

XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



kategória

1. feladat

Carl Wilhelm Scheele nemcsak arról volt híres, hogy számos anyagot felfedezett, hanem arról is, hogy minden új vegyületet megkóstolt. Egy napon meghívást kapott a Stockholmban rendezett Nemzetközi Vegyésztalálkozóra, ahol a világ legnagyobb tudósai gyűltek össze – köztük a hírhedt Antoine Lavoisier is, aki féltékenyen figyelte Scheele sikereit.

Az állófogadáson cukorporral meghintett mandulássüteményt kínáltak a felszolgálók, melyből Scheele is elfogyasztott egy szelettel. Alig néhány perccel később szédülni kezdett és nagyon fájt a feje. Tapasztalt kémikus lévén azonnal rájött, hogy megmérgezték – méghozzá keserű mandula ízű kálium-cianiddal, amit a sütemény cukorporában keverték el. Scheele gyorsan elővette zsebéből a mindig magánál hordott széntablettákat – hiszen a bélpanaszai miatt sosem hagyhatta el nélkülük a házat. Az összes tablettát bevette, hogy a mérget még a gyomorban megkösse és az ne juthasson tovább a szervezetébe. Közben fejében villámgyorsan lejátszotta az eseményeket: ki állhatott a támadás mögött? Szeme sarkából észrevette, hogy Lavoisier egy sarokból figyelte őt, gyanús mosollyal az arcán.

Scheele szervezete, amely már megszokta a vegyszereket, amiket rendszerint megkóstolt, ellenállt a halálos dózishoz és túlélte az esetet. Lavoisier pedig – ha valóban ő volt a tettes – elsápadt, amikor Scheele újra felállt, és emelt fővel elhagyta a termet.

- a) A méreggel a gyomorban még a hatás előtt egy kémiai folyamat is végbe megy, mi ez a folyamat?

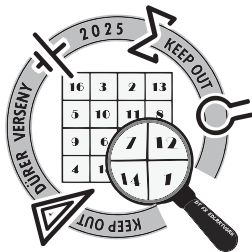
Scheele kíváncsi volt, hogy mennyi széntablettát kellett volna bevennie ahhoz, hogy a mérget adszorbeálni tudja. Ehhez a jódszám-meghatározás kísérletét használta. A *jódszám* az 1 g szén által $0,05 \text{ mol/dm}^3$ vizes jód oldatból megkötött jód mennyisége mg-ban. Ezt az eljárást pórusos aktív szenek fajlagos felületének gyors meghatározására dolgozták ki. 1 mg megkötött jód a tapasztalatok szerint kb. 1 m^2 felületnek felel meg, de ez függ a szén pórusméretétől is.

- b) 1 db jódmolekula mekkora felületen kötődik meg? Az eredményt nm^2 -ben adjátok meg!

Az oldatban visszamaradt, nem adszorbeálódott jód mennyiségét Scheele nátrium-tioszulfát hozzáadásával (jodometriás titrálással) határozta meg.

- c) Mi a titrálás reakcióegyenlete?

A szabványos eljárás alapján a visszamaradt jód-oldat várható koncentrációja $0,01 \text{ mol/dm}^3$. Az ettől való eltérést a $0,004$ - $0,017 \text{ mol/dm}^3$ tartományban egy empirikusan meghatározott korrekciós görbe segítségével vehetjük figyelembe. A mért koncentrációt a korrekciós képlet szerint kell faktorozni (lásd ábra).



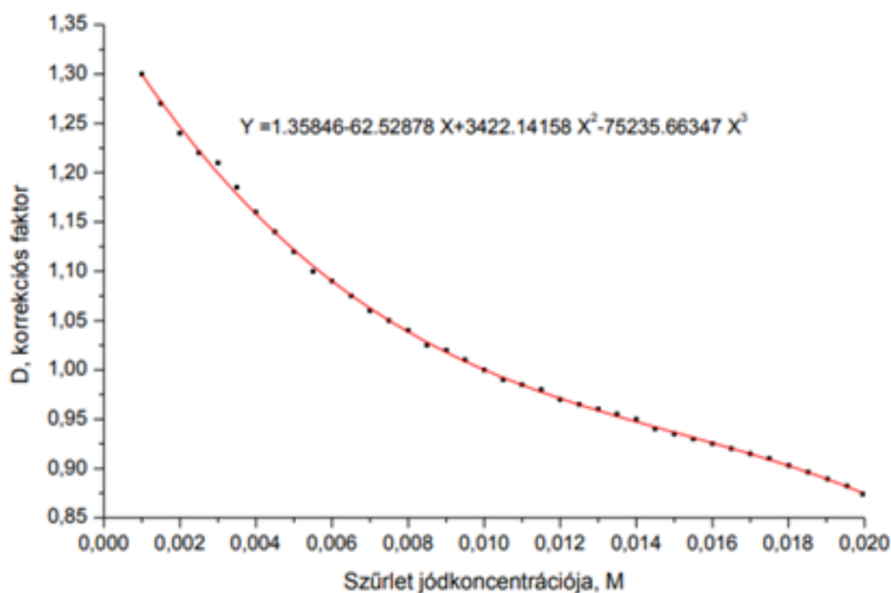
XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



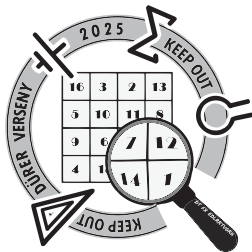
kategória



Scheele 3 párhuzamos mérést végzett. Minden mérés elvégzéséhez 0,7 g **porított** széntablettát tett egy Erlenmeyer-lombikba. A titrálást zavaró szulfidok eltávolítása érdekében 5 cm³ 5 m/m%-os sósavat adott hozzá és kb. 30 másodpercig forralta.

A mintához lehűtés után 50 cm³ 0,05 mol/dm³-es jóddoldatot adott és 30 másodpercig erőteljesen rázta. Redős szűrőn leszűrte, majd a szűrlet első 10-15 cm³-ét elöntötte és a többit összegyűjtötte. A szűrletből kivett 20 cm³-t és megtitrálta ismert faktorú 0,01 mol/dm³-es Na₂S₂O₃ oldattal szalmasárga színig, majd keményítőt hozzáadva a kék szín eltűnéséig folytatta a titrálásokat. (Ha a titrált koncentráció nem esik 0,004-0,017 mol/dm³ koncentráció-tartományba, a vizsgálatot megismételjük a kívánt mennyiségű szénnel.)

- Mekkora a szűrlet jódtartalma?
- Mennyi a szén jódszáma?
- Egy széntabletta hány db jódot köt meg? Scheelenek hány széntablettát kellett volna bevennie ahhoz, hogy az összes mérget adszorbeálja, ha 400 mg kálium-cianidot tettek a süteményére és egy széntabletta a jódroz képest tízszeres mennyiségű cianid adszorpciójára képes. (Egy széntabletta tömege 250 mg)



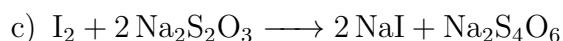
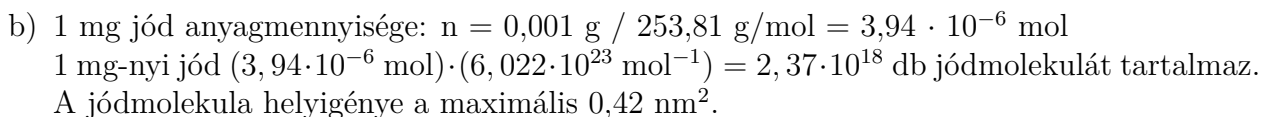
XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



1. feladat megoldása



d) A szűrletben a jódszám koncentrációja:

$$c_{\text{I}_2, \text{v}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{\text{S}_2\text{O}_3} \cdot c_{\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{fogyás}}}{20} \quad [\text{M}]$$

e)

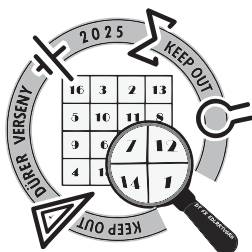
$$n_{\text{I}_2, \text{a}} = \frac{(f_{\text{I}_2} \cdot c_{\text{I}_2, 0} - 1,1 \cdot c_{\text{I}_2, \text{v}}) \cdot V_{\text{I}_2}}{m} \quad (\text{mmol/g})$$

Jódszám : $n_{\text{I}_2, \text{a}} \cdot M_{\text{I}_2} \cdot D$

f)

$$n_{\text{KCN}} = \frac{400 \text{ mg}}{65,1 \text{ mg/mmol}} = 6,144 \text{ mmol}$$
$$n_{\text{I}_2} = 6,144 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

A széntabletta által adszorbált jódszám anyagmennyisége a jódszám alapján számolható. Ez alapján egy széntabletta elegendő.



XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



2. feladat

Birbury-ben mindenki gazdálkodással foglalkozik, ezért is lehet, hogy itt a legértékesebb hagyaték a farm, az állatok és a mezőgazdasági gépek. A falu farmjai messze földön híresek, hiszen csak kiváló BIO termékek kerülnek innen a piacra. Egy szép napon, mikor Betry Jones asszonyság az ültetvényén sétálgatott, egy műtrágyás zacskó cafatját találta a lába előtt. Mivel egyedül Thaddeus Thorn élt a szomszédságában, biztos volt benne, hogy tőle származik, ezért azonnal értesítette a megfelelő hatóságokat.

Másnap a rendőrség vizsgálatot végzett Thaddeus farmján, de semmi bizonyítékot nem találtak és a gyanúsított mindent tagadott. Mivel a terményeit már rég elszállították, így új nyomok után kellett kutatni. Thaddeus az állatait a farmja melletti víztározóból itatta, ami új ötletet adott a nyomozóknak: mi lenne, ha a tyúkok tojásait vizsgálnák meg? Ha valóban műtrágyázott, a vízbe került foszfor a tojáshéjában halmozódhatott fel, és a saját tyúkjai fogják lebuktatni.

A foszfor mennyiségének meghatározását Evelyn Cross kriminalisztikai analitikus végezte el. Nagyon szerette a kimutatási reakciókat, eszébe is jutott egy foszfát-ionon keresztüli foszfor meghatározás. A meghatározás alapja, hogy a foszfátion a molibdenát-ionnal sárga színű foszformolibdenát-komplexet képez az alábbi rendezendő reakcióegyenlet szerint, mely a továbbiakban ismeretlen összetételű kék anyaggá redukálható:



a) Rendezzék az (1) számú reakcióegyenletet!

Evelyn **két párhuzamos mérést** végzett!

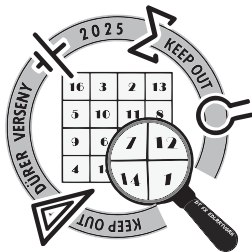
A minta foszfortartalmának meghatározásához szükség van egy kalibrációsor készítésére, amelyhez viszonyítva Evelyn meg tudja állapítani a mintája koncentrációját. A kalibrációsor elkészítéséhez 3,23 mmol/dm³-es NaH₂PO₄ oldatot használt, amit tízszeresére hígított.

b) A 3,23 mmol/dm³-es NaH₂PO₄ törzsoldat és a hígított NaH₂PO₄ oldat köbcentiméterenként hány mg foszfort tartalmazott? (mg foszfor/cm³)

A kalibrációsor elkészítéséhez a hígított NaH₂PO₄ oldatot használva bürettából rendre: 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 és 12,5 cm³ mennyiséget mért 50 cm³-es mérőlombikokba. A mérőlombikokhoz ezután sorrendben 20 cm³ 0,5 mol/dm³-es kénsav oldatot, 5 cm³ 2 %-os ammóniummolibdenát oldatot és 5 cm³ 0,1 mol/dm³-es frissen készült aszkorbinsav oldatot adott. A jelretöltéshez desztillált vizet használt, mindegyik tartalmát gondosan összerázta.

c) A foszforra nézve milyen koncentrációjúak a kapott törzsoldatok? (mg foszfor/dm³ mennyiségben megadva)

A minta foszfortartalmának meghatározásához 0,87 - 0,90 g hamvasztott tojáshéj mintát mért egy 25 cm³-es főzőpohárba, amihez 5 cm³ 1:2 hígítású sósav oldatot adott fülke alatt, úgy, hogy először a tégelybe, majd a főzőpohárba töltötte. (A minta erősen pezseghet!) A feloldódást követően a főzőpohár tartalmát egy 250 cm³-es mérőlombikba mosta át desztillált vízzel – ez a



XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



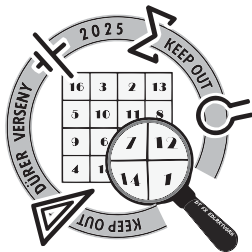
tojáshéj törzsoldat. A tojáshéj törzsoldatból 12,5-szeres hígítást készített, úgy, hogy a törzsoldat 20 cm^3 -ét 250 cm^3 -es mérőlombikban desztillált vízzel jelre töltötte. A hígított oldatból 10 cm^3 -t mért be egy 50 cm^3 -es mérőlombikba és a kalibráló oldatokhoz hasonlóan sorrendben 20 cm^3 $0,5 \text{ M}$ -os kénsav oldatot, 5 cm^3 2% -os ammónium-molibdenát oldatot és 5 cm^3 $0,1 \text{ M}$ -os **frissen készült** aszkorbinsav oldatot adott.

A szín kifejlődése időreakció, kb. 30 perc állás után 831 nm hullámhosszon vizsgálta meg az abszorbanciát **Jasco V-730** típusú kétutas spektrofotométerrel. A spektrofotometriás mérésekhez egy speciális átlátszó mérőedényt - küvettát - használunk. A mérendő oldatokat a küvettán látható jelölésig töltjük és így helyezük be a spektrométerbe. A kétutas spektrofotométernél két fényalábbal mérjük az abszorbanciát. Az egyik fényaláb mindig a referencia oldaton (vizen) halad keresztül, a másik pedig a mintaoldaton. Ez a módszer kiküszöböli a fényforrás ingadozásából származó hibát. A kalibrálósor oldatait növekvő töménységi sorrendben mérjük.

- d) A hamvasztás hatására a tojáshéj fő alkotójával történik egy kémiai reakció. Mi lehet ez?
- e) Miért pezseg a hamvasztott tojáshéj a sósavat hozzáadva? Írjátok fel a lejátszódó reakció egyenletét!

Evelyn Cross korábban végzett vizsgálatai alapján a hamvasztott BIO tojások maximum $0,75 \text{ m/m}\%$ foszfort tartalmaznak.

- f) Számítsátok ki Thaddeus tojásainak foszfortartalmát! A bemért tojás tömege mekkora tömegszázalékban tartalmazott foszfort? Az eredmények alapján Thaddeus tényleg műtrágyázhatott?



XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



2. feladat megoldása

- a) $\text{PO}_4^{3-} + 12 \text{MoO}_4^{2-} + 3 \text{NH}_4^+ + 24 \text{H}^+ = (\text{NH}_4)_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4] + 12 \text{H}_2\text{O}$
- b) $3,23 \text{ mmol/dm}^3 \text{ NaH}_2\text{PO}_4 = 3,23 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/cm}^3$
1 mol NaH_2PO_4 1 mol P atomot tartalmaz, így a moláris tömeggel ($M=30,97 \text{ g/mol}$) megszorozva megkapjuk, hogy az oldat $0,1 \text{ mg/cm}^3$ P atomot tartalmazott.
A tízszeresen hígított oldat $0,01 \text{ mg/cm}^3$.
- c) A $2,5 \text{ cm}^3$ hígított NaH_2PO_4 ($0,01 \text{ mg foszfor/cm}^3$) tartalmú oldat $0,01 \cdot 2,5 \text{ mg}$ foszfort tartalmazott. A kalibrálóoldatok végtérfogata $0,05 \text{ dm}^3$, ezek ismeretében kiszámítható a tömegkoncentrációk:

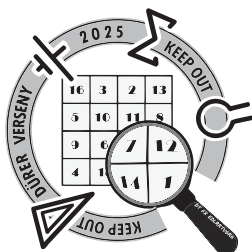
oldat	1.	2.	3.	4.	5.	6.
bemért hígított NaH_2PO_4 (cm^3)	0,0	2,5	5,0	7,5	10	12,5
koncentráció (mg P / dm^3)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5

- d) kalcium-karbonát
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- e) $\text{CaO} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- f) koncentráció kiszámítása lineáris interpolációval, pl:

$$M_{\text{minta}} = \frac{M_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \cdot A_{\text{minta}}$$

$$\text{foszfortartalom: } 0,05 \text{ dm}^3 \cdot M_{\text{minta}} \cdot 312,5 \cdot \frac{100}{m_{\text{tojáshéj}}} = w\%$$

kb. $2,2 \text{ mg P/dm}^3$ 50 cm^3 -es oldatban $0,11 \text{ mg}$ foszfor volt. A hígított oldat 10 cm^3 -e is ennyi foszfort tartalmazott, tehát 250 cm^3 $2,75 \text{ mg}$ foszfort tartalmazott. Ez a törzsoldat 20 cm^3 -ében van, tehát a bemért 12,5-szer ennyi foszfort tartalmazott: $68,75 \text{ mg P-t}$. A bemért tojásmintában $68,5 \text{ mg}$ foszfor volt, ami a bemért 880 mg mintának a $7,81 \%$ -a, tehát Thaddeus műtrágyázott.



XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs



3. feladat

Prospektív vegyészek vagytok a 30as évek Londonjában. Egy bűnszervezet, a „Hoxton banda” sajnálatos módon rabul ejtett benneteket, de ha a kémiai ismereteiteket a bűn szolgálatába állítjátok, élve hagynak titeket. Legújabb feladatotok a „nagyserű” Jimmy Spinks bandavezér által kiötlött terv megvalósítása, miszerint gyilkosságaik helyszínén erős illatanyagokat kennének szét, ezzel maszkolva a halál bűzét az utca embere elől, és egyúttal a hatóságok, és más bandák előtt. Hoxton hatalmát fitogtatnák a „remélhetőleg” klasszikussá váló modus operandi segítségével. Mivel ti átlátjátok, hogy ez egy elmondhatatlanul rossz ötlet, nyomban munkához is láttok, szabadulásotokban reménykedve. A banda vegyszerkészletei jócskán hagynak kivetni valót, azonban találtok szertárukban egy üveg izoamil-étert. Ez azonnal meginspirál titeket, hiszen eszetekbe jut, hogy a Cavendish banán illatáért az izoamil-acetát felelős.

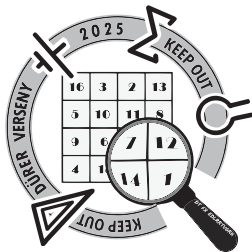
- a) Rajzoljátok fel az izoamil-acetát szerkezeti képletét, annak ismeretében, hogy ennek IU-PAC neve 3-metilbutil-acetát!

Ahhoz, hogy ezt az illatos észtert előállítsátok, először az étert hasítanotok kell alkohollá, hogy ezután az alkohollal, és egy szerves savval Fischer-szintézist hajtsatok végre. (Az éterhasítást nem fogjátok elvégezni, kaptok izoamil-alkoholt).

- b) Rajzoljátok fel az izoamil-acetát Fischer-szintézishez szükséges alkoholt, és szerves savat!
c) Mutassatok be egy reakciót, melyben étereket alkohollá lehet hasítani!

Miután izoláltátok az alkoholt, a következő (elvégezendő!) lépéseket hajtjátok végre: egy tiszta, száraz kémcsőbe, melyhez jól illeszkedő dugót is találtatok, bemérték 2,5 ml izoamil-alkoholt, 3,5 ml tömény ecetsavat, és az elegyhez csepegtetsz 5 CSEPP tömény kénsavat. A kémcsövet alaposan ledugaszoljátok, parafilmmel a dugót körbetekeritek, a keveréket összerázzátok, majd 70 °C-os vízfürdőbe állítjátok fél órára (időnként összerázzátok). Az idő leteltével, a kémcső lehűlése után 6 ml „félíg telített” (kb. 10 m/m%) NaCl-oldatot adagoltok a kémcsőbe, újra ledugózzátok, alaposan összerázzátok, majd a fázisok szétválása után a vizes fázist (alsó) Pasteur-pipettával kipipettázzátok. Ezt a folyamatot ismételjétek meg 6 ml NaHCO₃ telített vizes oldatával is legalább kétszer, addig amíg már nem tapasztaltok gázfejlődést az összerázás-kor/után. Ezután ismét végezzétek el ezt a mosást friss félíg telített NaCl-oldattal. A szerves fázist pipettázzátok át egy tiszta, száraz kémcsőbe, szórjátok bele egy kevés vízmentes Na₂SO₄-ot, rázzátok össze, majd a nátrium-szulfát ülepedése után egy újabb kémcsőbe pipettázzátok át a tiszta terméket. Ezt óvatosan meg lehet szagolni, de ezen a ponton valószínűleg az egész labor banánszagú lesz, ezért talán ez nem szükséges.

- d) Határozzátok meg a hozzávetőleges termelést ($n/n\%$ -ban), a termék térfogatának mérésével ($\rho_{\text{izoamil-alkohol}} = 0,8104 \text{ g/ml}$, $\rho_{\text{ecetsav}} = 1,05 \text{ g/ml}$, $\rho_{\text{izoamil-acetát}} = 0,876 \text{ g/ml}$).
- e) Írjátok fel a Fischer-féle észterkondenzáció reakcióegyenletét, annak ismeretében, hogy ez egy egyensúlyi folyamat! Mi magyarázza az alacsony hozamot?
- f) Hogyan tudjuk eltolni az egyensúlyi reakciót a terméképződés irányába? Mit alkalmazunk jelen esetben?



XVIII. Dürer Verseny

Döntő (2025. 02. 07-09.)

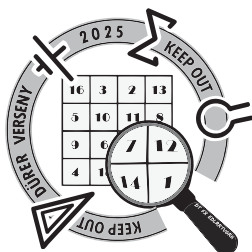
Labor megoldókulcs



g) Mi a szerepe a kénsavnak a reakcióban?

h) Milyen gáz fejlődik a NaHCO_3 -os mosások során, és mi(ke)t távolítottunk el a termék mellől ezen mosások során?

Szerencsére a rendőrség – ahogy remélték – ettől a pofátlan erőfitogtatástól a Hoxton bandát kezdte el nyomozni a legnagyobb erővel, és hamar kiderítették kilétüket. Büntársként eljárás indult ellenük, de meggyőző védőbeszédetek, illetve akadémiai kollégáitok erős kiállása a morális integritásotok mellett megnyeri a bíróságot, és szabad emberként távozhattok, visszatérhettek régi akadémiai életetekhez.



XVIII. Dürer Verseny

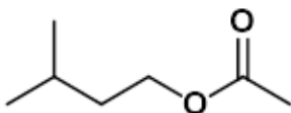
Döntő (2025. 02. 07-09.)

Labor megoldókulcs

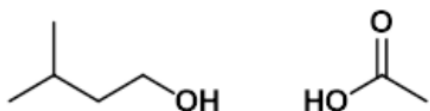


3. feladat megoldása

a)



b)

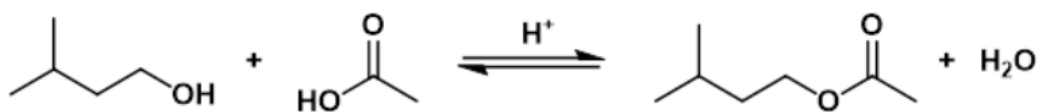


c) hidrogén-halogenides hasítás ($\text{ROR} + \text{HX} = \text{ROH} + \text{RX}$), bármely más helyes reakció

d) Ecetsav felesleges a reakció, tehát az lenne a cél, hogy az izoamil-alkohol teljes mennyisége elreagáljon. Egyensúlyi folyamat révén csak részben reagál el, erre a százalékra vagyunk kíváncsiak. $M_{\text{ecet}} = 60 \text{ g/mol}$, $M_{\text{alkohol}} = 88 \text{ g/mol}$, $M_{\text{termék}} = 130 \text{ g/mol}$.

$$\text{termelés} = \frac{\frac{V_{\text{termék}} \cdot \rho_{\text{termék}}}{M_{\text{termék}}}}{\frac{V_{\text{alkohol}} \cdot \rho_{\text{alkohol}}}{M_{\text{alkohol}}}} \cdot 100$$

e)



A reakció egy szerves egyensúlyra vezető folyamat, ez magyarázza az alacsony termelést.

f) Valamelyik kiindulási anyag feleslege/víz/termékeltávolítás. A feladatban ecetsavfelesleget alkalmaztunk.

g) Katalizátor/karbonsav aktiválás.

h) CO_2 fejlődik, ezekkel a mosási lépésekkel szabadulunk meg a kénsavtól és a felesleg ecetsavtól, ami deprotonáltan, Na-acetátként sokkal jobban oldódik a vizes fázisban.