



# Vihreä laboratorio

**Kohderyhmä:** Lukio (KE4)

**Kesto:** 75 min

**Motivaatio:** Olet saanut kesätyön vihreän kemian laboratoriosta, jossa on hyvin tarkkaavainen ja vihreälle kemialle omistautunut laboratorionjohtaja. Hän pyytää sinua selvittämään eri reaktioista vihreämpiä vaihtoehtoja.

**Tavoite:** Työssä tutustutaan vihreän kemian pääperiaatteisiin ja harjoitellaan argumentaatiotaitoja.

## Tarvikkeet

### Välineet

- Koeputkia
- Koeputkiteline
- Teräsvillaa
- 10 ml mittalasi
- Spaatteli
- Pinsetit
- pH-paperi
- Kaasupoltin
- Tulitikut
- Kellolasi

### Reagenssit

- 0,5 M  $\text{CuCl}_2$
- 0,5 M HCl
- Kiinteää magnesiumia
- 0,1 M  $\text{CuSO}_4$
- 0,1 M  $\text{K}_2\text{CO}_3$
- 0,1 M  $\text{CaCl}_2$
- 0,1 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- CaO (s)
- Ionivaihdedtu vesi
- Kuparilankaa

## Työturvallisuus

- Käytä työn aikana suojatakia, suojalaseja ja suojakäsineitä.
- Suorita työt vetokaapissa.
- Suolahappo, HCl, saattaa ärsyttää silmiä, hengityselimiä ja ihoa.
- Kuparisulfaatti,  $\text{CuSO}_4$ , ärsyttää silmiä ja ihoa.
- Jos liuoksia joutuu iholle, huuhtelee heti runsaalla vedellä ja saippualla.
- Lajittele syntyvät jätteet oikein.



## Pohdittavaksi ennen työtä

### 1. Mitä tarkoittaa tuotteen elinkaari?

*Tuotteen matka raaka-aineiden keräämisestä ja valmistuksesta tuotteen käyttöön ja lopulta tuotteen hävittämiseen/kierrättämiseen.*

### 2. Mitä tarkoittaa vihreä kemia?

*Vihreä kemia on lähestymistapa, joka pyrkii kemiallisten prosessien kestävyteen (eng. sustainability) tarkoituksenaan tukea kestävää kehitystä.*

### 3. Minkälaisia ongelmia pyritään ratkaisemaan vihreän kemian keinoin?

*Vihreän kemian keinoin pyritään ratkaisemaan esimerkiksi rajallisten raaka-ainevarojen, kuten öljyn, maakaasun ja mineraalien, ehtyminen ja eläville organismeille haitallisen jätteen muodostuminen. Vihreässä kemiassa pyritään välttämään ihmisten terveydelle ja ympäristölle haitallisia reagensseja ja prosesseja, ja muutenkin tuotteiden syntyä, jotka eivät hävitettäessä hajoa helposti.*

## Tausta

Vihreän kemian tarkoitus on kehittää mahdollisimman ympäristöystävällisiä kemiallisia prosesseja ja yhdisteitä erilaisiin tarpeisiin, kuten tuotantoteollisuuteen ja opetukseen. Vihreää kemiaa voidaan hyödyntää niin molekyylien, materiaalien, tuotteiden kuin kokonaisten prosessienkin tasolla. Vihreä kemia tarkoittaa siis lähestymistapaa, joka pyrkii kestävyteen ja tukee kestävää kehitystä. Periaatteilla pyritään esimerkiksi sellaisten prosessien suunnitteluun, joissa mahdollisimman suuri osa raaka-aineista päätyy haluttuun tuotteeseen. Lisäksi vihreässä kemiassa keskitytään uusiutuvien luonnonvarojen ja energialähteiden käyttöön, energiatehokkuuteen ja jätteen tuotannon ehkäisyyn. Vihreään kemiaan pätee 12 pääperiaatetta:

#### 1. Jätteen synnyn ehkäisy

Pyritään ehkäisemään jätteen syntyä. On parempi suunnitella etukäteen prosessit niin, että ne eivät tuota jätettä, kun siivota ja käsitellä jätettä sen synnyttyä.

#### 2. Atomiekonomia

Synteesit tulee suunnitella siten, että prosessissa käytetystä materiaalista mahdollisimman suuri osa saadaan lopputuotteeseen.



### 3. Vaarattomat kemialliset reaktiot

Synteettiset menetelmät tulisi suunnitella käyttämään ja tuottamaan aineita, jotka ovat vain vähän tai ei lainkaan myrkyllisiä ihmisille ja ympäristölle aina kun se on käytännössä mahdollista.

### 4. Turvallisten kemikaalien suunnittelu

Kemikaalit tulee suunnitella siten, että ne vaikuttavat haluttuun toimintaan, mutta niiden myrkyllisyys on mahdollisimman pieni.

### 5. Turvallisten liuottimien käyttö ja apuyhdisteiden käytön välttäminen

Vältetään kaikkien ylimääräisten kemikaalien käyttöä. Mikäli kuitenkin liuottimien tai muiden apukemikaalien käyttö on tarpeen, pyritään valitsemaan mahdollisimman turvallinen vaihtoehto.

### 6. Energian käytön minimoiminen

Kemialliset reaktiot tulisi toteuttaa huoneenlämmössä ja normaalipaineessa aina kuin se on mahdollista.

### 7. Uudistuvien lähtöaineiden käyttö

Käytä mieluummin uusiutuvia lähtöaineita, kuin ehtyviä luonnonvaroja. Uusiutuvia raaka-aineita saadaan yleensä maataloudesta tai muiden prosessien jätteenä, kun taas ehtyviä luonnonvaroja saadaan fossiilisista polttoaineista ja kaivostoiminnasta.

### 8. Tarpeettomien johdosten muodostumisen välttäminen

Vältä esto- ja suojarahmiin käyttöä, mikäli mahdollista. Johdannaiset tuottavat lisäreagensseja ja tuottavat jätettä.

### 9. Katalyyttien suosiminen

Katalyytit ovat stoikiometrisia reagensseja parempi vaihtoehto, sillä ne ovat tehokkaita pieninä määrinä, ja ne voivat suorittaa reaktion useaan kertaan. Katalyytit eivät siis kulu reaktiossa, kun taas stoikiometrisia reagensseja käytetään usein ylimäärin.

### 10. Tuotteiden hajoaminen elinkaaren lopussa

Kemialliset tuotteet tulisi suunnitella niin, että ne hajoavat vaarattomiksi aineiksi elinkaarensa lopulla, jotta myrkylliset aineet eivät keräänty ympäristöön.

### 11. Reaaliaikaiset analyysit

Sisällytä prosessin sisäinen, reaaliaikainen seuranta ja ohjaus synteesin aikana sivutuotteiden muodostumisen minimoimiseksi tai eliminoimiseksi.

### 12. Onnettomuuksien välttäminen esimerkiksi oikeilla kemikaalivalinnoilla

Suunnittele kemikaalit ja niiden fysikaaliset muodot (kiinteät, nestemäiset tai kaasut) minimoimaan mahdolliset kemialliset onnettomuudet, mukaan lukien räjähdykset, tulipalot ja päästöt ympäristöön.



Vihreän kemian keinoin pyritään ratkaisemaan erilaisia kestävyysliittyviä ongelmia. Vihreän kemian keinoin voidaan esimerkiksi pohtia vaihtoehtoisia reaktioreittejä. Ongelmia, joita pyritään ratkaisemaan vihreän kemian keinoin:

- Rajallisten raaka-ainevarojen, kuten öljyn, maakaasun ja mineraalien, ehtyminen
- Eläville organismeille haitallisen jätteen muodostuminen
- Ihmisten terveydelle ja ympäristölle haitalliset reagenssit ja kemialliset prosessit
- Tuotteet, jotka eivät hävitettäessä hajoa helposti



## Työn suoritus

Työssä tutkitaan työpareittain kolmea reaktioparia. Jokaisesta reaktioparista pyritään tunnistamaan vihreämpi vaihtoehto hyödyntäen 12 vihreän kemian periaatetta. Pohdi ensin kumpi annetuista reaktiovaihtoehtoista on vihreämpi ja aseta hypoteesi. Toteuta reaktiot rinnakkain ja kirjaa ylös tekemäsi havainnot. Kirjoita reaktioille reaktioyhtälöt ja tunnista reaktiotyyppi. Valitse vihreämpi reaktio ja kirjoita perustelut havaintojesi pohjalta.

### Reaktiotyyppi A

#### Vaihtoehto 1

1. Mittaa 5 ml 0,5 M kuparikloridia,  $\text{CuCl}_2$ , koeputkeen.
2. Ota pieni pala kiinteää magnesiumia ja puhdisti se teräsvillalla.
3. Laita magnesiumipalanen koeputkeen ja kirjaa havainnot.

#### Vaihtoehto 2

1. Mittaa 5 ml 0,5 M suolahappoa,  $\text{HCl}$ , koeputkeen.
2. Ota pieni pala kiinteää magnesiumia ja puhdisti se teräsvillalla.
3. Laita magnesiumipalanen koeputkeen ja kirjaa havainnot.



*Reaktiot ovat hapetus-pelkistysreaktioita. Vaihtoehto 2 on vihreämpi, sillä siinä ei synny kiinteää jätettä. Lisäksi ensimmäisen vaihtoehdon kupari(II)kloridi on ympäristölle haitallinen aine.*

### Reaktiotyyppi B

#### Vaihtoehto 1

1. Mittaa 4 ml kalsiumkloridia,  $\text{CaCl}_2$ , koeputkeen ja kirjaa ylös sen fyysiset ominaisuudet.
2. Mittaa 4 ml natriumkarbonaattia,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , koeputkeen ja kirjaa ylös sen fyysiset ominaisuudet.
3. Sekoita nämä kaksi liuosta koeputkessa, tarkkaile ja kirjaa ylös lopputulos.

#### Vaihtoehto 2

1. Mittaa 4 ml kupari(II)sulfaattia,  $\text{CuSO}_4$ , koeputkeen.
2. Ota 4 ml kaliumkarbonaattia,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , koeputkeen. Tutki ja kirjaa ylös sen fyysiset ominaisuudet.
3. Sekoita nämä kaksi liuosta koeputkessa. Tarkkaile ja kirjaa ylös lopputulos.



Reaktiot ovat substituutioreaktioita. Vaihtoehto 1 on vihreämpi, sillä reaktiossa käytettävät ja syntyvät aineet ovat turvallisempia kuin vaihtoehdossa 2. Kuparisulfaatti on terveydelle haitallista. Lisäksi reaktiossa 1 on parempi atomiekonomia.

### **Reaktiotyyppi C**

#### **Vaihtoehto 1**

1. Ota spaattelin avulla pieni määrä kiinteää kalsiumoksidia, CaO, kahteen koeputkeen. Tutki sen fyysisiä ominaisuuksia ja kirjaa ne ylös.
2. Lisää toiseen koeputkeen 15 ml vettä.
3. Lisää kolmanteen koeputkeen 15 ml vettä.
4. Tutki pH-paperilla jokaisen näytteen pH. (1. kalsiumoksidi, 2. kalsiumoksidi + vesi, 3. vesi)
5. Tutki mitä veden pH:lle tapahtuu, kun se reagoi kalsiumoksidin kanssa ja kirjaa havaintosi.

#### **Vaihtoehto 2**

1. Ota kuparilangan palanen, tutki sen fyysisiä ominaisuuksia ja kirjaa ne ylös.
2. Kuumenna lankaa kaasupolttimen kuumimmassa kohdassa 30 sekunnin ajan.
3. Kun lanka on jäähtynyt, raaputa sen pintaa spaattelin avulla. Kirjaa havaintosi ylös.



Reaktiot ovat muodostumisreaktioita, joissa kummassakin on 100 % atomiekonomia. Reaktioista vaihtoehto 2 on vihreämpi turvallisempien kemikaalivalinnoiden ansiosta. Kupari on kiinteänä aineena vaaratonta, kun taas kalsiumoksidi ja kalsiumhydroksidi ovat haitallisia aineita, jotka ärsyttävät esim. silmiä, ihoa ja hengitysteitä ja voivat aiheuttaa syöpymisvammoja.



## Pohdinta työn jälkeen

### 1. Mitä tarkoittaa atomiekonomia?

*Reaktion energiatehokkuus eli kuinka monta prosenttia lähtöaineen atomeista päätyy haluttuun tuotteeseen.*

$$\text{atomiekonomia} = \frac{M_r(\text{haluttu tuote})}{M_r(\text{lähtöaineet})} \times 100 \%$$

### 2. Mikä vihreän kemian 12 periaatteesta on mielestäsi tärkein? Perustelee.

