organometallilisi ühendeid, mille avastamine tõi antud valdkonnas kaasa läbimurde ja kiire arengu. Ühend **C** meenutab kujult burgerit ning seda saab sünteesida järgnevalt:



Ühendi **A** reageerimisel naatriumiga toatemperatuuril saadakse sool **B**, mille käigus eraldub divesinik. Lisades kahele ekvivalendile ühendile **B** haliidi **X**, tekib ühend **C** ning kaks ekvivalenti anorgaanilist soola **Y**, mida kasutatakse tavaliselt söögitegemisel. On teada, et soolade **X** ja **Y** molaarmasside suhe $M_X : M_Y = 2,169 : 1$.

- a) Kirjuta ühendi **A** nomenklatuurne nimetus. (1)
b) Tuvasta soolade **X** ja **Y** valemid. (2)
c) Joonista ühendite **B** ja **C** struktuurivalemid. (2)

Lähteaine **A** on toatemperatuuril ebastabiilne, reageerides ajapikku iseendaga, mille käigus moodustub stabiilsem dimeer **A₂**. Seejuures on antud reaktsioon tuntud kahe kuulsa keemiku järgi nime saanud peritsükliilise reaktsioonina. Iga 8 tunni möödumisel on ligikaudu pool monomeerist dimeriseerunud, mistõttu saab ühendit **A** pikaajaliselt hoiustada kas dimeeri kujul või väga madalal temperatuuril. Seepärast tuleb lähteaine **A** ühendi **C** sünteesiks värskelt valmistada, mida tehakse dimeeri kõrgel temperatuuril kuumutamisel ehk krakkimisel:



- d) i) Joonista dimeeri **A₂** struktuurivalem stereokeemiat arvestamata ja ii) nimeta reaktsioon, mille läbi ühend **A** dimeriseerub. (2)

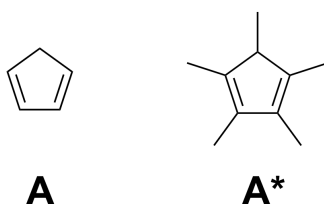
Krakkimise käigus peab monomeeri allesjäänud dimeerist pidevalt eraldama, sest kõrgel temperatuuril kiireneb ka krakkimise pöördreaktsioon ehk dimeriseerumine. Allolevas tabelis on toodud mõned andmed ühendite **A** ja **A₂** füüsikaliste omaduste kohta.

Ühend	T_s (°C)	T_k (°C)	Segunevus org. lahustitega	Segunevus veega
A	-90	40	Seguneb	Ei segune
A₂	33	150	Seguneb	Ei segune

- e) Võttes arvesse tabelis toodud andmeid, vali, milline järgmistest meetoditest sobib monomeeri **A** eraldamiseks selle dimeerist **A₂**. (1)

- Fraktsioneeriv destilleerimine
 Rektifikatsioon (korduva tagasijooksuga destillatsioon)
 Dekanteerimine
 Ümberkristalliseerimine

Ühend **A*** (ühendi **A** tuntud analoog) leiab samuti laialdast kasutust ligandina organometalliliste ühendite sünteesil. Ühendi **A*** kasutamine on aga mõnevõrra mugavam, sest erinevalt ühendist **A**, ei moodusta see vastavat dimeeri.

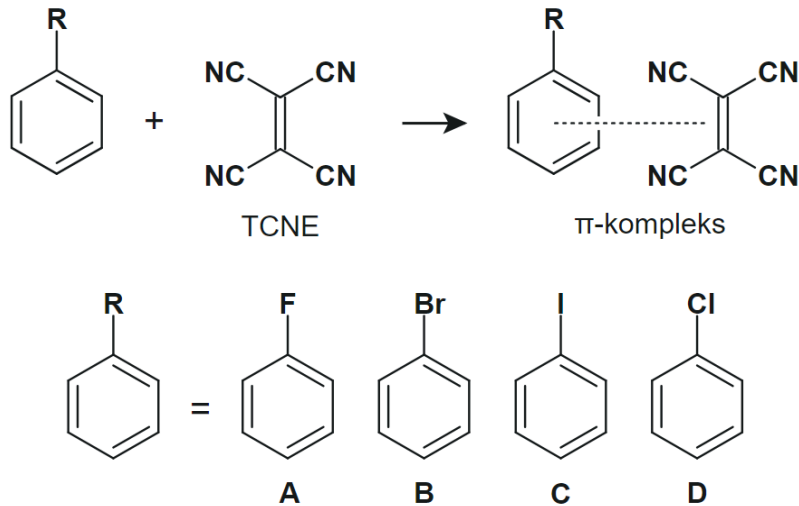


f) Vali, miks ühend **A*** ei dimeriseeru. (1)

- A*** molaarmass on liiga suur.
- A*** on steeriliselt takistatud (s.t ruumiliselt mahukas).
- A*** kaksiksidemed on võrreldes **A**-ga elektronivaesemad.
- A*** kaksiksidemed on võrreldes **A**-ga elektronirikkamad.

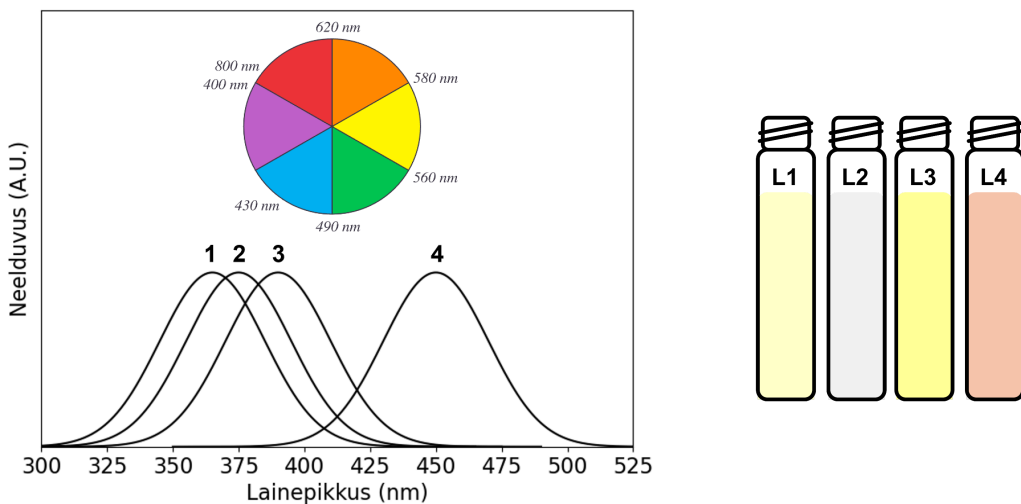
9. Värviline aromaatika (10 p)

Aromaatsed ühendid moodustavad tetratsüanoetüleeniga (TCNE) π -komplekse:



TCNE elektronegatiivsed tsüanorühmad tõmbavad kaksiksideme elektrone enda poole, mis hõrendab sideme elektrontihedust. Nii on TCNE benseenituumaga π -elektronidega doonor-aktseptor vastasmõjus. π -kompleksi värvus sõltub aromaatses ühendi ionisatsioonipotentsiaalst ehk selle võimest loovutada elektrone. Mida kõrgem on ühendi ionisatsioonipotentsiaal, seda suurema energiaga valgust see neelab.

a) Reasta ühendid **A–D** ionisatsioonipotentsiaali kasvu järjekorras. (2)
 Alloleval vasakpoolsel joonisel on toodud ühendite **A–D** ja TCNE vaheliste π -komplekside ligikaudsed neelduvuskõverad.



b) Määra kõveratele **1–4** vastavad ühendid **A–D**. (2)

Keemik Ben Seen on ühendite **A–D** vialid sassi ajanud. Ühendite tuvastamiseks kaalus Ben igast vialist nelja katseklaasi 10,0 mg tundmatut ühendit ning lisas seejärel 10,00 cm³ 1%-list TCNE diklorometaani lahust. Tulemusena sai Ben neli erivärvilist lahust **L1–L4** (vt ülaltoodud parempoolne joonis).

c) Määra, milliseid ühendeid (**A–D**) sisaldavad lahused **L2** ja **L4**, kasutades vasakpoolsel

joonisel antud neeldumiskõveraid ja värviratast. (2)

Beni kurvastuseks on lahused **L1** ning **L3** inimsilmaga eristamiseks liiga sarnase tooniga, mispärast otsustas ta lahustes sisalduvate ühendite tuvastamiseks kasutada UV-Vis spektroskoopilist meetodit. Lambert-Beer'i seaduse järgi on lahuste neelduvus (A) võrdeline nendes sisalduvate ühendite kontsentratsiooniga (c), neeldumisteguriga (ϵ) ja optilise teepikkusega (l):

$$A = c \cdot \epsilon \cdot l$$

Ben leidis kirjandusest, et ühendite **A-D** ja TCNE π -komplekside neeldumistegurid on vastavalt 2670, 577, 690 ning 1400 dm³·mol⁻¹·cm⁻¹. Niisiis kandis Ben UV-Vis mõõtmiste läbiviimiseks 1,00 cm³ lahuseid **L1** ja **L3** kahte mõõtekolbi ning täitis need diklorometaaniga 100,00 cm³ märgini, saades lahjendatud lahused **L1'** ning **L3'**. Viimaks lisas Ben lahused **L1'** ja **L3'** küvetitesse ning mõõtis nende neelduvust. Mõõtmisel kasutatud küvettide läbimõõt (optiline teepikkus l) oli täpselt 1 cm.

d) Tuvasta, millised ühendid (**A-D**) sisalduvad lahustes **L1** ja **L3**, kui **L1'** ning **L3'** neelduvuste väärtused on vastavalt 0,1244 ja 0,0367 A.U. (4)