

Opettajan ohje



Metallipakkausten kierrätys

Sisällysluettelo

_Toc156982878Johdanto	2
Taustatietoa.....	2
Oppimistavoitteet	5
Tärkeimpiä osaamistavoitteita (EU).....	5
YK:n kestävän kehityksen ohjelman tavoitteet	6
Laboratoriotyön ohje	7
Tunnin rakenne	10
Arviointi.....	10
Kiitokset.....	10
Lähteet	11

Opettajan ohje

Johdanto

Tämä työohje esittelee opiskelijoille metallipakkauksien kierrätykseen liittyviä ongelmia ja esittelee neljää helppoa menetelmää metallien erottamiseen:

1. Fyysinen menetelmä. Kahden eri elintarvikepakkauksessa käytettävän metallin erottaminen toisistaan (alumiini ja teräs);
2. Kemiallinen menetelmä. Metallien erottaminen kemiallisesti.
3. Kokeellinen työ, joka esittelee jännitesarjan, korroosion, anodisen suojan ja passivoimisen käsitteet. Kokeessa tutkitaan tinan ominaisuuksia. Tina on yksi ensimmäisistä metallipakkausten komponenteista elintarvikkeille.

Key words:

Metallien kierrätys, hapetus-pelkistysreaktiot, sähkökemialla.

Taustatietoa

Tämä työ esittelee opiskelijoille metallipakkausten kierrätystä. Alunperin "tölkit" valmistettiin valssaamalla ja juottamalla sylinterin muotoon metallilevy ja kääntämällä reunat kansilevyjen yli. Sisäpinnassa oleva ohut tinapinnoite suojaa kuoren metallia korroosiolta, kun se on kosketuksissa ruoan kanssa.

Tölkinavaaja on olennainen työkalu tällaisten pakkausten avaamiseen. Se onkin yleisesti käytössä keittiö-, retkeily- ja sotilastyökaluina. Itse asiassa ruoan varastointi metallilaatikoissa takasi jo Napoleonin armeijalle tehokkaan järjestelmän elintarvikkeiden säilytykseen.

Nykyään lähes kaikki metalliset pakkaukset valmistetaan alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä.



Opettajan ohje

Rauta ja teräs

Rauta (Fe) on neljänneksi yleisin alkuaine maankuoressa massan mukaan (5 %). Se muodostaa luultavasti 16 % koko Maan massasta ja sitä on melko runsaasti myös maailmankaikkeudessa. Rauta on syntynyt suurten tähtien ydinfuusion seurauksena.

Fe:tä käytetään harvoin puhtaana, kuten esimerkiksi jännitemuuntajissa. Yleisemmin sitä käytetään seoksena hiilen tai muiden metallien kanssa. Fe-tuotanto tarvitsee koksia, joka on yksi EU:n talouden strategisista raaka-aineista.

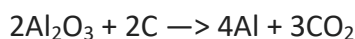
Alumiini

Alumiini (Al) on alkuaine, jonka järjestysnumero on 13. Se on nykyisen alkuaineen jaksollisen järjestelmän kolmannessa jaksossa ja kolmannessa ryhmässä. Alumiinin esiintyvyys maankuoressa on 8 %. Se on kolmanneksi yleisin alkuaine maankuoressa massan mukaan hapen ja piin jälkeen. Luonnossa sitä esiintyy lähes yksinomaan stabiilina isotooppina ^{27}Al , hapettuneena ja maasälpien, kiilteen, saven ja kaoliinien muodossa. Puhdasta oksidia kutsutaan korundiksi, jonka jotkin lajikkeet tunnetaan nimellä rubiini ja safiiri.

Alumiinin hydratoitua oksidia (bauksiittia) käytetään metallin uuttamiseen. Alhaisen pelkistyspotentiaalin ($E^0 = -1,66\text{V}$) vuoksi metallia ei ole mahdollista saada korkeassa lämpötilassa pelkistämällä koksilla kuten rautaa ja kuparia. Alumiinia valmistetaan sähkökemiallisella prosessilla, samoin kuten esim. magnesiumia ja titaania.

Hall-Herould-prosessissa (1886) bauksiitti sulatetaan $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa kryoliitilla ($3\text{NaF}\cdot\text{AlF}_3$). AlF on hiljattain korvattu natriumfluoridien, alumiinin ja kalsiumin synteettisillä seoksilla. Pelkistys tapahtuu elektrolyyttikennon pohjassa kivihiilianodien päällä, jossa tehon kulutuksena on noin 14 KWh per 1 kg Al.

Kennoreaktio:



Sulan metallisen alumiinin pitoisuus on 99,4-99,9 % pelkistämisen jälkeen (sulamispiste: $660\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Yritys nimeltään Alcoa on äskettäin ottanut käyttöön oksidin muuntamisen ensin Al-karbidiksi energiankulutuksen vähentämiseksi ja Calsmelt on alentanut käyttölämpötiloja lisäämällä alumiinimurskaa sulaneiden mineraalien seokseen.

Vuonna 2017 maailman alumiinin tuotanto oli noin 63,4 miljoonaa tonnia, josta 57 % tuotettiin Kiinassa ja vain 12 % Euroopassa. Alumiinin tuotannon osuus maailman sähkönkulutuksesta noin 3,5 %. Korkeat energiakustannukset sekä sisäisen kysynnän väheneminen ja kierrätyksen lisääntyminen, ovat syynä miksi Italia, Alankomaat ja Iso-Britannia ovat viime vuosina luopuneet primäärialumiinin tuotannosta. EU:ssa louhittiin vuonna 2012 hieman yli 2 miljoonaa tonnia bauksiittia, joka tuotettiin yksinomaan Kreikassa, Ranskassa ja Unkarissa, kun taas pääasiassa

Opettajien ohje

tulenkestävissä materiaaleissa käytettävän alumiinioksidin tuotanto nousi 5,6 miljoonaan tonniin. Euroopan alumiinituotanto kärsii myös kalsiumfluoridin hankinnan epävarmuudesta. EU tuo 70 %:sta enimmäkseen Kiinasta, joka vastaa 2/3 maailman louhinnasta.

Al on yksi eniten käytetyistä metalleista raudan jälkeen, alhaisen tiheydensä (2690 kg m^{-3} 20 °C:ssa) ja korroosionkestävyyden ansiosta. Kestävyys johtuu luonnollisesta suojakerroksen muodostumisesta hapen kanssa tapahtuvasta reaktiosta (passivointiprosessi). Suhteellisen alhaisen sulamispisteen ansiosta Al voidaan käsitellä painevalulla tai vesimuovauksella. Alumiini-, magnesium-, kupari- ja sinkkipohjaisia kevytseoksia käytetään käyttötarkoituksesta riippuen ilmailussa, mutta myös veneiden rungoissa ja urheiluautojen osissa. Passivointikerrosta voidaan paksuntaa ns. anodisaatioprosessilla. Tästä syystä Al:ta käytetään laajalti rakennusten runkojen materiaalina.

Hyvän sähkönjohtavuutensa ansiosta Al (joko puhtaassa muodossaan tai metalliseoksena magnesiumin ja piin kanssa murtokuormituksen lisäämiseksi) korvaa kuparin ilmajohdoissa. Alumiinikaapelit painavat vähemmän tukipylväissä. Hyvän lämmönjohtavuutensa ansiosta alumiinia käytetään lämmönvaihtimissa, ja alumiini-pii-kupariseoksia käytetään moottorin osien valmistukseen.

Alumiinin ja sen seosten monipuolisuus on antanut insinööreille ja muotoilijoille suuren suunnitteluvapauden luoda monia esineitä ammatti-, urheilu- ja kotikäyttöön. Alumiinia käytetään suurelta osin pakkauksissa, sillä EU on asettanut tavoitteeksi Al:n kierrätystavoitteeksi vähintään 50 % vuoteen 2025 mennessä ja 65 % vuoteen 2030 mennessä.

Al:n kierrättämiseksi riittää, että se erotetaan muista jätteistä, esikäsitellään 500 °C:n lämpötilassa lakkojen ja etikettien polttamiseksi. Alumiini sulatetaan uudelleen 800 °C:n lämpötilassa inertissä kaasussa epäpuhtauksien poistamiseksi ja muovataan tangoiksi tai levyiksi. Alumiinijätteestä saanto on 87 %, mutta energiansäästö ja suhteellisten CO₂-päästöjen säästäminen vastaa verrattuna primääri-Al:n tuotantoon mineraaleista 95%.

Pakkausallalla pieniä määriä Al:ta liimataan ohuille levyille tai ruiskutetaan materiaalien pinnalle (pahvi tai muovi). Tämä estää hapen sisään pääsyn pakkaukseen ja säilytettävät elintarvikkeet säilyvät pidempään inerteissä olosuhteissa. Talteenotto näistä polylaminaattikalvoista on kuitenkin poikkeuksellisen vaikeaa.

Alumiinia on ihmiskehossa alle miljoonasosan pitoisuuksina, hieman enemmän kuin piitä. Yleisesti näyttää siltä, että Al ei ole välttämätön eläville olennoille eikä erityisen myrkyllinen huolimatta litosfäärin korkeasta pitoisuudesta. Alumiini on ollut aiemmin lähes merkityksetön ihmiselle, mutta ihmiskunta on käyttänyt sitä runsaasti 1900-luvulta lähtien. Sen strateginen arvo on esimerkiksi ilmailuteknologiassa, joka teki Al:sta yhden tärkeimmistä materiaaleista ja joihin kehityksemme viime vuosikymmeninä on perustunut.

Alumiinipöly reagoi kiivaasti hapen kanssa, jonka vuoksi sitä käytetään räjähdysaineteollisuudessa. Työntekijät, jotka osallistuvat alumiinin tuotantoon sekä ne, jotka käyttävät alumiinioksidijauheita

Opettajan ohje

tulenkestävien aineiden valmistukseen, ovat alttiina riskille saada pneumokonioosi. Se on hengityselinten sairaus, joka voi liittyä keuhkofibroosiin ja emfyseemaan.

Todennäköisesti alumiiniyhdisteet eivät imeydy ruoansulatusjärjestelmäämme. Ne ovatkin lääkkeitä närästyksen hoitoon. Alumiinipolykloridia käytetään flokkulanttina myös juomaveden käsittelylaitoksissa.

Oppimistavoitteet

Oppitunnin jälkeen oppilaat osaavat:

- Toimia kemian laboratoriossa ja suorittaa kokeellisia töitä
- Tunnistaa tyypillisiä pakkaukseen käytettäviä metalleja

Tärkeimpiä osaamistavoitteita (EU)














Lukutaito-osaaminen
S1. Kyky ymmärtää ja tulkita käsitteitä, tunteita, faktoja tai mielipiteitä suullisesti ja kirjallisesti.
S2. Kyky ilmaista käsitteitä, tunteita, faktoja tai mielipiteitä kirjallisesti ja suullisesti.
S3. Kyky tulkita maailmaa ja sen yhteyttä muihin.
Monikielinen osaaminen
S1. Kyky ymmärtää ja tulkita käsitteitä, tunteita, faktoja tai mielipiteitä suullisesti ja kirjallisesti.
S2. Kyky ilmaista käsitteitä, tunteita, faktoja tai mielipiteitä suullisesti ja kirjallisesti.
S3. Kyky tulkita maailmaa ja sen yhteyttä muihin.
S4. Kyky olla vuorovaikutuksessa sopivalla ja luovalla tavalla missä tahansa tilanteessa.
S5. Sanaston, kieliopin ja kielen tuntemus.
S6. Kulttuurisen monimuotoisuuden arvostaminen.
S7. Kyky käyttää teknistä kieltä työalan mukaan.
Matemaattinen osaaminen sekä tieteen, teknologian ja tekniikan osaaminen
S1. Kyky käyttää rakennettua ajattelua ongelman ratkaisemiseksi joka tilanteessa.
S2. Matemaattisten termien ja käsitteiden ymmärtäminen ja niiden soveltaminen.
S3. Kyky mallintaa matemaattisesti tilannetta todellisesta maailmasta ja siirtää matemaattista asiantuntemusta ei-matemaattisiin yhteyksiin.
S4. Valmiutta käsitellä uusia ongelmia uusilta alueilta.
S5. Kyky määrälliseen ajatteluun.

Opettajan ohje

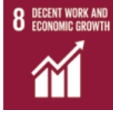



S6. Kyky poimia laadullista tietoa kvantitatiivisista tiedoista
S7. Kyky muotoilla ongelmia matemaattisesti ja symbolisessa muodossa niiden analysoinnin ja ratkaisun helpottamiseksi.
S8. Kyky suunnitella kokeellisia ja havainnointitutkimuksia ja analysoida niistä saatavaa tietoa.
S9. Kyky muotoilla monimutkaisia optimoinnin ja päätöksenteon ongelmia ja tulkita ratkaisuja ongelmien alkuperäisessä kontekstissa
Kansalaisten pätevyys
S1. Kyky tehokkaaseen vuorovaikutukseen muiden ihmisten kanssa
S3. Kykyä työskennellä tehokkaasti ja tehdä yhteistyötä muiden tiimiläisten kanssa

YK:n kestävän kehityksen ohjelman tavoitteet

Kestävän kehityksen tavoitteet ovat suunnitelma paremman ja kestävämmän tulevaisuuden saavuttamiseksi kaikille. Se käsittelee kohtaamiimme maailmanlaajuisia haasteita liittyen köyhyyteen, epätasa-arvoon, ilmastonmuutokseen, ympäristön tilan heikkenemiseen, rauhaan ja oikeuteen.

		Enable access to basic services		Equal access to global expertise
		Safe medical devices		Sustainable urbanization
		Access to education		Responsible consumption and production
		Less hardship, more opportunities		Strengthen resilience, reduce disaster impact
		Safe and affordable water		Reduce marine pollution
		Energy – the golden thread		Sustainable use of terrestrial ecosystems

Opettajan ohje

 <p>8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH</p>	Safety of workers and economic growth	 <p>16 PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS</p>	Promote peaceful and inclusive societies
 <p>9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE</p>	Resilient infrastructure and sustainable industrialization	 <p>17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS</p>	Better access to technology and innovation

Laboratoriotyön ohje

Tämä työ koostuu neljän kokeen sarjasta. Kaksi ensimmäistä työtä voidaan tehdä helposti löydettävillä välineillä. Kolmas ja neljäs työ tarvitsevat tinanauhaa ja sinkkirakeita, joita ei ole kaikkialla saatavilla.

Kokeellinen työ 1

Välineet

- iso magneetti (esim. rikkinäisestä kaiuttimesta tai pyörän dynamosta)
- alumiinista (Al) valmistettuja tölkkejä
- teräksestä valmistettuja tölkkejä.
- Sivuleikkurit (eli sähköasentajalle)

Leikkaa eri materiaaleista valmistetut tölkit ja sekoita palat keskenään. Käytä magneettia erottamaan ne. Koska terästä valmistetaan pääasiassa raudasta, magneetti vetää sitä puoleensa, kun taas alumiini ei. Tällä tavoin voit käyttää alumiinin ja teräksen fysikaalisia ominaisuuksia erottamaan erityyppiset peltitölkit.



Opettajan ohje

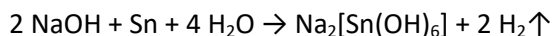
Kokeellinen työ 2

Välineet

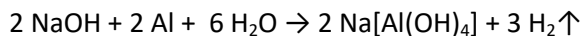
- suojakäsineet ja -lasit
- kiinteä NaOH (mahdollista löytää joistakin kaupoista)
- teelusikka
- suppilo
- koeputkia
- koeputkiteline
- sekoitustanko
- kuuma vesi.

Käytä suojalaseja ja käsineitä.

Laita puoli teelusikallista jauhemaista NaOH:ia koeputkeen suppilon avulla. Täytä noin kolmasosa koeputkesta kuumalla vedellä. Lämmittäminen nopeuttaa NaOH:n liukenemista. Liuosta sekoitetaan käyttämällä sekoitussauvaa, kunnes kaikki NaOH on liennut. Laita teräspurkki varovasti koeputkeen. Terästä suojaava Sn-suojakerros reagoi ensin vahvan emäksen kanssa muodostaen $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$, jolloin voidaan havaita muutaman kaasukuplien muodostumista.



Teräs itse ei reagoi NaOH:n kanssa, joten mitään muuta ei pitäisi tapahtua. Laita pala alumiinia varovasti samaan koeputkeen. Alumiini reagoi kiivaasti NaOH:n kanssa muodostaen natriumaluminaattia:



Olet nyt käyttänyt teräksen ja alumiinin kemiallisia ominaisuuksia erottaaksesi erilaisia koostumuksia sisältäviä peltitölkkejä.

Kokeellinen työ 3

Välineet

- 50 ml bekeriä
- SnCl_2 -jauhe (voidaan korvata $\text{Sn}(\text{NO}_3)_2$:lla, jolloin ei tarvitse lisätä HCl:a)
- HCl-liuos
- vesi
- Sinkkirakeita
- Petrilautanen

Noin puoli teelusikallista SnCl_2 :ta liuotetaan 50 ml:aan vettä. Laimeassa liuoksessa tapahtuu SnCl_2 :n hydrolyysi, muodostaen liukenematonta yhdistettä:

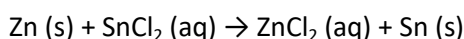


Opettajajan ohje

Lisää muutama tippa HCl-liuosta, jotta reaktion tasapaino siirtyy vasemmalle ja saostuma poistuu. Kirkkaassa liuoksessa seuraavaksi tehtävä reaktio näkyy tällöin paremmin. Hapon lisääminen estää myös muiden saostumien muodostumista poistamalla karbonaatti-ioneja vedestä.

Täytä 3/4 petrimaljasta liuoksella ja säästä se kokeellista työtä 4. varten.

Laita Zn-rakeet keitinlasiin, jossa on jäljelle jäänyt liuos. Jonkin ajan kuluttua Zn-rakeet peittyvät mustalla pölyisellä Sn-kerroksella. Seuraava reaktio tapahtuu, koska Zn on reaktiivisempi kuin Sn:



Samanlaista reaktiota käytetään tinatölkkien valmistuksessa peittämään teräs Sn-suojakerroksella.

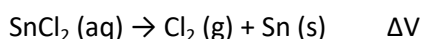
Kokeellinen työ 4

Välineet

- 9 V akku
- kaksi paperiliitintä
- kaksi 10 tai 20 cm pituista sähkökaapelia, joissa kummassakin päässä ovat hauenleuat

Tee työ vetokaapissa tai hyvin tuuletetussa tilassa.

Käytä kokeessa 3 säilytettyä petrimaljassa olevaa liuosta tähän kokeelliseen työhön. Kiinnitä paperiliittimet petrimaljan reunaan ja liitä niihin hauenleuat (katso kuva alla). Liitä kaapelien toiset päät 9 V pariston kahteen napaan. Pidä Laitteisto paikallaan saadaksesi parhaan tuloksen. Tarkkaile metallisen tinan muodostumista toisen paperiliittimen pinnalle. Akusta tuleva sähkövirta saa aikaan SnCl_2 -liuoksen ei-spontaanin reaktion. Sn pelkistyy paperiliittimen pinnalle, joka on kytketty pariston negatiiviseen napaan (katodi). Cl_2 -kaasua muodostuu pariston positiiviseen napaan (anodi) kytkettyyn kaasuun.



Tämän kaltaista sähkökemiallista pelkistystä käytetään myös puhtaan alumiinin saamiseksi sulatetuista malmeista. Teollinen alumiinin pelkistys kuluttaa noin 3 % kaikesta maailman sähköenergiasta. Tämän vuoksi on paljon energiatehokkaampaa kierrättää vanhoja alumiinitölkkejä kuin valmistaa niitä malmeista. Ohuet peltitölkkit peitetään Sn:llä samalla tavalla kuin pariston negatiiviseen napaan kytkettyyn paperiliittimeen.

Tämän työpajan jälkeen on suositeltavaa tuulettaa huone kokeiden aikana muodostuneiden kaasujen vuoksi.

Opettajan ohje

Tunnin rakenne

Vaihe 1 – Aika ja toiminto: 15 minuuttia – Opettaja tekee lyhyen johdannon opetusvideon avulla.

Vaihe 2 – Aika ja toiminto 90 minuuttia – Opiskelijat jaetaan ryhmiin (mieluiten ryhmän opiskelijamäärä on 2 tai 3). Jokainen ryhmä suorittaa kokeiden sarjan.



Arviointi

Kysymykset

1. Mistä tölkit valmistetaan?
 - pelti (teräspurkki, jota peittää ohut tinakerros)
 - Alumiini
 - ruostumaton teräs

2. Mitkä ovat kolme tärkeintä alumiinin kierrätyksen etua:
 - säästää 95 % sen tuottamiseen käytetystä energiasta, jos tehdään malmista (14 kWh/kg Al)
 - vähentää kaatopaikalle menevän jätteen määrää
 - vähentää jätteiden vaikutuksia ympäristöön, lieventää kaivosten maisemavaikutuksia vähentäen veden ja kemikaalien kulutusta

Kiitokset

Tekijät kiittävät Prof. Paola Bocchini of Liceo A. (Bologna) ja hänen oppilaitaan (Class IV A kouluvuotena 2021-2022)

Opettajan ohje

Lähteet

1. [World Aluminium](#).
2. M. Conserva, [La produzione mondiale di alluminio primario, A&L 21/02/2019](#).
3. Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, [Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Critical Raw Materials Factsheets, 2017](#).
4. AA. VV. Enciclopedia della Chimica Garzanti, Garzanti editore, Milano, 1998.
5. I.S.P.R.A [Rapporto rifiuti urbani edizione 2018](#).
6. CIAL - Consorzio [Imballaggi](#) in Alluminio.
7. C. Exley [J. Inorg. Biochem. 97 \(2003\) 1–7](#).