

**Nyugat-magyarországi Egyetem  
Erdőmérnöki Kar  
Kémiai Intézet**

# **Szerves kémia gyakorlat**

**Sopron  
2011.**

## Bevezetés

A szerves kémia gyakorlat célja gyakorlati, tapasztalati szinten megismertetni a legalapvetőbb szerves vegyületeket és azok tulajdonságait. A gyakorlati képzés tematikája nagyrészt követi az elméleti előadás gondolatmenetét, a vegyületek funkciócsoport szerinti tárgyalását. A gyakorlat során különböző kísérletek segítségével tanulmányozni fogjuk a szerves vegyületek fizikai és kémia tulajdonságait, főbb reakciótípusait. A kísérletek egy része demonstratív jellegű, az előadás keretein belül is tárgyalt vegyületek/vegyületcsoportok viselkedésének jobb megértését szolgálja. A kísérletek másik típusa összetettebb, egyéni illetve csoportos jellegű mérés. Ezek a mérések a minőségi illetve mennyiségi szerves kémiai analitika témakörébe tartozó feladatok. Elvégzésük a szerves vegyületek tulajdonságainak személyes tapasztalt szintjén történő megismerésén túl hozzásegít a laboratóriumi műszerek és eszközök készség szintjén történő jobb megismeréséhez is.

## I. Szerves vegyületek elemzése és általános jellemzése

A szerves vegyületek elemzésének első lépése annak megállapítása, hogy a vizsgálandó anyag molekulájának felépítésében milyen elemek vesznek részt, és azokat milyen mennyiségben tartalmazza (összegképlet megadása), továbbá annak felderítése, hogy a vegyület alkotói milyen kölcsönhatásban vannak egymással (szerkezeti képlet meghatározása).

### Szerves vegyületek elemi alkotóinak kimutatása

A szerves vegyületek elemzése különbözik a szervetlen vegyületekétől. Az eltérésnek az az alapja, hogy a szerves vegyületeket alkotó elemek leggyakrabban kovalens kötéssel kapcsolódnak egymáshoz, tehát a szervetlen vegyületek szokásos ionreakcióit közvetlenül nem alkalmazhatjuk. Az analízis folyamán a vizsgálandó vegyületeket először alkotóira bontjuk, a kovalens kötések felszakítjuk, majd a vizsgálandó összetevőket ionreakcióik révén kimutatjuk.

### *Szén és hidrogén kimutatása*

A szén és a hidrogén kimutatása egy reakcióban történik. Kimutatásuk azon alapul, hogy a szerves vegyületek hőre és oxidálószerekre érzékenyek. A szerves vegyületek oxidációjában a széntartalom szén-dioxidá, a molekulákban kötött hidrogén pedig vízzé ég el, melyek képződése könnyen észlelhető.

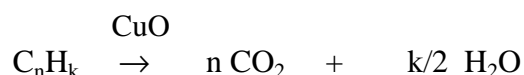
*Anyagok:* tetszés szerinti kevésbé illékony szerves vegyület (pl. cukor, naftalin), réz(II)-oxid por és meszes víz.

*Eszközök:* Kémcsövek, hajlított üvegcső.

Kivitelezés: Kevés mennyiségű vizsgálandó anyagot száraz kémcsőbe teszünk, majd 1-2 g száraz réz(II)-oxid porral gondosan összekeverjük. Ezután a kémcső nyílását egyfuratú dugóval elzárjuk. A furatba meghajlított üvegcsövet helyezünk. A kémcsövet ferde helyzetben állványon rögzítjük. Az üvegcső végét meszes vizet tartalmazó kémcsőbe vezetjük.

Ezután az anyagot tartalmazó kémcsövet hevíteni kezdjük. Hevítésre az anyag elroncsolódik: a réz(II)-oxid a szén CO<sub>2</sub>-dá, a hidrogént vízzé oxidálja. A szén-dioxid meszes vízben

átbuborékolva azt megzavarosítja, a képződött víz a hevített kémcső hidegebb részén lecsapódik.



Megjegyzés: A vizsgálandó anyagból előzetesen a nedvességet és a kristályvizet szárítással kell eltávolítani!

### ***Nitrogéntartalom kimutatása***

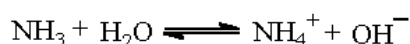
A kimutatási elemzést a vegyületek roncsolásával kezdjük, majd az elemi alkotókat ionos állapotba visszük.

*Anyagok:* nitrogéntartalmú szerves anyag (karbamid:  $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$ ), nátrium-hidroxid.

*Eszközök:* Kémcső, kémcsőfogó, indikátorpapír.

Kivitelezés: Tegyük kémcsőbe a vizsgálandó vegyületet és dobjunk bele egy nátrium-hidroxid darabkát! Óvatosan melegítsük a kémcső tartalmát, majd tartsunk a kémcső szájához megnedvesített indikátorpapírt!

Magyarázat: A szerves vegyületek nitrogéntartalma magasabb hőmérsékleten nátrium-hidroxiddal ammóniává alakítható. Ezen alapszik az ún. Kjeldahl-féle nitrogéntartalom-meghatározás. Az eltávozó ammóniagázt legegyszerűbben nedves indikátorpapírral mutathatjuk ki:



### ***Halogének kimutatása***

A halogének kimutatása szerves anyagokban elvégezhető az ún. Beisten-próbával.

*Anyagok:* kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), etil-alkohol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ).

*Eszközök:* főzőpohár, rézdrót, Bunsen-égő.

Kivitelezés: A vizsgálandó anyag kis kristályát vagy cseppjét előzetesen kiizzított rézdrótra visszük és nem világító lángba tartjuk. A halogén jelenléte esetén réz(II)-halogenid keletkezik, amely a lángot élénk kékes-zöldre festi. A próba rendkívül érzékeny a rézdrót esetleges halogenid szennyeződésére, ezért célszerű vakpróbát végezni etil-alkohollal.

### **A faanyag szerves vegyületeinek azonosítása**

A Földön az egyik legnagyobb szervesanyag-tömeget a növényvilág, azon belül az erdők hozzák létre. Említésre érdemes, hogy a biológiai folyamatokban termelt szerves anyag jelentős részét aromás vegyületek képezik, ami csak a növényvilágra jellemző. A fa szerves anyagát döntően *szénhidrátok* (cellulóz, hemicellulóz) és az aromás vegyületekből felépülő *lignin* alkotják, amelyekből kémiai eljárásokkal különböző egyszerűbb szerves vegyületek állíthatók elő.

### ***Fa száraz lepárlása***

*Anyagok:* faforgács vagy fűrészpor.

*Eszközök:* kémcső; hajlított, kihúzott végű üvegcső.

Kivitelezés: A kémcsövet kb. félig megtöltjük fűrészporral, majd tartalmát összetömörítjük. A kémcsövet ferdén - szájával lefelé - állványba erősítjük, nyílását kihúzott végű hajlított üvegcsővel tartalmazó parafa dugóval elzárjuk. Az üvegcsővet úgy helyezük el, hogy a belső

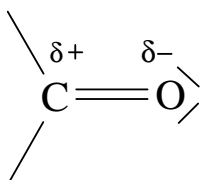
vége a kémcsőbe érjen, a kihúzott vége pedig felfelé álljon. Az összeállítás után a kémcső tartalmát egyre erősödő lánggal hevítjük. Hevítés hatására a fa elbomlik, a kémcsőből éghető gázok távoznak, melyek rövid várakozás után az elvezető cső végénél meggyújthatók. Ezután a lángot eloltva vezessük a gázokat meszes vizet tartalmazó kémcsőbe! Figyeljük meg, hogy az oldat megzavarosodik! A képződött víz és a kátrány a kémcső nyílásánál lecsapódik és összegyűlik. A kémcső lehűlése után vizsgáljuk meg a visszamaradt anyag koksz-szerű sajátosságát!

**Magyarázat:** A fa száraz lepárlása során négy jól megkülönböztethető halmazállapotú termék keletkezik: lepárlási gáz (*fagáz*), *faecet* (vizes oldat), *fakátrány* (vízzel nem elegyedő folyékony anyag), valamint *faszén*. A gáz kb. 50 % szén-dioxidot tartalmaz (ezt mutatja ki a meszes víz), a további alkotórészek: 25-30 % szén-monoxid és 15-20 % szénhidrogén. Az utóbbi gázok meggyújthatók. A fakátrány szerves vegyületeket, főleg fenolszármazékokat (fenol:  $C_6H_5OH$ ), a faecet ecetsavat ( $CH_3COOH$ ), acetont ( $CH_3COCH_3$ ) és metil-alkoholt ( $CH_3OH$ , *faszesz*) tartalmaz.

### A szerves vegyületek fizikai és kémiai tulajdonságai

A szerves vegyületek fizikai tulajdonságait (olvadáspont, forráspont, polaritás, stb.) valamint kémiai tulajdonságait (kémhatás, reakcióképesség, reakciótypus, stb) alapvetően a molekulákat felépítő *atomok közötti* elsődleges kémiai kötések, valamint a *molekulák közötti* másodlagos kölcsönhatások jellege és erőssége határozza meg.

A szerves vegyületeken belül előforduló elsődleges kötések a kovalens és az ionos kötés. Egy kovalens kötés lehet poláros vagy apoláros, annak megfelelően, hogy a kötést kialakító két atom elektronegativitás-különbsége nagy ( $\Delta EN > 0.5$ , poláros) illetve kicsi ( $\Delta EN < 0.5$ , apoláros). Ennek következtében részleges töltések/pólusok alakulhatnak ki a kötést létesítő két atom között az alábbi ábrának megfelelően:



A szén-oxigén kötés polárossága.  $EN_C=2.5$ ,  $EN_O=3.5$ ,  $\Delta EN=1.0$ .  $\delta^+$ ,  $\delta^-$  : parciális töltések.

Ha egy elsőrendű kötésben  $\Delta EN$  értéke 2.1 fölötti, a polarizáltság olyan erős, hogy a kötések heterolitikusan felszakadnak és különálló töltéssel rendelkező ionok jönnek létre. Áttekintésképpen a legfontosabb atomok elektronegativitás értékei: **H:** 2.1, **C:** 2.5, **N:** 3.1, **O:** 3.5, **F:** 4.1, **Cl:** 2.8, **Br:** 2.7, **I:** 2.2, **S:** 2.4, **P:** 2.1, **Na:** 1.0, **K:** 0.9, **Mg:** 1.2, **Ca:** 1.0.

Egy molekulán belül több elsődleges kötéstypus is előfordulhat. Ezen kötések *összessége* határozza meg a *teljes* molekula poláros/apoláros jellegét. Főként apoláros kovalens kötések (pl. C–C, vagy C–H) tartalmazó vegyületek molekulái *között* gyenge másodlagos kötések alakulnak ki, ezért az ilyen apoláros vegyületek *olvadás- és forráspontja* viszonylag alacsony, a poláros vegyületeké magas. Az apoláros vegyületek apoláros oldószerekkel a poláros anyagok poláros oldószerekkel elegyednek – hasonló a hasonlóval. Az ionos vegyületek olvadás és forráspontja magas, poláros oldószerekben oldódnak főként.

A molekulák *közötti* kölcsönhatások az ún. másodlagos kémiai kötések. A legjelentősebbek a van der Waals erők (diszperziós erők, dipól-dipól kölcsönhatás, indukciós hatás) és a hidrogénhíd-kötés. A *diszperziós erők* a leggyengébbek (kölcsönhatási energia: 0.1-1 kJ/mol), főleg teljesen apoláros molekulák között lépnek fel, mint pl. az alkánok,

alkének, aromás szénhidrogének. A *dipól-dipól kölcsönhatás* két dipólust (ld. oxovegyületek, ill. a fenti ábra) tartalmazó molekula között alakul ki. Mivel itt mérhető parciális töltések között jön létre az intermolekuláris kölcsönhatás, a kölcsönhatási energia is nagyobb (1-10 kJ/mol). Az ilyen kapcsolatot létrehozó molekulák olvadás- és forráspontja ezért magasabb lesz. Az *indukciós hatás* egy dipólus és egy nem dipólus molekula vagy molekularész között jön létre, a kölcsönhatási energia 1-10 kJ/mol. A legerősebb másodlagos kötőerő a *hidrogénhíd kötés* (10-40 kJ/mol). Egy kovalens kötésű, poláros hidrogénatom és egy másik atom magános elektronpárja között jön létre. Ott tud kialakulni, ahol a hidrogén nagy elektronegativitását atomhoz (pl. F, O, N) kovalens kötéssel kapcsolódik. Erre jó példa a víz, az alkoholok, illetve a karbonsavak.

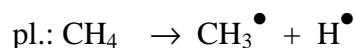
Az egyes szerves anyagcsoportok fizikai és a kémiai tulajdonságai az elsődleges és másodlagos kötéstípusok azonosításával könnyen értelmezhetők.

### A szerves vegyületek reakciótípusai

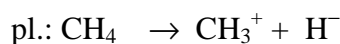
Reakciók során az atomokat összetartó elődleges kötések felbomlanak és újak jönnek létre. Egy reakció annál könnyebben mehet végbe, minél kisebb a kötések felhasításához szükséges energia. A szerves vegyületek összetettsége (nagy méret, több kötéstípus egy molekulán belül) miatt a szerves reakciók egyrészt lassabban, másrészt több lépésben mennek végbe, mint a szervetlen vegyületek esetében. Adott szerves vegyület-típusoknak jellemző reakció-mechanizmusai vannak. Ez a mechanizmus elsősorban attól függ, hogy milyen kötések hasadnak fel és milyen módon és milyen kötések jönnek létre. Ennek értelmében a szerves kémiai reakciókat a következőképpen csoportosíthatjuk:

#### a. kötésfelhasadás típusa szerint

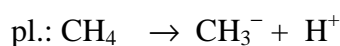
Homolitikus: a kötés felhasadás során gyökök (semleges atomok) keletkeznek



Heterolitikus: a kötés felhasadása során ionok keletkeznek



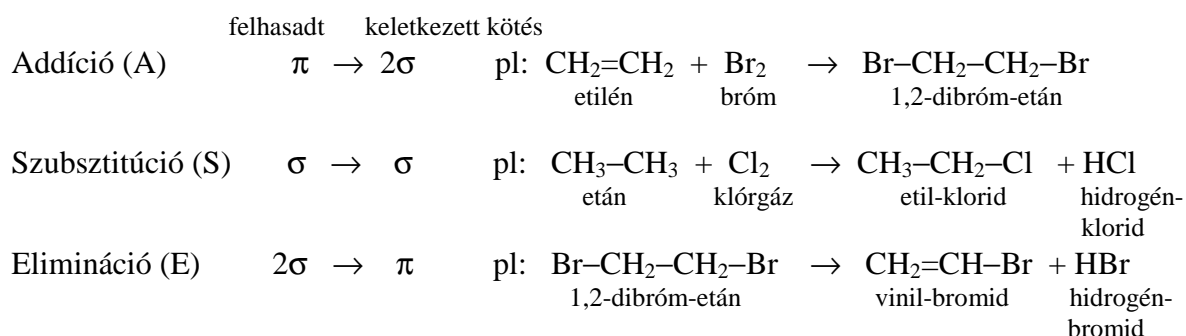
vagy



A gyökös felhasadás elsősorban a nagy kötési energiájú (pl. C-C és C-H)  $\sigma$  kötésekre jellemző. A kötésfelhasadás nagy energia igénye miatt a *gyökös reakciók* szélsőségesebb körülmények közt mennek végbe (magas hőmérséklet és nyomás, UV fény) általában gázfázisban vagy apoláros közegben. Ezek a reakciókörülmények magyarázzák az igen nagy energiájú és reakcióképes gyökök kialakulását. Savak és lúgok nem katalizálják a gyökös mechanizmusú reakciókat. A gyökök szabályozatlan keletkezése miatt gyakori a láncreakciók kialakulása. Többféle termék keletkezhet a reakció nem irányított jellege miatt (ti. C-C és C-H típusú kötések több helyen is elhasadhat a molekulában).

Az *ionos mechanizmusra* jellemző, hogy a kötés felhasítása kisebb energiaigényű. Ilyen reakciók főleg poláros közegben mennek végbe (ld. ionok oldódása), közepes vagy alacsony hőmérsékleten és nyomáson. Savak és lúgok katalizálják az ionos reakciókat. Nem alakul ki láncreakció és jól meghatározható szerkezetű termék/termékek keletkeznek.

*b, felhasadt és keletkezett kötés szerint*



*c, Ionos reakciók esetében az elektronátadás szerint*

szubsztrátum: a szénatomjával reagáló molekula

reagens: a nem szénatomjával reagáló reakciópartner (pl. Br, O, N, P, S stb.)

Elektrofil reakció: ha a reagens elektronfelvételre hajlamos

pl: alkének elektrofil addíciója

Nukleofil reakció: ha a reagens elektronleadásra hajlamos

pl.: észterképződés, nukleofil szubsztitúció

## II. Telített szénhidrogének (alkánok, cikloalkánok)

### Fizikai tulajdonságok

A telített szénhidrogének apoláris jellegű, vízzel nem elegyedő, annál kisebb sűrűségű vegyületek. Alacsony olvadási és forrásponttal rendelkeznek, mivel a molekulák közötti másodlagos kötőerők igen gyengék (ld. diszperziós kölcsönhatás).

### Kémiai tulajdonságok

A szerves vegyületek alapját jelentő *szénhidrogének* a molekulavázat alkotó szénatomok kötéstípusában ( $\sigma$ - és  $\pi$ -kötés) és polarizáltságában különböznek egymástól. Eltérő reaktivitásuk, átalakíthatóságuk és reakcióik (oxidáció, bomlás) a szén-szén kötési energiák különbözőségével magyarázhatók.

A földgáz, a kőolaj és lepárlási termékei (benzin, petróleum stb.) bőségesen tartalmaznak különböző telített szénhidrogéneket. A krakkolás, izomerizálás, dehidrociklizálás a petrokémia fontos folyamatai.

Kémiai átalakításuk csak a C-H ill. C-C szigma-kötések felbontásával valósítható meg (szubsztitúciós és bontási átalakulások). A szigma-kötés felhasításának aktiválási energiája nagy, ezért külső energia befektetésére (magas nyomás és hőmérséklet, ultraibolya fény) van szükség. A telített vegyületek jellemző reakciótípusa a gyökös mechanizmusú szubsztitúció. Ezek a reakciók - mivel a láncvégi és a molekulán belüli C-C ill. C-H szigma-kötések polarizáltságában kismértékű az eltérés - *irányítás nélkül* mennek végbe. Így ezekben a reakciókban mindig többféle szubsztituált termék keveréke keletkezik. Katalizátor alkalmazásával ionos mechanizmusú szubsztitúciós reakciók is megvalósíthatók. Heterogén katalízis hatására szubsztitúciók - a gyökös mechanizmustól eltérően - irányítottan, főtermék és kevés melléktermék keletkezése közben játszódhatnak le.

#### Gyökös szubsztitúció ( $S_R$ )

A bróm reakciója n-heptánnal gyökös mechanizmusú fotokémiai láncreakció. A láncindító (iniciálós) lépésben (1) a brómmolekula nagy energiájú UV-fény hatására homolitikus kötészakadással két brómatomra bomlik. A brómatomok gyök jellegűek (párosítatlan elektront tartalmaznak). A láncvivő szakaszban (2-3) a brómatom támadja meg a szénhidrogén kötést, amely hasad és egy hidrogén-bromid molekula mellett egy *alkilgyök* keletkezik. Az igen reakcióképes alkilgyök képes egy brómmolekulát megbontani, ekkor alkil-bromid (példánkban heptil-bromid) és aktív brómgyök keletkezik. Az újratemelődő brómatomok ismét képesek a C-H kötések felszakítani. A reakciósor addig fut, amíg a lánczáró szakaszban (4) két szénhidrogén-gyök vagy két brómgyök nem találkozik egymással.

- $Br-Br + hv \rightarrow Br^\bullet + Br^\bullet$
- $Br^\bullet + C_7H_{16} \rightarrow C_7H_{15}^\bullet + HBr$
- $C_7H_{15}^\bullet + Br-Br \rightarrow C_7H_{15}Br + Br^\bullet$
- $Br^\bullet + Br^\bullet \rightarrow Br_2$  ,  $C_7H_{15}^\bullet + C_7H_{15}^\bullet \rightarrow C_{14}H_{30}$

#### *Szénhidrogének oldódása különböző oldószerekben*

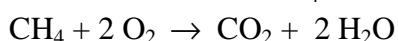
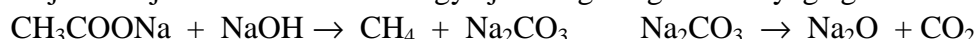
Öntsünk négy kémcsőbe egy-egy  $cm^3$  benzint, majd töltsünk hozzá vizet, etil-alkoholt ( $CH_3CH_2OH$ ), benzolt ( $C_6H_6$ ) és szén-tetrakloridot ( $CCl_4$ ). Figyeljük meg az oldódást!

Magyarázat: A szén és a hidrogén elektronegativitása között kis különbség van, ezért a szén-hidrogén kötések csak gyengén polárosak, a hidrogénnek ill. a szénnek nincs számottevő parciális töltése. A molekulák szimmetrikus szerkezetükből következően apolárosak, ezért szénhidrogének csak olyan oldószerekben oldódnak jól, amelyek hozzájuk hasonlóan apolárosak.

### ***Metán előállítása és égése***

A karbonsavak sóinak alkáli-hidroxidos hevítésével (dekarboxilező lebontás) eggyel kisebb szénatomszámú szénhidrogén képződik. (Lásd később a benzol előállítását!)

Mérjünk be 1 g vízmentes nátrium-acetátot és 2 g nátrium-hidroxidot egy porcelántégelybe, majd kezdjük lassan hevíteni! Figyeljük meg a légnemű anyag égését!



Magyarázat: A nátrium-hidroxid és nátrium-acetát keverékének hevítésekor metán (CH<sub>4</sub>) és szén-dioxid, kisebb mennyiségben aceton (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>) és etán (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) keletkezik.

### ***Benzin égése és oltása szén-dioxiddal***

Porcelántégelybe öntsünk 1-2 cm<sup>3</sup> benzint, gyújtsuk meg égő gyújtópálcával, majd öntsünk 10 cm<sup>3</sup> vizet az égő benzinhoz! A benzin a víz tetején is tovább ég. Fejlesszünk szén-dioxid gázt és vezessük az oldat fölé! Az égés megszűnik.

Magyarázat: A benzin sűrűsége kisebb, mint a vízé, ezért vízzel nem lehet eloltani az égő benzint. A szén-dioxid elzárja az égő benzintől az oxigént, ezért az égés megszűnik.

### ***Telített szénhidrogének brómozása***

A telített szénhidrogének jellemző reakciója a gyökös mechanizmusú fotokémiai szubsztitúció. Így állítanak elő egyes halogéntartalmú szénhidrogéneket, amelyek fontos oldószerek, pl. szén-tetraklorid (CCl<sub>4</sub>), kloroform (CHCl<sub>3</sub>), diklór-metán (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>).

### **Kísérlet**

Töltsünk három kristályosítócsészébe kb. azonos térfogatú n-heptánt, majd csepegtessünk mindegyikhez ugyanannyi szén-tetrakloridos brómoldatot! Az első csészét tegyük sötét helyre, a másodikat hagyjuk az asztalon, a harmadikat pedig világítsuk meg néhány másodpercig ultraibolya fénnel! Magyarázzuk meg a tapasztalt különbséget!