

# **RĪGAS VALSTS TEHNIKUMS**

Metodiskā izstrādne

## **Pārbaudes darbu uzdevumi celulozes ķīmijā**

Kategorija – Pārbaudes darbi

Rīgas Valsts tehnikuma  
profesionālo priekšmetu skolotāja  
Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta  
Celulozes laboratorijas pētniece  
Mg.ķīm. Velta Fridrihsone

**RĪGA 2023**

## ANOTĀCIJA

Fridrihsone Velta, 2023, Pārbaudes darbu uzdevumi celulozes ķīmijā, metodiskā izstrādne, Rīga.

Darba mērķis ir iepazīstināt pedagogus ar izmantotiem uzdevumiem pārbaudes darbos ļoti specifiskā ķīmijas nozarē – celulozes ķīmijā. Darbā tiek piedāvāts ievads darba nozīmībā, īsu ievadu koksnes ķīmijā, pieņemot, ka darbu var lasīt citu nozaru skolotāji, kuriem ķīmija nav tik dziļi izprotama. Tas papildinās izpratni iepazīstoties ar uzdevumu analīzes nodaļu. Darbu var uzskatīt arī par mācību materiālu, jo tajā ietvertā teorētiskā bāze ir pietiekami plaša, lai nosegtu vairāk kā pusi no koksnes ķīmijas celulozes sadaļas moduļa ietvaros.

- 1) Darbs veidots ar domu, ka pedagogi aizņemtos un iedvesmotos dinamisku pārbaudes darbu veidošanai, jo jauniešu uzmanības noturēšanas spējas samazinās. Ja darbs ir vizuāli saistošs (ar attēliem) un veicina domu aktivizāciju audzēkņiem ir lielāka iespēja ar interesi sekot temata atsegumam.
- 2) Darbs aicina pedagogus, iespēju robežās, savos pārbaudes darbos veidot starppriekšmetu uzdevumus, piem., aprēķina uzdevumus.
- 3) Darbs ļauj palūkoties cik tuva Latvijas iedzīvotājiem ir celulozes ķīmija, netikai vēsturiski, bet arī ikdienā.

Darbs sastāv no 22 lapaspusēm, 3 attēliem un 3 pielikumiem. Pielikumos piedāvāti 3 dažādas sarežģītības pārbaudes darbu piemēri. Darbā izmantoti 8 literatūras avoti.

# SATURA RADĪTĀJS

ANOTĀCIJA.....	2
AUTORES IEVADVĀRDI .....	4
1. ĪSS IEVADS KOKSNES ĶĪMIJĀ.....	5
2. PĀRBAUDES DARBU UZDEVUMU ANALĪZE .....	8
2.1. Terminu uzdevumi .....	8
2.2. Dažādu jautājumu piemēri .....	9
2.3. Citi teorētiskie uzdevumi .....	10
2.4. Vizuālie jeb uzdevumi ar attēliem.....	10
2.5. Reakciju uzdevumi .....	12
2.6. Aprēķina uzdevumi.....	13
SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI .....	16
IZMANTOTIE AVOTI.....	17
PIELIKUMI.....	18
1.pielikums. Pārbaudes darba piemērs. Zema sarežģītība .....	19
2.pielikums. Pārbaudes darba piemērs. Vidēja sarežģītība.....	20
3.pielikums. Pārbaudes darba piemērs. Augsta sarežģītība .....	21

## AUTORES IEVADVĀRDI

Darbs Rīgas Valsts tehnikumā (turpmāk tekstā RVT) tika uzsākts 2017.gada janvārī mācību priekšmetā Koksnes ķīmija. Pieejamie universitātes līmeņa materiāli no Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta (turpmāk tekstā LV KĶI) nebija piemēroti mācību priekšmeta apguvei. Priekšmets tika būvēts balstoties uz Ģirta Zaķa<sup>1</sup> sarakstītās grāmatas “Koksnes ķīmijas pamati”, *Dietrich Fengel & Gerd Vagner “WOOD: chemistry, ultrastructure, reactions”* un *David N.S.Hon & Nobuo Shiraishi “Wood and Cellulosic Chemistry, Revised, and Explained”*, mājaslapas – [www.wsl.ch/land/products/dendro/](http://www.wsl.ch/land/products/dendro/), kurā atrodami centrālās Eiropas koku anatomiskā uzbūve. Sākoties moduļu sistēmas apmācībai, Koksnes ķīmija tika integrēta kā daļa no PB1 – Materiālu testēšana un novērtēšana.

Man jāsaka liela pateicība pašiem audzēkņiem ar kuriem man ir bijis tas gods strādāt. Viņu atgriezeniskā saite palīdzēja un palīdz man pielāgot un uzlabot mācību priekšmeta saturu. Kombinējot dažādus uzdevumus pārbaudes darbos iespējams uzzināt netikai audzēkņu izpratni par tēmu, bet arī kādi uzdevumi un cik labi ir izveidots pats darbs. Līdz ar to ir iespējams izvērtēt pašam sevi. Jautāt sev, kā uzlabot esošo, ko mācīties no citiem.

Ķīmija ir plaša, sarežģīta un aizraujoša nozare. Bieži esmu sastapusies ar alergijai līdzīgu reakciju. Cilvēkiem nav radusies pietiekami dziļa izpratne par ķīmiju, skolas laikā mācību materiāls netika pasniegts cilvēkam saprotamā valodā, nepatika skolotājs utml. Nākot no zinātnes pedagoģijas pasaulē, sastapos ar vajadzību runāt “cilvēku” valodā. Tāpēc aiz Ievada seko īss ieskats Koksnes ķīmijā, kas ļaus lasītājam apgūt ko jaunu, ieraudzīt cik tuvu mūsu Zaļais zelts ir cilvēka dzīvē.

Paldies kolēģēm Ķīmijas tehnoloģijas nodaļā. Tā turpināsim kopā.

---

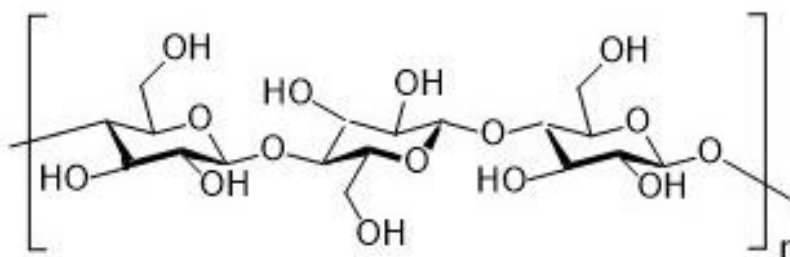
<sup>1</sup> *Dr.h.chem.* Ģirts Zaķis (1935.-2016.) bija LV KĶI zinātnieks, Latvijas Zinātņu akadēmijas Goda doktors, Valsts emeritētais zinātnieks un lignīna analītiskās ķīmijas celmlauzis.

# 1. ĪSS IEVADS KOKSNES ĶĪMIJĀ

Mums tik pazīstamais un mīlais koks patiesībā ir pārsteidzoši sarežģīts. Varam lepoties ar īpaši skaistu koksni pateicoties mērenās joslas laikapstākļiem. Mēbeles, koka karotes vai malka ugunskuram ir plaši zināmas lietas. Cilvēks redz – jā, tas ir koks. Papīrs, ko iegūst no celulozes, reiz bija koks. Bet vai spējam redzēt tālāk par ierasto?

Koksnes ķīmija apskata koksnes galveno komponentu ķīmiju. Lai gan miza ir neatņemama daļa koka, mizas ķīmija ir ļoti sarežģīta un to bieži apskata atsevišķi. Ķīmiskā ziņā koksne sastāv no trīs galvenajām komponentēm (skat. 1.attēlu):

- Celuloze. To veido kopā saistītas glikozes vienības, kur katra otrā glikozes vienība ir pagriezta par 180° (1.attēls). Celuloze ir homopolimērs<sup>2</sup> un polisaharīds<sup>3</sup>. Tās polimerizācijas pakāpe<sup>4</sup> koksnes celulozei – 1000-2000 vienību un kokvilnas celulozei līdz pat 20000 vienību. Pēc izplatības dabā celuloze ir 1.vietā. Atkarībā no koka sugas celulozes saturs kokā ir 38-52 % (2.attēls), bet ir izņēmumi – Dzeltenajai priedei (*Pinus strobus*) celulozes saturs ir 61,1%.



1.attēls. Celulozes molekula, kuru shematiski reprezentē 3 saistītas glikozes vienības

Celulozes izmantošana ir ļoti plaša. Ikdienā iespējams esat saskārušies ar šādiem celulozes ķīmiskās pārstrādes produktiem - viskoze, nitroceluloze, acetātzīds, celuloīds, metilceluloze, kaboksimetilceluloze, liocels un citi. Celulozi izmanto kā zaļu pildvielu mikro kristāliskās celulozes formā t.i. celulozi sasmalcina ka tās izmēri ir mazāki par cilvēka matu (cilvēka mata platums var variēt 60-100 μm jeb 0,006-0,0100 cm). LV KĶI Celulozes laboratorijā izstrādāts unikāls produkts – nanocelulozes gēls. Lai iegūtu ļoti mazas celulozes šķiedriņas, kas ir mazākas par 0,1 μm, tās izveido ūdens šķīdumā. Veidojas gēlveida substance. Un tālāk šo gēlu kopā ar ūdenī šķīstošiem polimēriem (piem., polivinilspirts) vērpi izmantojot elektrisko lauku 50 -80 kV. Šie spriegumi nav tālu no augstsprieguma līnijām, kurās spriegums ir 110 kV. Iegūto materiālu var izmantot kā filtru.

Celulozes atvasinājumi tiek izmantoti kā plēvju, degošu un nedegošu filmu, laku, līmvielu ražošanā, elektroizolācijā, riepu kordos, desu apvalkos, krāsu sabiezinātāji, virsmaktīvās vielas, metālu antikorozijs aizsardzībā, flotācijas aģenti un citi.

<sup>2</sup> Homopolimērs – polimēru veido viena un tā pati viela (monomērs) atkārtoties daudzas reizes.

<sup>3</sup> Polisaharīds - Saliktu ogļhidrātu grupa, kuru hidrolīzē rodas vairākas vienkāršo cukuru — monosaharīdu — molekulas (piemēram, ciete, celuloze u.c.).

<sup>4</sup> Polimerizācijas pakāpe - tādu elementārvienību (monomēra posmu) skaits polimēra makromolekulā, kuras atkārtojas.

- Hemicelulozes. To veido dažādi cukuri – galaktoze, arabinoze, mannoze, ksiloze, ramnoze un nedaudz arī glikoze. Līdz ar to hemicelulozes ir heteropolimērs<sup>5</sup>, bet tāpat kā celuloze ir polisaharīds. Polimerizācijas pakāpe 100-200 vienības, un tās struktūra ir sazarota. Hemiceluložu saturs variē daudz lielākā diapazonā 15-40 % kā celuloze. Parastajā priedē (*Pinus sylvestris*) hemiceluložu saturs ir visai zems – 13,5 %.
- Lignīns. To veido fenilpropāna vienības, tās kombinējoties savā starpā ar dažādām saitēm veido sarežģīto lignīna makromolekulu. Lignīns nav polisaharīds. Tā struktūru var dēvēt par trīsdimensionālu un zinātnieki joprojām nav noskaidrojuši precīzu lignīna struktūru. Pēc izplatības lignīns ir 2. vietā pasaulē. Koksni lignīna saturs ir 18-35 % un Sarkanajā dzelzs kokā (*Lophira alata*) tā saturs ir 39,8 %.

Galvenajām komponentēm saistoties savā starpā veidojas koka šūnu sienīgas → koksne → koks. Bet koka šūnas ir dobjas, tajās ir tukšumi (skat. 3.att. 14.lpp.), kurus aizpilda blakus vielas – ekstraktvielas un minerālvielas.

Ekstraktvielas sevī ietver daudz dažādas ķīmisko vielu klases:

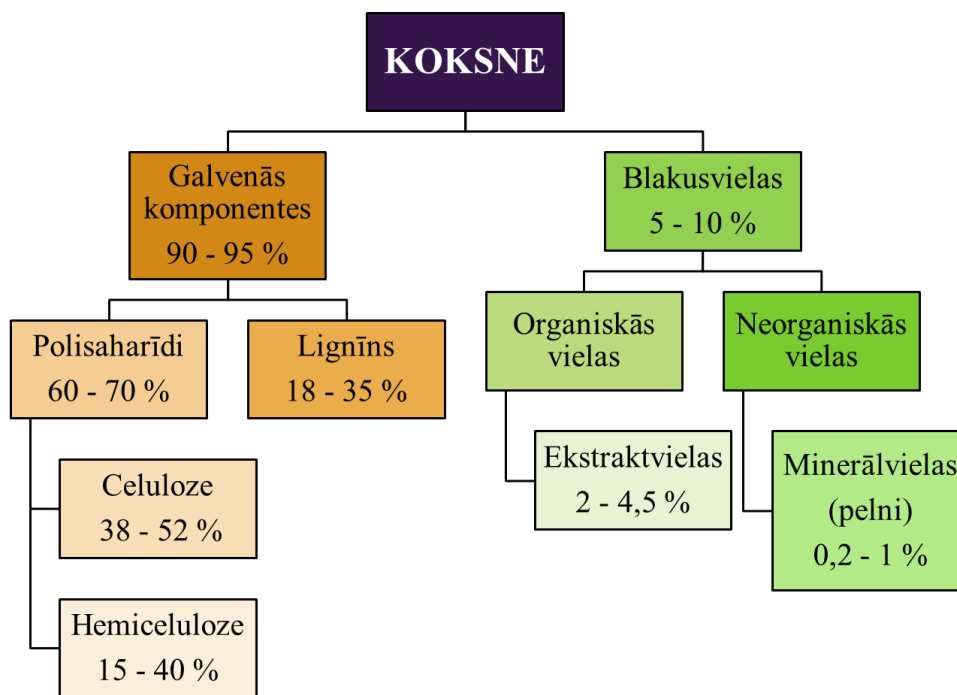
- Cukuri. Ūdenī šķīstošie saharīdi – glikoze, fruktoze, saharoze. Pateicoties šiem cukuriem, pavasaros lietojam bērzu un kļavu sulas. Augstāk minētie cukuri ir pamatā kļavu sīrupam.
- Terpēni. Ekstraktvielu gaistošā daļa. Terpēni dod mums tik pazīstamo meža smaržu. Pazīstamākie pārstāvji ir limonēns (pirmo reizi izdalīts no citrusaugļiem), mentols (izteikta, īpatnēja smarža), kampars (kampareļļa pazīstams farmaceitiskais izstrādājums).
- Sveķskābes. Šo vielu klasi sintētiski iegūt nav iespējams. Sveķskābes veido īpašu maisījumu – kolofoniju, kuru izmanto kā līmvielu, lodēšanā, stīgu instrumentu lociņu apstrādē un citur.
- Tannīni jeb miecvielas. Tos biežāk izmanto ādas apstrādei. Tannīni ir vielu grupa, kuras dod stiprajiem alkoholiskajiem dzērieniem garšu, smaržu un krāsu.
- Dažāda veida fenilpropāna vienību atvasinājumi un kombinācijas, piem., fenoli, lignāni, flavonoīdi.

Nelielos daudzumos ekstraktvielās ir dažādi lielmolekulāri savienojumi – tauki, vaski, taukskābes, spirti. No dažādu šķīdinātāju ekstraktiem izdalīts metāns un etēns. Ekstraktvielu saturs kokā ir no 2-4,5%. Ir izņēmumi, kur ekstraktvielu saturs krietni pārsniedz norādītās robežas, jo jāņem vērā, kādu šķīdinātāju izmanto – karstu ūdeni, acetonu, toluolu vai šķīdinātāju kombinācijas, piem., etanola-benzola maisījums. Mūžzaļās sekvojas (*Sequoia sempervirens*) karsta ūdens ekstrakta daudzums ir 8,7 % un etanola-benzola ekstrakts ir 13,7 %.

---

<sup>5</sup> Heteropolimērs – no dažādiem monomēru atlikumiem sastāvoša makromolekula.

Pēc koksnes sadedzināšanas pāri paliek minerālvielas jeb pelni. Pelnus veido nātrijs, kālija karbonāti, var būt arī kalcijs, magnijs sāļu formā. Bet kokā šīs vielas ir ūdens šķīdumā un nav cietā aptaustāmā formā. Reti pelnu saturs pārsniedz 1 %. Izņēmumi ir koksne no tā sauktajiem industriālajiem kokiem – 3,4 % Iroko (*Chlorophora excelsa*), 3,1 % Limba (*Terminalia superba*), 1,0 % Āfrikas mahagonija (*Khaya anthotheca*).



2.attēls. Koksnes ķīmiskais komponentsastāvs

## 2. PĀRBAUDES DARBU UZDEVUMU ANALĪZE

Pārbaudes darbos uzdevumi dalās 4 daļās – teorētiskie, vizuālie, reakciju un aprēķina uzdevumi. Teorētiskie jautājumi tiek sadalīti vēl trīs daļās: termini, dažādi jautājumi (īsas atbildes; jā/nē jautājumi) un cita veida teorētiskie jautājumi (šajā gadījumā tie ir metožu apraksti). Kombinējot dažāda tipa uzdevumus iespējams izveidot 3 sarežģītības pakāpju uzdevumus. Šajā daļā iztirzāti uzdevumi un kas tiek sagaidīts atbildēs, tāpēc nepieciešams iepazīties ar pirmo nodaļu Īss ievads koksnes ķīmijā.

Lai samazinātu vajadzību špikot un samazinātu spriedzi pārbaudes darbos, audzēkņiem tiek dotas 5-8 minūtes izmantot visus pieejamos materiālus – prezentācijas, klades un arī elektroiekārtas. Citus šīs minūtes glābj no nesekmības, citiem ļauj pakāpties augstāk. Tā ir atklāta špikošana, bet viņiem ir jāpārzina materiāls, lai to pilnvērtīgi izmantotu. Bet interesantākais ir tas, ka manā pieredzē ir bijuši gadījumi, ka audzēkņa pārbaudes darbu (izmantojot materiālus) nākas novērtēt nesekmīgi.

Darbu vērtē ar veseliem punktiem, puspunkti par daļēji pareizu atbildi netiek likti. Ja atzīme izšķiras, tad tiek ņemts vērā mazo darbiņu vērtējumi. Mazie darbiņi ir aptuveni 10 minūšu ilgi, rakstīti nodarbības sākumā par iepriekšējo vielu. Audzēkņi var izmantot palīg līdzekļus. Tā palielinās varbūtība, ka viņiem būs viss materiāls pie rokas. Ja 70 % darbiņu ir novērtēs ar “ieskaitīts”, tad izliek augstāko atzīmi. Līdz ar to pārbaudes darba vērtējumā ņem vērā aktīvu audzēkņa līdzdalību nodarbībās, apgūstot mācību vielu.

Piezīme. Ar pelēkajām horizontālajām līnijām tiek atdalīti uzdevuma teksti no analīzes daļas.

### 2.1. Terminu uzdevumi

---

Īsi paskaidrot terminus: (10p)

- |                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| a) Merserizācija;          | f) Nereducējošā struktūra;   |
| b) Holoceluloze;           | g) Etilceluloze;             |
| c) Polimerizācijas pakāpe; | h) Celuloze;                 |
| d) Acetātzīds;             | i) Viskoze;                  |
| e) Stumbrs;                | j) $\beta$ -D-glikopiranoze. |
- 

Šajā uzdevumā audzēkņiem jāspēj paskaidrot dotos terminus saviem vārdiem, lai parādītu izpratni par termina nozīmību mācību priekšmeta saturā. Audzēkņiem jāspēj ieraudzīt, ka *d*, *i* un *g* terminus var apzīmēt vienādi – celulozes atvasinājumi vai modificēta celuloze. Uzdevums ir izveidots, lai nosegtu visu mācību vielu par celulozi, bet arī lai atskatītos uz iepriekšējo vielu – *e* un *h* termini nāk no apakštēmas: Koksnes makroskopiskā un mikroskopiskā uzbūve. Diezgan mulsinoši, jo pārbaudes darba tēma ir Celuloze. Apakštēmas ietvaros audzēkņi apgūst nelielu informāciju par katru koksnes ķīmisko komponenti un tikai vēlāk notiek padziļināta apguve. Punkti *c*, *f* un *j* saistīti ar celulozes molekulas struktūras uzbūvi, kas ir svarīga mācoties par celulozes reakcijām. Termins Holoceluloze sevī apvieno 2 koksnes ķīmiskās komponentes – celulozi un hemicelulozes, kas pieder pie ķīmisko vielu klases – cukuri. Bet celuloze un hemicelulozes nav viens un tas pats. Merserizācija biežāk pazīstama



kā ādas apstrādes posms, kur izmanto nātrija hidroksīdu. Šādi atbild audzēkņi, kuri terminu meklē internetā, nevis no mācību materiāliem. Atbilde ir pareiza, bet nav saistīta ar koksnes ķīmiju. Šī termina skaidrojums lieliski parāda cik nopietni audzēknis ir gatavojies un spēj orientēties tēmā.

## 2.2. Dažādu jautājumu piemēri

---

Atbildiet uz jautājumiem: (4p)

- Nosauciet šo vielu –  $[\text{Cd}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3](\text{OH})_2$ ;
  - Ar ko uzbriedināsiet celulozi, ja finanses nav šķērslis?
  - Kāpēc jābalina celuloze?
  - Ar kuru skābi hidrolizēsiet celulozi – palmitīnskābi vai etiķskābi?
- 

Dažādu jautājumu uzdevums sevī ietver *jā/nē* atbildes, īsas – 1-3 vārdu atbildes. Jautājumi ir īsi un konkrēti, bet pielietojamās zināšanas atbildot ir apjomīgas. Zemāk jautājumi un to atbildes ir izskaidrotas parādot jautājumu komplekso dabu.

a) jautājums saista vairākas lietas kopā – atpazīt vielas veidu (komplekss savienojums), atcerēties netikai IUPAC (*Starptautiskā teorētiskās un praktiskās ķīmijas savienība*) nomenklatūru, bet arī triviālo nosaukumu nozīmi specializētākās ķīmijas nozarēs. Šajā gadījumā vielu sauc *kadoksēns*, to ir viena no labākajām celulozi šķīdinošajām vielām. Svarīga piezīme, kadmija savienojumi ir bīstami, jo tas ir bīstams dabai, it īpaši ūdens radībām.

b) acetātzīda, metilcelulozes, karboksimetilcelulozes, viskozes un citu produktu iegūšanu saistās ar svarīgu celulozes ķīmisko īpašību – briešanu. Laboratorijā izmantos litija hidroksīdu, ja finanses nav šķērslis. Bet ja finanses ir šķērslis un arī rūpniecībā izmantos nātrija hidroksīdu. Šeit audzēkņi parāda savas zināšanas par celulozes īpašībām, bet atgriežas uz vispārīgo ķīmiju, kas saistīta ar atomu izmēriem. Mazāks atoms var dziļāk iekļūt celulozes struktūrā.

c) līdzīgi iepriekšējam jautājumam saistīts ar rūpniecību un visplašāk izmantoto celulozes pārstrādes produktu – papīru. Lai gan papīra baltumu, galvenokārt, dod piedevas, svarīgi ir celulozes šķiedras attīrīt no koksnes ķīmisko komponentu atliekām. Šīs atliekas dod netikai piekrāsu, bet arī var veicināt celulozes sabrukšanu un papīra sadalīšanos.

d) celulozes hidrolīzes process ir viens no retajiem ķīmiskajiem procesiem, kur iespējams iegūt 100% iznākumu t.i celuloze tiek pārvērsta glikozē. Šis process notiek istabas temperatūrā, audzēkņiem jāatceras organiskās ķīmijas kurss par karbonskābēm. Palmitīnskābe istabas temperatūrā ir cieta viela un ar celulozi nereaģēs, etiķskābe ir pietiekami stipra un istabas temperatūrā ir šķidrums. Etiķskābe var hidrolizēt celulozi.

### 2.3. Citi teorētiskie uzdevumi

Svarīgs faktors celulozes ķīmijā ir celulozes ķīmijas attīstība. To lieliski ilustrē celulozes iegūšanas metodes. Audzēkņiem var tikt piedāvāti 2 uzdevumu veidi:

a) Tiek norādītas konkrētas metodes,

---

5) Īsi aprakstiet Hlorēšanas, Hlorīta un Kiršnera metodi. (6p)

---

b) Audzēkņi apraksta noteiktu metožu skaitu pēc izvēles.

---

2.4 Aprakstiet 2 celulozes iegūšanas metodes pēc Jūsu izvēles. (4p)

---

a) piemērs konkrēti norāda, kuras metodes ir nepieciešams uzrakstīt. Hlorēšanas metode ir visvecākā un Hipohlorīta metode arī satur hlora atvasinājumus. Šī ir svarīga atsauce uz hlora savienojumu izmantošanu celulozes un arī papīra rūpniecībā. Lai gan kaitīgi dabai un pašam produktam, hlora savienojumi ir bijuši efektīvi celulozes šķiedru balināšanā. Kiršnera metode ir unikāla ar to, ka nav nepieciešama koksnes priekšapstrāde. To var izmantot koksnei no kuras nav atdalītas ekstraktvielas. Otrs īpašais aspekts, Kiršnera metode ir efektīva un iepazīstinot jauniešus ar metodi, viņiem jautāju – “Kāpēc šo metodi nepielieto rūpniecībā?”. Atbilde – metodē izmanto slāpekļskābi, celulozes ieguves procesā var veidoties slāpekļa oksīdi, kas ir kaitīgi netikai cilvēkam, bet arī apkārtējai videi un atmosfērai.

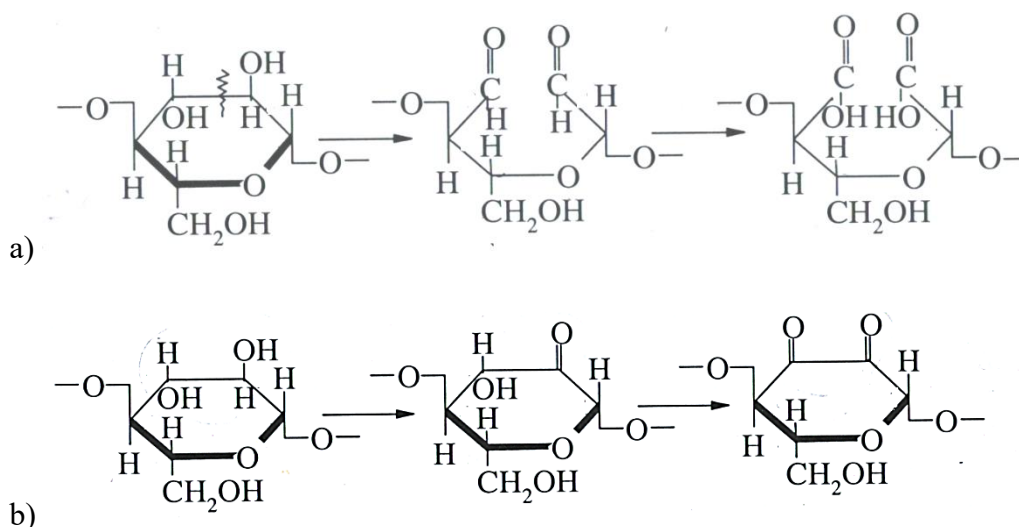
b) piemērs ir izaicinošs. Izvēles veikšana cilvēkiem var būt grūta. Šāda veida uzdevums liek audzēkņim papildus domāt un sev jautāt: cik bija celulozes iegūšanas metodes, kādas bija celulozes iegūšanas metodes, kuras metodes es atceros un arī kur es varu atrast šīs metodes.

### 2.4. Vizuālie jeb uzdevumi ar attēliem

Uzdevumi balstās uz audzēkņu izpratni par celulozes oksidēšanās procesiem. Tie ir svarīgi netikai celulozes balināšanas procesos, bet arī celulozes atvasinājumu iegūšanā. Ir divi veidi kā risināt šo jautājumu. Audzēkņiem jāpārzina oksidēšanās mehānismu vienkāršs skaidrojums (vidēji sarežģīts mehānismu skaidrojums pieejams mācību materiālos – prezentācijās, kā arī klasē tiek pārrunāts kā atbildēt uz jautājumiem) vai arī jāuzdod sekojošie jautājumi sev:

- Vai šķeļas glikozes cikls?
- Kur notiek oksidēšanās?
- Kas par ko oksidējas?

3) Īsi raksturojiet, kas notiek reakcijā: (4p)



Šis uzdevums atsaucas uz iepriekš apgūto organisko ķīmiju un klāt nāk jaunā viela celulozes ķīmijā. Hidroksilgrupu (-OH) oksidēšanās ir svarīga organiskās ķīmijas daļa, jo notiek ķīmisko vielu klašu pāreja viena otrā. Tas ir hidroksilgrupa  $\rightarrow$  aldehīdgrupa  $\rightarrow$  karbonskābes grupa un hidroksilgrupa  $\rightarrow$  ketogrups. Audzēkņiem jāspēj redzēt, kā attiecas tumšākās līnijas pret gaišākajām līnijām ciklā, ko nozīmē viļņotā līnija u.c. Viņiem jāizprot reducējošās un nereducējošās struktūras nozīmība celulozes ķīmiskajās pārvērtībās.

Attēlos redzamajos gadījumos oksidēšanās notiek celulozes molekulas vidienē. a) gadījumā cikls šķeļas un notiek divpakāpju oksidēšanās: hidroksilgrupa  $\rightarrow$  aldehīda grupa  $\rightarrow$  karbonskābes grupa un b) gadījumā cikls nešķeļas un notiek pārvērtības hidroksilgrupa  $\rightarrow$  ketogrups. Analizējot attēlus, jauniešiem tiek atgādināti IUPAC nomenklatūras – mono un di, piem., veidojas monoketons vai veidojas dialdehīds un diskābe.

### Celulozes hidrolīzes mehānisms.

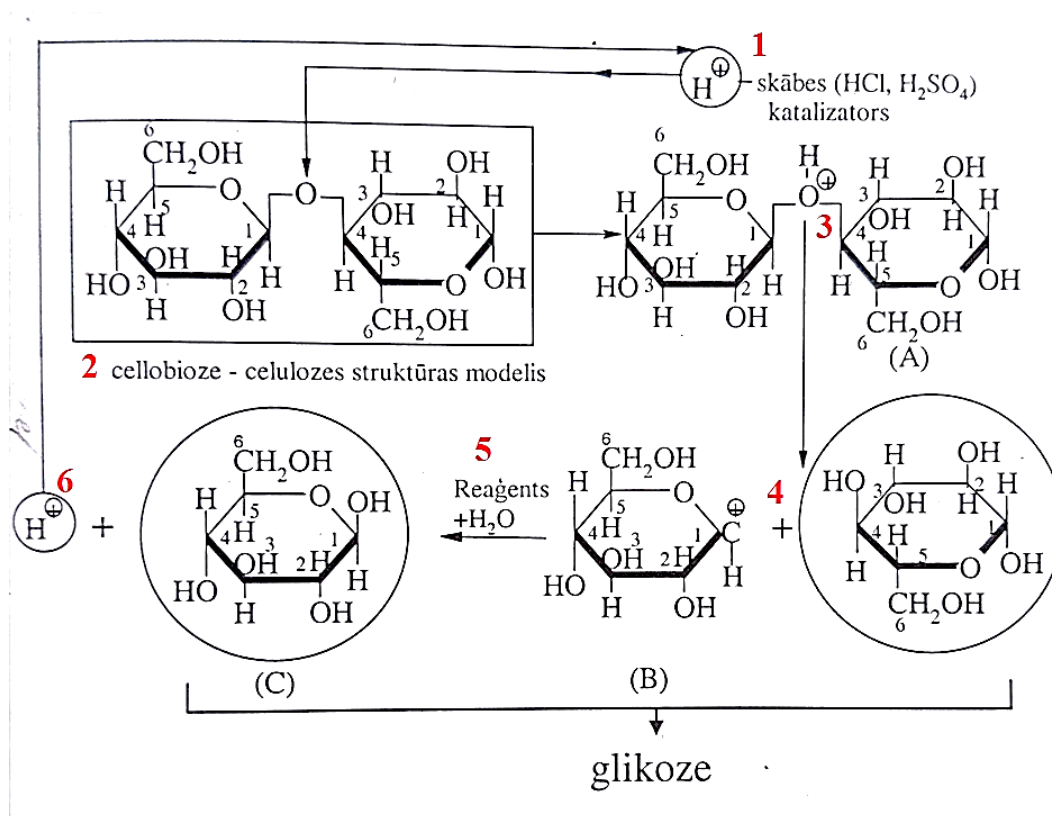
Ķīmijā reti sastopami procesi ar 100 % iznākumu. Celulozes hidrolīze ar skābēm ir viens no tiem. Izmantojot stipras skābes, piem., sērskābi, sālskābi, slāpekļskābi, jodūdeņražskābi, ortofosforskābi, skudrskābi vai etiķskābi. Celulozes hidrolīze norit pakāpeniski un atkarībā no hidrolīzes režīma (skābe, tās koncentrācija, temperatūra, reakcijas laiks), celulozes ķēde var šķelties dažādās pakāpēs. Jo īsāka celulozes ķēde, jo to vieglāk ir modificēt vai izmantot kā piedevu.

Katrs no posmiem ir īsi aprakstīts un iztirzāts klasē dziļākai izpratnei. Audzēkņiem, ja paši nav tādu izveidojuši, pieejams celulozes hidrolīzes mehānisma skaidrojums.

1. Skābes  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HCl}$  darbojas kā katalizatori. Tās ģenerē protonu jeb  $\text{H}^+$  jonu.
2. Celobioze reprezentē celulozes makromolekulu. Celobioze ir dimērs, to veido 2 glikozes molekulas, saistītas ar glikozīdo saiti 1-O-4.

3. Pozitīvais ūdeņraža jons pievienojas glikozīdajai (1-O-4) saitei, kas veido celulozes molekulu.
4. Veidojas glikozes katjons un glikozes, kas atšķēļas.
5. Glikozes katjons reaģē ar ūdeni, izšķēļas protons.
6. Iegūtais protons var turpināt hidrolīzes reakciju.

6) Lūdzu aprakstīt celulozes hidrolīzes posmus – 3 un 4. (4p)



## 2.5. Reakciju uzdevumi

Reakciju uzdevumu risināšana uzlabo audzēkņu izpratni par padziļinātu organisko ķīmiju, bet arī sagatavo izpratni par rūpnieciskiem procesiem. Celulozes ķīmiskā pārstrāde produktos ar pievienotu vērtību notiek jau gadu desmitiem. Pazīstamākie produkti ir viskoze, celuloīds, acetātzīds, trinitroceluloze<sup>6</sup> un citi.

Lai veiksmīgi uzrakstītu šo uzdevumu, nepieciešams īpašs celulozes pieraksts. Celulozes modifikācija (ķīmiskās pārvērtības) notiek pie tās 3 hidroksilgrupām. Viegļākam pierakstam, šīs grupas caur iekavām atsevišķi pieraksta –  $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$  (n-polimerizācijas pakāpe). Līdz ar to ir iespējams loģiskāk pierakstīt reakcijas produktus, kur x-aizvietoto hidroksilgrupu skaits (maksimāli ir 3) un A – jaunā grupa, piem., metil, etil, acetil utt.  $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OA)_x]_n$ .

- 
- 3) Lūdzu uzrakstiet reakcijas un nosauciet izejvielas un radušos produktus: (12p)
- Celulozes nitrātu<sup>6</sup> iegūšanas reakciju;
  - Metilcelulozes iegūšana ar sulfāta organisko atvasinājumu;
  - Acetilcelulozes iegūšana;
  - Celulozes sadedzināšana.
- 

Šim uzdevumam ir 2 pakāpes. Piemērā zemāk redzama vieglākā pakāpe. Reakcijas norādītas vispārīgi, nav norādīta hidroksilgrupu aizvietošanās pakāpe. Atbildes uz jautājumiem izskatīsies sekojoši:

---

- $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + xnHNO_3 \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x]_n + xnH_2O$
  - $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + xn(CH_3)_2SO_4 + xnNaOH \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_3)_x]_n + xnH_2O + xn(CH_3)NaSO_4$
  - $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + xn(CH_3CO)_2O \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCOCH_3)_x]_n + xnCH_3COOH$
  - $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + nO_2 \rightarrow nCO_2 + nH_2O$
- 

Otrās pakāpes ietvaros tiek norādīts cik aizvietota ir celuloze – mono, di vai tri. Uzdevumā tiek prasīts nosaukt radušos produktus, jaunieši biežāk uzraksta, piem., nitroceluloze nevis dinitroceluloze. Par nepareizi nosauktiem produktiem par reakciju nav iespējams saņemt maksimālo punktu skaitu.

---

- $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + 2nHNO_3 \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)(ONO_2)_2]_n + 2nH_2O$   
Celuloze            slāpekļskābe            dinitroceluloze            ūdens
  - $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + 3n(CH_3)_2SO_4 + 3nNaOH \rightarrow [C_6H_7O_2(OCH_3)_3]_n + 3nH_2O + 3n(CH_3)NaSO_4$   
Celuloze    dimetilsulfāts    nātrija sārms    trimetilceluloze    dihidrogēnmonoksīds  
Nātrija metilsulfāts
  - $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + n(CH_3CO)_2O \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)_2(OCOCH_3)]_n + nCH_3COOH$   
Celuloze    etiķskābes anhidrīds    monoacetilceluloze    etiķskābe
- 

## 2.6. Aprēķina uzdevumi

Koksnes ķīmijā sadalā vienīgie aprēķini ir saistīti ar koksnes mitrumu un koksnes komponentsastāvu. Matemātiskās operācijas šajos uzdevumos ir vienkāršas – procentu aprēķini un proporcijas. Papildus grūtību var ieviest, ja uzdevumā dotas atšķirīgas mērvienības, piem., viens lielums dots miligramos (mg) un otrs dots tonnās (t), bet rezultātu jāizsaka kilogramos (kg). Lai audzēkņiem sanāktu maksimāli līdzīgi rezultāti, nepieciešams kontrolēt cik ciparus aiz komata jāatstāj rezultātos, piem., mitruma saturs procentos jāizsaka ar 2 zīmēm aiz komata vai parauga masa gramos jāizsaka ar 4 zīmēm aiz komata. Darbs ar zīmēm aiz komata imitē

---

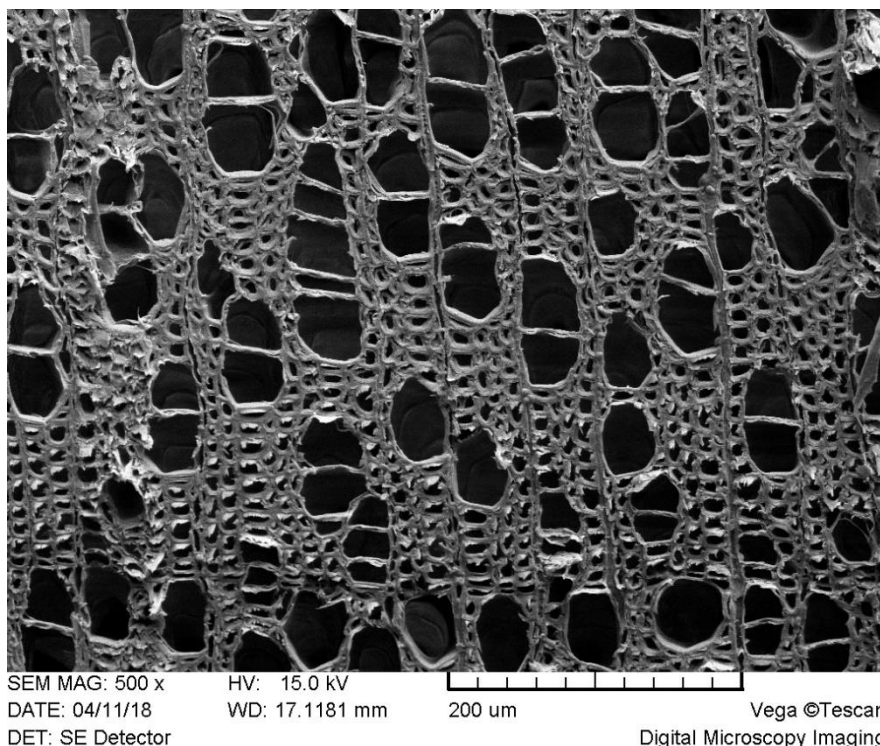
<sup>6</sup> Celulozes nitrātus nozarē mēdz saukt par nitrocelulozi, lai gan nitrāti un nitro ir divas dažādas lietas.

aprēķinus laboratorijas apstākļos. 4 zīmes izmanto, ja paraugs svērts analītiskajos svaros, 5 zīmes, ja paraugs svērts ar īpašas jutības svāriem un parauga daudzums ir miligramos.

Audzēkņi bieži izmanto telefonos esošās aplikācijas, piem., *PhotoMath*, *Math Scanner*, *Microsoft Math Solver*, *Symbolab* un citas, kuras veic tikai aprēķinus, ģenerējot rezultātu. Pārbaudes darba laikā audzēkņi var izmantot kalkulatorus, bet viedierīces tikai atļautajā laika periodā. Bloķējot iespēju izmantot aplikācijas, jaunieši ir spiesti iedziļināties vienkāršās matemātiskās darbībās, kas diezgan bieži sagādā lielas grūtības.

- 
- 1.4. Skaidas uzlika uz Petri trauciņa žūt, un to masa bija 8 g. Pirmo reizi nosverot paraugu, tas svēra 6,5 g, pēc tam paraugs svēra 4,2 g. Cik daudz ūdens bija uzsūkušas skaidas? Cik daudz absolūti sausa parauga pieejams, ja kopējā parauga masa pirms visām analīzēm ir 600g. Uzrakstiet formulu un paskaidrojiet locekļus. (4p)
- 

Uzdevums sastāv no 2 daļām. Pirmā daļa – koksnes mitruma aprēķins. Uzdevums imitē laboratorijas ikdienu. Paraugu žāvēšanas laikā vairākkārt sver, lai noteiktu vai tas ir izžuvis. Divi svēršanas skaitļi mēdz jauniešiem jaukt prātu. Viņiem ir jāizvēlas 4,2 g, lai veiktu pareizu aprēķinu. Otrā daļa – absolūti sausa parauga daudzuma aprēķināšana. Izmantojot aprēķināto mitrumu, jāaprēķina parauga daudzums bez ūdens. Īpaša piezīme “kopējā parauga masa pirms visām analīzēm ir 600g”, tas nozīmē, ka sākumā bija 600 g parauga, tika noņemti 8 g, arī mitruma noteikšana ir analīze. Lai aprēķinātu absolūti sausa parauga daudzumu, jāizmanto 592 g nevis 600 g.



3.attēls. Neizžāvēta lapu koka šūnas. V. Fridrihsones personiskais arhīvs

Mitruma noteikšanai izmantoto paraugu nedrīkst izmantot citām analīzēm koksnes struktūras dēļ. Celulozes un citu noteikšana balstās uz ķīmiskajām pārvērtībām, kur koka šūnām jābūt pieejamām (skat. 3.att.). Žūšanas laikā koka šūnas sašaurinās, jo tiek zaudēts brīvais un ķīmiski saistītais ūdens.

- 1) No kokzāģētavas tika atvesti 1,428 kg zāģu skaidu. Apses zāģu skaidas, kuru diametrs mazāks par 1,6 mm paņēma koksnes ķīmisko komponentu analīzei. Skaidām noteica mitrumu: skaidu masa pirms analīzēm 20,00g, pēc 17,10g. Lai noteiktu koksnes ķīmiskās komponentes, nepieciešams zināt cik daudz absolūti sausa parauga gramos ir pieejams analīžu veikšanai, ja parauga masa pēc mitruma noteikšanas ir 289520 mg? Uzrakstīt formulu, paskaidrojiet locekļus. (9p)

Šeit tiek apspēlētas mērvienību pārejas – minēti miligrami, gramu un kilogrami. Uzdevums satur informāciju, kas neattiecas ar koksnes mitruma aprēķinu, piem., skaidiņu diametrs, no kokzāģētavas atvestais parauga daudzums. Audzēkņiem jāspēj izvērtēt sev nepieciešamo.

1. Jums ir pieejamas 303 t koksnes šķeldas maisījuma, kurš sastāv no Jūsu kokiem sekojošās attiecībās 2:1:4. Aprēķiniet:
- 1.1. Pilno celulozes (Cel) saturu; (4p)
  - 1.2. Pilno lignīna (Lig) saturu; (4p)
  - 1.3. Pilno hemiceluložu (HeC) saturu; (4p)
  - 1.4. Ekstraktvielu (Extr) saturu; (4p)
  - 1.5. Pelnu saturu. (4p)

	Daudzums	Cel, %	HeC, %	Lig, %	Extr, %	Pelni, %
<i>BV</i>	0.68 t	48.5	25.1	19.4	2.5	0.3
<i>QR</i>	450.00 kg	41.1	22.2	29.6	12.2	0.3
<i>TP</i>	322.55 g	47.5	14.7	32.8	8.9	0.2

Ja pārbaudes darbam tiek atvēlēts pietiekami daudz laika (vairāk par vienu mācību stundu), tad ir iespējams izmantot liela apjoma uzdevumu. Matemātiskās operācijas ir vienkāršas – proporcijas un procentu aprēķins. Šāda tipa uzdevumi var lieliski noderēt trenējot jauniešus izmantot klasiskās aprēķina metodes nevis aplikācijas. Darba saturu un aprēķināmos lielums var variēt, lai samazinātu uzdevuma apjomu.

Šis uzdevums ir īpašs ar to, ka šeit parādīta fundamentāla patiesība. Summējot koksnes komponentu procentuālo daudzumu, ir maz iespējams sasniegt 100 %. Tas saistīts ar to, ka koksnes ķīmiskās komponentes ir cieši saistītas viena ar otru. Izmantojot gan ķīmiskās, gan mehāniskās metodes komponentu atdalīšanai, pārējās tiks ietekmētas. Piemēram, izdalot celulozi pēc Kiršnera metodes (galvenie reaģenti etanols un slāpekļskābe), slāpekļskābe ietekmēs netikai hemicelulozes un lignīnu, bet arī pašu celulozi. Notiek iepriekš minētais process hidrolīzes process (celulozes hidrolīze 2.4.apakšnodaļa), stiprās skābes hidrolīzē celulozi, to sadalot glikozē. Rodas nelieli celulozes zudumi.

## SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

Uzdevumu analīze piedāvā daudzdimensiju redzējumu dažādiem uzdevuma veidiem un plašu teorētisko ieskatu celulozes ķīmijā. Šie uzdevumi ir veidoti, lai nostiprinātu kādreizējā priekšmeta “Koksnes ķīmija” un tagadējā moduļa “Materiālu testēšana un novērtēšana PB1” audzēkņu zināšanas koksnes ķīmijas nozarē.

Dažādie teorijas uzdevumi plašina audzēkņu domāšanu. Terminu skaidrojums mijas ar jautājumiem, kuru saknes meklējamas ekonomikā, rūpniecībā, sīkāk zināšanās citos ķīmijas veidos, triviālo vielu nosaukumu nozīmībā utt. Metožu aprakstīšana apspēlē celulozes ķīmijas vēsturisko attīstību pasaulē un Latvijā.

Uzdevumi ar attēliem attīsta audzēkņu vizuālo domāšanu. Attēli palīdz labāk izprast procesu attīstību un dziļāk izprast celulozes pārvērtības uz kurām balstās celulozes ķīmiskās pārstrādes produktu rūpniecība. Celulozes hidrolīzes mehānisma shēma piedāvā iespēju izanalizēt 100 % iznākuma iespējamību, kas ir liels retums ķīmijā.

Reakciju uzdevumi nostiprina zināšanas par visplašāk pazīstamo celulozes modifikāciju iegūšanu. Daudzus no tiem audzēkņi izmanto ikdienā, neapzinoties, kas pamatā ir celuloze.

Aprēķina uzdevumi imitē zinātniskās un rūpnīcas laboratorijas darbu. Mērvienību pārejas trenē analītisko domāšanu. Tas ir svarīgi rūpnieciskajos procesos, jo grams un kilograms ir no svara. Pārbaudes darbi ir būvēti, lai sasaistītu dažādus ķīmijas atzarus, bet arī dažādus mācību priekšmetus, piem., matemātika-ķīmija.

Pārbaudes darbi sevī ietver ķīmijas, ķīmijas tehnoloģijas un materiālzinātnes nozares kā laboratoriskā, tā rūpnieciskā aspektā.

Audzēkņi tiek pietiekami labi sagatavoti, lai tiktu uzņemti praksē LV koksnes ķīmijas institūtā. Jau vairāk kā 10 audzēkņi ir praktizējušies LV KĶI, dažas no praksēm vainagojās ar noslēgtām darba attiecībām, lai pildītu laboranta pienākumus.



## IZMANTOTIE AVOTI

(1) Autors nezināms. *Discover the fabric of the future: Lyocell*. (2020). Skatīts: 2023.gada 30.aprīlī.

(2) Fengel D., Wegener G. (1984). *Wood – chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlīne un Ņujorka, 613 lpp. <https://doi.org/10.1002/pol.1985.130231112>

(3) Filipova I., Fridrihsone V., Cabulis U., Berzins A. (2018). *Synthesis of Nanofibrillated Cellulose by Combined Ammonium Persulphate Treatment with Ultrasound and Mechanical Processing*. Nanomaterials (Basel). doi: 10.3390/nano8090640.

(4) Fridrihsone V. (2017). *4. prezentācija Koksnes komponentes, koka šūna*. Elektroniskie mācību materiāli.

(5) Latvijas Zinātņu akadēmija. *Latvijas Zinātņu akadēmijas goda doktors Dr. habil. chem. Ģirts Zaķis*. (2009). Skatīts 2023.gada 24.aprīlī. [http://archive.lza.lv/index.php?option=com\\_content&task=view&id=555&Itemid=318](http://archive.lza.lv/index.php?option=com_content&task=view&id=555&Itemid=318)

(6) Morozovs A., Irbe I., Bukšāns E. (2018). *Koksnes ķīmiskā pārstrāde in aizsardzība*. Jelgava. 171 lpp.

(7) Vaņins S. (1950). *Koksnes zinātne*. Rīga. Latvijas Valsts Izdevniecība. 461 lpp.

(8) Zaķis Ģ. (2008). *Koksnes ķīmijas pamati*. Rīga. Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, 200 lpp.

# **PIELIKUMI**

## 1.pielikums. Pārbaudes darba piemērs. Zema sarežģītība

1.1. Celulozes iegūšanas reakcija. (2p)

1.2. Raksturojiet celulozi un tās makromolekulu. (4p)

1.3. Atbildiet uz jautājumiem: (8p)

- a.) Kas ir reducējošā struktūra?
- b.) Ko nosaka ar "Vara skaitli"?
- c.) Kas ir holoceluloze?
- d.) Kas jāizmanto, lai iegūtu acetilcelulozi?
- e.) Kā savādāk sauc celulozes ksantogenātus?
- f.) Vai oksidējot celulozi iespējams iegūt diketonus nesašķeļot ciklu?
- g.) Ar ko šķīdināsiet celulozi, ja finanses ir šķērsliis?
- h.) Vai merserizācija ir celulozes apstrāde ar sērskābi?

1.4. Skaidas uzlika uz Petri trauciņa žūt, un to masa bija 8 g. Pirmo reizi nosverot paraugu, tas svēra 6,5 g, pēc tam paraugs svēra 4,2 g. Cik daudz ūdens bija uzsūkušas skaidas? Cik daudz absolūti sausa parauga pieejams, ja kopējā parauga masa pirms visām analīzēm ir 600g. Uzrakstiet formulu un paskaidrojiet locekļus. (4p)

1.5. Īsi aprakstiet Persulfāta, Peretiķskābes un Kiršnera metodi. (6p)

Punkti	1-2	3-5	6-9	10-13	14-15	16-17	18-19	20-21	22-23	24
Balles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

## 2.pielikums. Pārbaudes darba piemērs. Vidēja sarežģītība

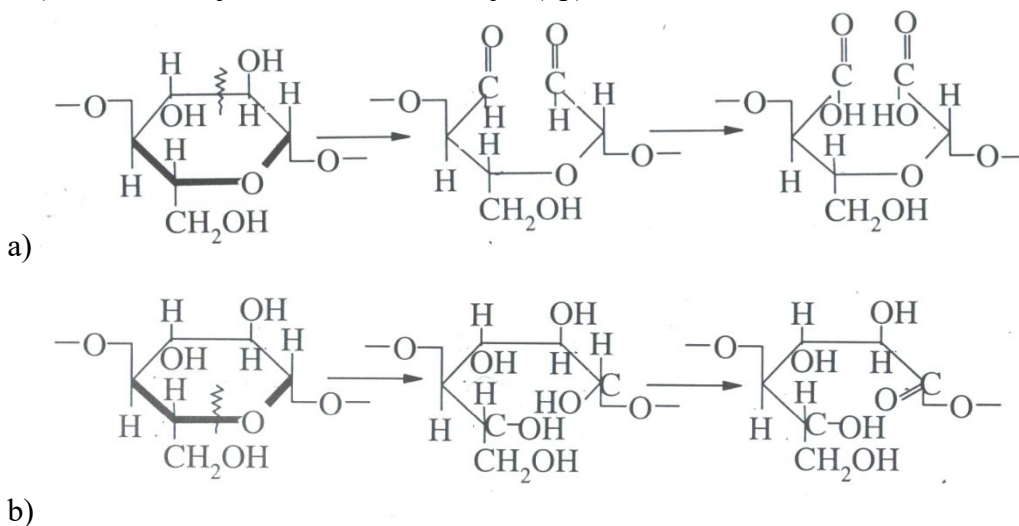
4) Īsi paskaidrot terminus: (12p)

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| a) Reducējošā struktūra; | g) Celuloze;                |
| b) Metilceluloze;        | h) Acetātzīds;              |
| c) Viskoze;              | i) Holoceluloze;            |
| d) Aplieva               | j) Vara skaitlis;           |
| e) Miza;                 | k) $\beta$ -D-glikopiranoze |
| f) Merserizācija;        | l) Agrīnā koksne.           |

5) Lūdzu uzrakstiet reakcijas un nosauciet radušos produktus: (12p)

- Celulozes nitrātu iegūšanas reakciju;
- Metilcelulozes iegūšana ar sulfāta organisko atvasinājumu;
- Oksietilcelulozes iegūšana;
- Celulozes sadedzināšana.

6) Īsi raksturojiet, kas notiek reakcijā: (4p)



7) Atbildiet uz jautājumiem: (4p)

- Nosauciet šo vielu –  $[\text{Zn}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2](\text{OH})_2$ ;
- Ar ko uzbriedināsiet celulozi, ja finanses ir šķērslis?
- Kāpēc jābalina celuloze?
- Kuri C atomi tiek saistīti, veidojoties Celulozes makromolekulai?

8) Īsi aprakstiet Persulfāta, Peretiķskābes un Kiršnera metodi. (6p)

Punkti	1-5	6-9	10-15	16-21	22-23	24-26	27-30	31-34	35-36	37-38
Balles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### 3.pielikums. Pārbaudes darba piemērs. Augsta sarežģītība

1) Īsi paskaidrot terminus: (10p)

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| a) Reducējošā struktūra; | f) Celuloze;                 |
| b) Metilceluloze;        | g) Acetātziāds;              |
| c) Viskoze;              | h) Holoceluloze;             |
| d) Miza;                 | i) $\beta$ -D-glikopiranoze; |
| e) Merserizācija;        | j) Agrīnā koksne.            |

2) Atbildiet uz jautājumiem: (4p)

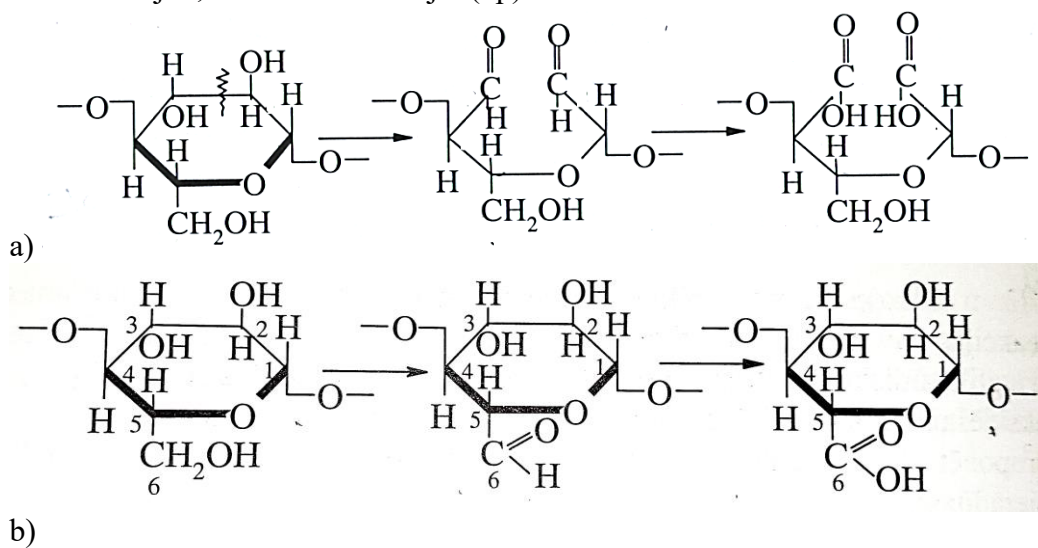
- Nosaučiet šo vielu –  $[\text{Zn}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2](\text{OH})_2$ ;
- Ar ko uzbriedināsiet celulozi, ja finanses ir šķērslis?
- Kāpēc jābalina celuloze?
- Kuri C atomi tiek saistīti, veidojoties Celulozes makromolekulai?

3) Aprakstiet 2 celulozes iegūšanas metodes pēc Jūsu izvēles. (4p)

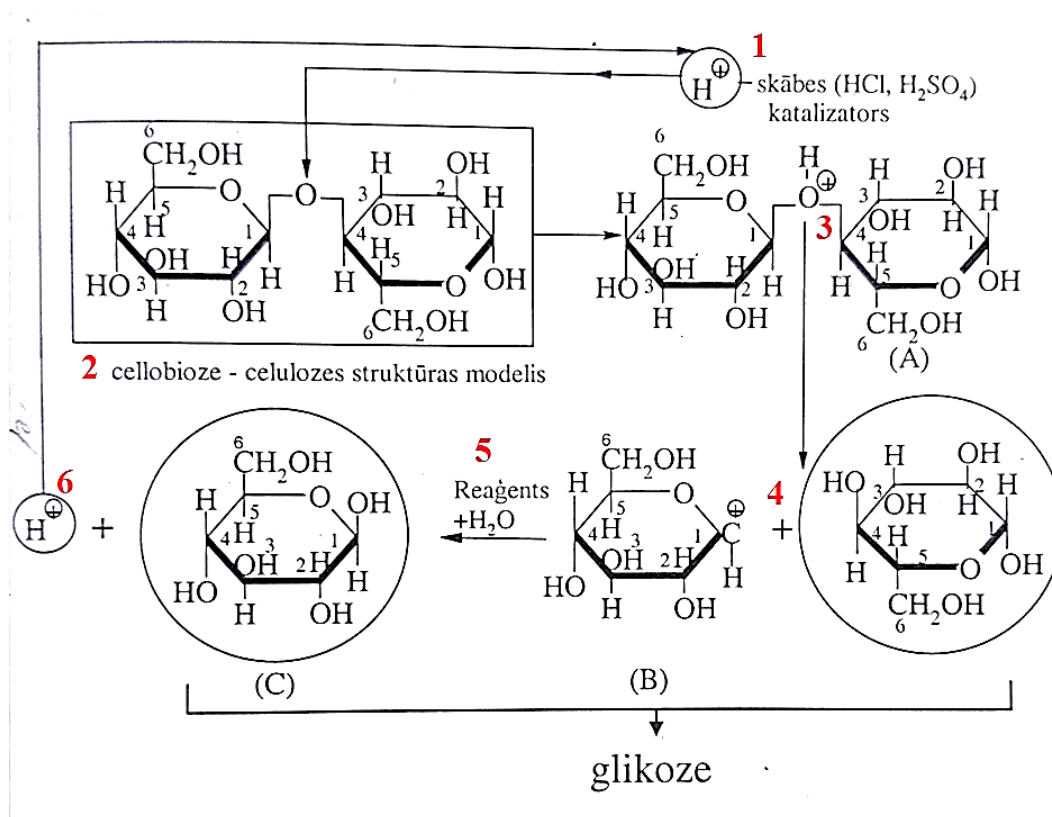
4) Lūdzu uzrakstiet reakcijas un nosaučiet izejvielas un radušos produktus: (12p)

- Celulozes nitrātu iegūšanas reakciju;
- Metilcelulozes iegūšana ar sulfāta organisko atvasinājumu;
- Oksietilcelulozes iegūšana;
- Celulozes sadedzināšana.

5) Īsi raksturojiet, kas notiek reakcijā: (4p)



6) Lūdzu aprakstīt celulozes hidrolīzes posmus – 3 un 4. (4p)



7) Karēlijas bērza mēbelēs bija ieviesušies ķirmji. No šīm mēbelēm tika noņemti skaidu paraugi. No krēsla tika noņemti 287 g skaidu un no dīvāna 285 g. Dīvāna skaidiņas pirms žāvēšanas svēra 108,30g pēc žāvēšanas svēra 0,124 kg. Krēsla skaidiņu mitrums bija 13,6%. Cik absolūti sausa parauga gramos pieejams analizēm no dīvāna skaidiņu parauga, ja parauga masa pēc mitruma noteikšanas ir 311520 mg? Uzrakstīt formulu, paskaidrojiet locekļus. (9p)

Punkti	1-6	7-13	14-20	21-27	28-30	31-33	34-37	38-41	42-45	46-47
Balles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10