



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije



Anorganske tehnologije

izr. prof. dr. sc. Vilko Mandić
vmandic@fkit.unizg.hr

Diplomski studij Kemijsko inženjerstvo



UVOD

Satnica:

- ECTS: 5.0
- PREDAVANJA: 30 **obavezna**
- VJEŽBE: 15 **obavezne**
- Dva parcijalna kolokvija
- Komunikacija – Aktivnost na nastavi
- **Razvoj u smjeru projektnog zadatka**



UVOD

Cilj kolegija:

- Upoznavanje studenata s nužnim znanjima o procesima anorganske tehnologije (proizvodnja tehničkih plinova, procesi gorenja, dobivanje anorganskih soli, kiselina, lužina, metala, silikatnih materijala) i procesnim uređajima.
- Povezivanje temeljnih tehničkih znanja i znanja o kemijskom inženjerstvu s tehnički i ekonomski održivim procesima proizvodnje, uz osvrt na bilancu tvari i energije i ekološke aspekte proizvodnih procesa.

3



LITERATURA

OSNOVNA LITERATURA:

- Ruren Xu, Wenqin Pang and Qisheng Huo, Modern Inorganic Synthetic Chemistry, 2011 Elsevier B.V.
- K.H. Buchel, H.-H. Moretto, D. Werner, Industrial Inorganic Chemistry, 2nd Ed., Wiley-VCH, New York, 2000.
- G. Bräutigam, H.-H. Emons, P. Hellmold, H. Holldorf, R. Kümmel und H. Martens, Technische anorganische chemie, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983.
- P.J. Chenier, Survey of Industrial Chemistry, 3rd Ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002.

DOPUNSKA LITERATURA:

- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, John Wiley & Sons, 1999.

4



ISHODI

Ishodi učenja:

1. Upoznavanje s procesima proizvodnje temeljnih proizvoda bazne kemijske industrije.
2. Razumijevanje značaja pripreme i kvalitete ulaznih sirovina, te razumijevanje ponašanja elemenata primjesa, posebice s obzirom na kompleksno/potpuno iskorištavanje sirovine.
3. Razumijevanje odnosa između pojedinih procesa proizvodnje (produkt sirovina u drugom procesu).
4. Stjecanje svijesti o utjecaju procesa proizvodnje na okoliš, te o mogućnosti uporabe otpada.

5



SADRŽAJ

0. Uvodno

6



PREDAVANJA

1.
 - Povijesni razvoj kemijske industrije (Industrijska revolucija). Razvoj materijala i proizvodnih procesa kroz povijest. Temeljne sirovine, energenti i kemijski proizvodi bazne anorganske industrije. Utjecaj materijala i proizvodnih procesa na razvoj društva, tehnika prijevoza i nova otkrića u termodinamici, kemiji i fizici.
2.
 - Tehnički plinovi. Sastav zraka. Plinovi koji se dobivaju frakcijskom destilacijom zraka. Plemeniti plinovi, način dobivanja i primjene.
 - Bilanca procesa ukapljivanja zraka.



PREDAVANJA

3.
 - Procesi dobivanja klora, fluora, vodika i kisika.
4.
 - Dobivanje sinteznog plina. Primjene sinteznog plina (posebice u proizvodnji amonijaka). Utrošak energije za hlađenje (pri sve nižim temperaturama i termodinamička ograničenja). Načini transporta plinova i potrebne sigurnosne mjere.

8



PREDAVANJA

5.
 - Anorganske soli. Fazne ravnoteže u dvokomponentnim sustavima, posebice u sustavima sol-voda. Složeniji dvokomponentni sustavi hidratiziranih soli (načini dobivanja, sušenja, pročišćavanja, koncentriranja uparavanjem i smrzavanjem)
6.
 - Trokomponentni sustavi, fazna ravnoteža u trokomponentnim sustavima. Primjena modelnih trokomponentnih sustava važnih u proizvodnji veziva, stakla i keramike.
7. Provjera znanja: 1. KOLOKVIJ-parcijalni ispit.



PREDAVANJA

8.
 - Postupci dobivanja kalij klorida, magnezij klorida, broma, magnezij sulfata, natrij klorida, kalcij fluorida, barij sulfata, kalcij karbonata, kalcij sulfata, spojeva bora. Postupci dobivanja soli dvostrukom izmjenom, neutralizacijom i elektrokemijskom oksidacije. Bilanca procesa proizvodnje soli. Postupci pročišćavanja soli. zatori.

10



PREDAVANJA

9.
 - Anorganske jake kiseline. Proces dobivanja tehničkih kiselina: sulfatne, nitratne, fosfatne, kloridne i fluoridne. Katalitički procesi koji su temelj dobivanja sulfatne i nitratne kiselina. Fazni dijagram $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$. Entalpijske promjene pri koncentriranju i razrjeđivanju kiselina vodom. Bilanca procesa proizvodnje tehničkih kiselina (bilanca tvari sa pripadnom bilancom energije).

11



PREDAVANJA

10.
 - Anorganske jake baze. Proces dobivanja kalcij oksida i kalcij hidroksida. Proces dobivanja amonijaka, potrebne sirovine i utrošak energije za proizvodnju 1 t amonijaka. Skladištenje amonijaka i amonijskog nitrata. Proces dobivanja sode (natrij karbonat). Proces proizvodnje baze/lužine uz definirane ulazne i izlazne procesne tokove (bilanca tvari i energije). Ekološki aspekti proizvodnje lužina, te proces sa živim amalgamom

12



PREDAVANJA

11.

- o Metali. Kemijska načela postupka dobivanja metala redukcijom rude koksom, te prednosti i ograničenja. Pirometalurški procesi dobivanja metala i hidrometalurški procesi dobivanja metala. Napredni postupci redukcije plinovima i vodikom. Dobivanje i pročišćavanje metala elektrokemijskim postupcima. Fizikalno-kemijska načela koncentriranja, pročišćavanja, prerade i rafinacije metala. Proces dobivanja željeza, mangana, kroma, molibdena, volframa i nikla, bakra, cinka i kositra. Dobivanje i uporaba aluminija, magnezija i titana.

13



PREDAVANJA

12.

- o Silikatni materijali i alumosilikatni materijali. Kristalno i staklasto stanje tvari. Proces proizvodnje stakla, keramike, emajla, veziva. Proces proizvodnje anorganskih punila, zeolita, adsorbensa i pigmenta.

13.

- o Značajni sustavi zasnovani na anorganskim tehnologijama. Poluvodiči, senzori, solarne ćelije. Baterije, superkondenzatori, gorive ćelije. Životni ciklus. Sigurnost i zaštita na radu.

14. Provjera znanja: 2. KOLOKVIJ-parcijalni ispit.



VJEŽBE

VJEŽBE (vjerojatno samo 3 vježbe):

- o 1. **Cement**. Rijetki i plemeniti metali. Pigmenti, silikati, keramika. Otrovi. Recikliranje.
- o 2. Gnojiva i nitratna kiselina. Soli. NaOH, Lužine.
- o 3. Amonijak. **Vodik**. CO₂. Tehnički plinovi.
- o 4. Superkritični fluidi. **Plazma**. Nuklearna energija.
- o 5. Poluvodički materijali. **Solarne ćelije**. Senzori.
- o 6. **Baterije**. Pseudosuperkondenzatori. Elektrolizeri. Fotokatalizatori.

15



VJEŽBE

VJEŽBE (vjerojatno samo 3 vježbe):

- o 3 vježbe po 45-60 min, izlazni kolokvij
- o Fazni prijelaz perovskita za solarne ćelije
- o Baterije, cikliranje, starenje
- o Efikasnost solarnih ćelija

16



DINAMIKA

13 termina

1 uvodno (03.03.2025.)

4 predavanja (10.03., 17.03., 24.03., 31.03., 07.04. predavanja)

1. provjera znanja (kolokvij 1 – pitanja) *da li to paše?* 14.04.2025.

5 predavanja (21.04., 28.04., 05.05., 12.05., 19.05., 26.05.2025. predavanja u ovom razdoblju)

2. provjera znanja (kolokvij 2 – pitanja) *da li to paše?* 02.06.2025.

3(4) vježbe (nakon 1. kolokvija) -> IZLAZNI KOLOKVIJ ZA VJEŽBE u terminu vježbi održat će se 3/4 vježbe 07.05., 14.05., 21.05., 28.05.)

MATERIJALI – ISKLJUČIVO PREDAVANJA - NEMA SKRIPTIPE

ISPITI – ESEJSKI TIP Ili PITANJA

17



PLAN

1. **Cement/veziva** 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)
2. **Pigmenti/Silikati/keramika** 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)
1,2

3. **Plemeniti/rijetki metali** 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)
4. **Soli** 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)
1,2

5. **Gnojiva/Nitratna kiselina/Kiseline** 1) tehnologija proizvodnje, 2) ekološki aspekt)

6. **Natrijeva lužina/Lužine** 1) tehnologija proizvodnje, 2) ekološki aspekt)

3,4

7. **Recikliranje** 1) značaj, 2) ekološki aspekt)

8. **Otrovi** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) primjena, 4) razvoj)

3,4

18

PLAN

9. **Amonijak** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) ekološki aspekt, 4) katastrofe)
10. **Ugljikov dioksid** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) selekstracija)
11. **Tehnici plinovi Plemeniti plinovi** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) ekološki aspekt) 5,6,7,8
12. **Vodik** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) skladištenje, 4) primjena za energiju)
13. **Plasma** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) ekološki aspekt)
14. **SCFD** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) ekološki aspekt) 5,6,7,8
15. **Litijske baterije** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) primjena, 4) razvoj, 5) recikliranje)
16. **Pseudosuperkondenzatori** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje) 9,10
17. **Radioaktivni materijali/Nuklearna energija** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje)
18. **Solarni ćelije** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) primjena, 4) razvoj, 5) recikliranje) 9,10
19. **Poluvodički materijali** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje) 11,12,13
20. **Senzori** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje)
21. **Fotokatalizatori** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje)
22. **Elektrolizari** 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje) 11,12,13

ANORGANSKA VEZIVA

ANORGANSKA (MINERALNA)

ZRAČNA

Glina
Gips
Vapno

HIDRAULIČNA

Cement
Hidraulično vapno

GLINA

Osnovne karakteristike

- Prirodni materijal sastavljen od sitnozrnatih mineralnih čestica
- Glavni minerali: kaolinit, montmorilonit, illit**
- Visoka plastičnost u prisutnosti vode
- Nakon sušenja i pečenja postaje čvrsta i trajna

Fizičko-kemijska svojstva

- Visoka specifična površina
- Kapacitet izmjene iona
- Vodonepropusnost i adsorpcijska svojstva
- Termička stabilnost nakon pečenja

GLINA

Porcelanska glina	Lončarska glina	Opekarska glina
- Najčišća glina - Smjesa minerala kaolina s nešto kremenca, svijetloga tinja i ostacima neistrošenih glinenaca - Predmeti od keramike	- Bijele, sive, žute ili crvenkaste boje - Dodatak primjesa, manje čistoće od porcelanske gline	- Crvene boje - Sadrži malo kaolina - Služi za izradu opeka i crjepova

Životni ciklus materijala (općenito)

Većina materijala ima linearni životni ciklus, što znači da se materijali kreću kroz ciklus samo jednom, od crpljenja do odlaganja

Neki su djelomično kružni u pogledu ponovnog korištenja proizvoda, ponovne proizvodnje pojedinih komponenti ili reciklaže materijala

ENERGIJA

OPRUGNE SIROVINE

OTPAD

ENERGIJA

OMARNA PROIZVODNJA

OTPAD

ENERGIJA

PAKIRANJE PROIZVODA

OTPAD

ENERGIJA

DISTRIBUCIJA PROIZVODA

OTPAD

ENERGIJA

UGRAĐIVANJE, KORIŠTENJE I ODRŽAVANJE

OTPAD

ENERGIJA

ODLAGANJE, REKUPIRANJE I PONOVNO KORIŠTENJE

OTPAD

GLINA

Životni ciklus gline

- Ekstrakcija – iskopavanje iz prirodnih ležišta (rudnici, sedimentne naslage)
- Priprema i obrada – mljevenje, pročišćavanje, dodavanje aditiva
- Oblikovanje i sušenje – proizvodnja opeke, keramike, građevinskih materijala
- Pečenje ili kemijska obrada – termička obrada povećava čvrstoću i trajnost
- Upotreba – u građevinarstvu, industriji, ekologiji, medicini
- Kraj životnog ciklusa – reciklaža (ponovna upotreba drobljenih keramičkih materijala) ili prirodna razgradnja

Ekološki aspekt gline

- Prirodni i netoksičan materijal – minimalan utjecaj na okoliš
- Biokompatibilnost – sigurna za ljudsko zdravlje i ekosustave
- Obnovljivost – nastaje prirodnim procesima, ali eksploatacija može uzrokovati degradaciju tla
- Energija u proizvodnji – sušenje i pečenje troše značajnu količinu energije
- Alternativne metode – sirova (nepečena) glina smanjuje energetski otisak

**Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska**

- Tradicionalna proizvodnja – visoka emisija CO₂ zbog pečenja na visokim temperaturama
- Inovativne tehnologije – niže temperature pečenja, dodavanje recikliranih materijala
- Zamjena cementa – glinene kompozitne mješavine smanjuju CO₂ otisak u građevinarstvu
- Prirodne alternative – sirova glina (adobe, rammed earth) kao ekološki prihvatljivija opcija
- Cirkularna ekonomija – reciklaža otpadne keramike u nove materijale

26



- Vezivo pripremljeno termičkom obradom prirodnog kamena sadrenca ili sadre do temperature dehidracije

▪ **Kalcij-sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$)**

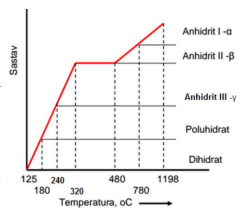
- Bezvodni gips (CaSO_4)
- Poluhidrat ($\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$)
- Poluhidrat se još naziva i građevinski ili štukaturni gips
- **Estrih gips je smjesa anhidrida i vapna**



27



- Zagrijavanjem dihidrata ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$) do 60 °C dolazi do gubitka higroskopske vlage
- 107 – 190 °C, nastaje poluhidrat ($\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$)
- 190 – 200 °C, nastaje topljivi anhidrit III, odnosno γ - anhidrit (CaSO_4)
- 200 – 500 °C, topljivi anhidrit III prelazi u anhidrit II, odnosno β - anhidrit
- 650 – 1200 °C, nastaje smjesa anhidrida I odnosno α - anhidrida (CaSO_4) i CaO



28

**Životni ciklus gipsa**

- Ekstrakcija – dobiva se iz prirodnih nalazišta (gipsani minerali – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ili kao nusprodukt industrijskih procesa
- Prerada – mljevenje i zagrijavanje (kalcinacija) kako bi se dobio pečeni gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)
- Upotreba – miješanje s vodom za proizvodnju građevinskih materijala, medicinskih proizvoda, gipsanih odljevaka
- Kraj životnog ciklusa – reciklaža (mljevenje i ponovna upotreba) ili prirodna razgradnja bez štetnih posljedica za okoliš

Ekološki aspekt gipsa

- Prirodni materijal – netoksičan i biorazgradiv
- Industrijska proizvodnja – nusproizvod iz termoelektrana, smanjuje potrebu za rudarenjem
- Energija u preradi – umjerena potrošnja energije tijekom kalcinacije (niža od cementa)
- Reciklaža – mogućnost višekratne ponovne upotrebe bez gubitka svojstava
- Utjecaj na okoliš – rudarenje može dovesti do erozije tla, ali je ekološki prihvatljiviji od cementa

29

**Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska**

- Tradicionalna proizvodnja – emisija CO₂ iz rudarenja i kalcinacije, ali manja u usporedbi s cementom
- Održive alternative – povećanje upotrebe sintetskog gipsa (FGD gips) smanjuje rudarenje i emisije
- Gips kao zamjena za cement – u nekim građevinskim smjesama smanjuje potrebu za visokoemisionim materijalima
- Energetski učinkovitija prerada – istraživanja usmjerena na snižavanje temperatura kalcinacije i optimizaciju reciklaže
- Cirkularna ekonomija – recikliranje građevinskog gipsa smanjuje otpad i potrebu za novim resursima

30



Osnovne karakteristike vapna:

- Dobiva se kalcinacijom vapnenca ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$)
- Dvije glavne vrste: živo vapno (CaO) i gašeno vapno (Ca(OH)_2)

- Alkalno, reaktivno i higroskopsko

- Hidraulično vapno

- Sadrži silicij (SiO_2), aluminij (Al_2O_3) i željezo (Fe_2O_3)
- Reagira s vodom i stvrdnjava u prisutnosti vlage
- Dvije vrste:
 - slabo hidraulično vapno ($\leq 10\%$ silikata)
 - jako hidraulično vapno ($> 10\%$ silikata)



31

VAPNO

Fizičko kemijska svojstva

- Živo vapno – jaka egzotermna reakcija s vodom
- Gašeno vapno – stabilnije, koristi se u mortovima i premazima
- Hidraulično vapno – stvrdnjava u vodi i zraku, otpornije na vlagu

Primjena

- Građevinarstvo – mortovi, žbuke, restauracija povijesnih građevina
- Industrija – proizvodnja čelika, stakla, papira
- Ekologija – neutralizacija kiselih tala, pročišćavanje vode
- Poljoprivreda – poboljšanje pH tla

Proizvodnja

- Kalcinacija vapnenca (900–1000°C) → živo vapno
- Dodavanje vode → gašeno vapno
- Miješanje s glinom → hidraulično vapno

32

VAPNO

Životni ciklus vapna

- Ekstrakcija – dobiva se iz prirodnih izvora vapnenca (CaCO_3)
- Prerada – kalcinacija vapnenca na 900–1000°C → živo vapno (CaO)
- Hidracija – dodavanje vode daje gašeno vapno (Ca(OH)_2)
- Upotreba – u građevinarstvu, industriji, poljoprivredi, ekologiji
- Kraj životnog ciklusa – ponovno karbonatiziranje ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$), čime se CO_2 djelomično vraća u okoliš

Ekološki aspekt vapna

- Obnovljiv, ali ne beskonačan resurs – rudarenje vapnenca može uzrokovati degradaciju okoliša
- Energijski intenzivna proizvodnja – kalcinacija zahtijeva visoke temperature i fosilna goriva
- Upotreba u zaštiti okoliša – pročišćavanje otpadnih voda, neutralizacija kiselih tala, kontrola emisija sumpora
- Prirodni ciklus vapna – karbonatizacija tijekom upotrebe može smanjiti njegov neto CO_2 otisak

33

VAPNO

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Visoka emisija CO_2 – kalcinacija vapnenca oslobađa značajne količine CO_2
- Održive alternative – razvoj energetski učinkovitijih peći i upotreba biogoriva u proizvodnji
- Ciklus zatvorenog ugljika – karbonatizacija gašenog vapna omogućava djelomično ponovno vezanje CO_2 iz atmosfere
- Zamjena za cement – u nekim primjenama vapno može smanjiti potrebu za visokoemisijskim cementom
- Cirkularna ekonomija** – istraživanja usmjerena na reciklažu građevinskog vapna i smanjenje otpada

34

CEMENT

- Zajednički naziv za sva veziva s izrazito hidrauličkim svojstvima
- Hidraulično vezivo koje stvrdnjava u dodiru s vodom**
- Glavni sastojak betona i mortova

35

CEMENT

Vrste cementa:

- Portland cement (OPC) – najčešće korišten
- Mješani cementi – s dodacima (leteći pepeo, troska, pucolani)
- Brzovezujući cement – skraćeno vrijeme stvrdnjavanja
- Sulfatno otporni cement – otporan na agresivne uvjete
- Geopolimerni cementi,...

36

Proizvodnja cementa

Dvije osnovne sirovine su glina i vapnenac
Cementni klinker sadrži CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3

Mljevenje sirovina
 Pečenje u rotacijskim ili vertikalnim pećima na 1450 °C
 Mljevenje klinkera na dimenzije cementa
 Dodavanje gipsa zbog regulacije vremena vezivanja

37



CEMENT - Sirovine

Primarne mineralne sirovine su vapnenac i glina

Lapori prirodno sadrže optimalan omjer kalcita i ostalih minerala

Gips, pucolani (industrijski – leteći pepeo i silicijska prašina, prirodni – tufovi), talionička troska (zgura) i vapnenac

Karbonatna komponenta osigurava CaO , a glinena komponenta osigurava Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3

Ovi oksidi u klinkeru ne postoje kao slobodni oksidi, već međusobnim spajanjem tvore minerale

38



Minerali u Portland cementu

Osnovne komponente klinkera formiraju **četiri glavna minerala**

Naziv minerala	Približna kemijska formula	Zapis u obliku oksida ¹	Zapis u kemiji cementa ²	Udio u portland klinkeru [%]
Alit	Ca_3SiO_5 trikalcijev silikat	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	45 - 75
Belit	Ca_2SiO_4 dikalcijev silikat	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	7 - 32
Aluminat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ trikalcijev aluminat	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	0 - 13
Ferit	$3(\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ tetrakalcijev aluminoferit	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	0 - 18

39



Portland cement

- Najvažnija vrsta cementa, osnovni sastojak betona i žbuke
- Ima visoku čvrstoću, brzo stvrdnjava i omogućava brz razvoj početne čvrstoće
- Omjer kalcijeva karbonata i gline je 3:1
- Glavne komponente: CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3
- Ostale komponente: MgO , K_2O , SO_3 , P_2O_5
- 2-4% gipsa
- Čisti portland cement, portland cement s dodacima, metalurški cement, pucolanski cement, miješani cement i bijeli cement

40



Aluminatni cement

- Specijalni cement
- Proizvodi se mljevenjem aluminatnog cementnog klinkera (60% vapnenca i 40% boksita)

Svojstva:

Brzo stvrdnjavanje, 2-4 h
Brzo postizanje čvrstoće, unutar 24 h
Dobra vatrostalna svojstva
Velika otpornost na sulfate
Otpornost na kiseline
Otpornost na abraziju
Niske temperature primjene do -10 °C

Primjena:

Građevinarstvo - kada postoje zahtjevi za brzim postizanjem čvrstoće
Proizvodnja vatrostalnih betona i blokova
Samonivelirajući podovi
Aditivi u drugim materijalima i cementima
Obloge otporne na sulfate, kiseline, koroziju i abraziju

41

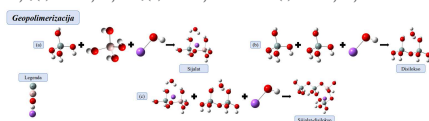


GEOPOLIMERI

Geopolimeri su amorfni ili polukristalni alkalno-aluminosilikatni materijali s polimernom strukturom dobiveni kemijskom reakcijom aluminosilikatne sirovine pomiješane s alkalnom otopinom pri blagim reakcijskim uvjetima:

atmosferski tlak,
temperatura njegoavanja ispod 100 °C - najčešće 40 – 80 °C i
mala količina vode.

Pojednostavljeni prikaz geopolimerizacije iz osnovnih tetraedarskih gradivnih jedinica $[\text{SiO}_4]$ i $[\text{AlO}_4]$ - u alkalnom mediju; (a) stvaranje sijalata, (b) stvaranje disiloksoa i (c) stvaranje sijalat-disilokso strukture.



42



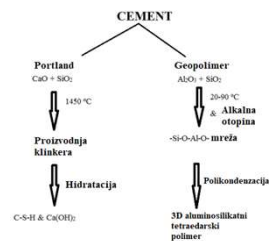
GEOPOLIMERI

Geopolimerni cement

Geopolimerni cement načelno daje jednaka ili poboljšana svojstva u usporedbi s Portland cementom.

Razlog tome je različiti kemijski sastav ulaznih sirovina, kao i sama kemijska reakcija – polikondenzacija u odnosu na hidrataciju.

Spomenute razlike posljedično daju značajno različite produkte odnosno konačne kemijske strukture koje određuju funkciju tj. potencijalnu primjenu materijala.



43




BETON



- Mješavina cementa, agregata (šljunka i pijeska), vode i dodataka
- Svojstva: tlačna i vlačna čvrstoća, veoma mala propusnost vode, kemijska i volumenska stabilnost
- Umjetni kamen

44




BETON

Prednosti betona:

- Ekonomičnost - za proizvodnju se upotrebljavaju prirodne, jeftine i svugdje dostupne sastavnice
- Mali utrošak energije prilikom izrade
- Trajnost
- Mogućnost izrade raznih oblika - beton se lijeva u kalupe
- Monolitni karakter konstrukcija - nema montažnih nastavaka
- Dobro prigušenje prostorne buke i vibracija
- Visoka požarna otpornost
- Dobri higijenski uvjeti
- Pogodne za građenje u potresnom području

45




BETON+ČELIK

Zašto si dobro odgovaraju:

- Dobra prionjivost dvaju materijala - beton ima veliku prionjivost za čelik i na taj način je omogućeno sprezanje.
- Jednaki temperaturni koeficijenti oba materijala - pri promjeni temperature kao vanjskom okolišu oni se jednako istežu i skupljaju, tj. kompatibilni su.
- Dobra zaštita čelika od strane betona - beton tvori alkalnu sredinu i na taj način štiti čeličnu armaturu od korozije. Osim toga štiti i čelik od direktne izloženosti visokim temperaturama te omogućuje visoku požarnu otpornost.

46




Utjecaj cementne industrije na okoliš

Cementna industrija je odgovorna za 7% ukupne svjetske emisije CO_2

Pri proizvodnji 1 tone klinkera portlandskog cementa emitira se oko 850 kg CO_2

Primarni mineral potreban za proizvodnju klinkera je kalcijev karbonat

Kalcinacija $CaCO_3$ se provodi u peći na temperaturi višoj od 900 °C

$$CaCO_3 + \text{toplina} \rightarrow CaO + CO_2$$

Proizvodnja betona koristi 10-11 milijardi tona agregata

Betonska industrija koristi 1 milijardu tona svježe vode godišnje

Za proizvodnju 1 tone cementa potrebna je 1.5 tona vapnenca

47




Kako smanjiti utjecaj cementne industrije na okoliš?

Korištenje miješanih cementa ili potpuna zamjena cementa s drugim materijalima u proizvodnji betona

Zamjene za cement: leteći pepeo, zgura, silikatna prašina, metakaolin, kaolinske gline

Zamjena prirodnih agregata recikliranim

Reciklirani agregati: opeka, beton, zgura, staklo, granulirana plastika itd.

„Zarobljavanje” CO_2 u materijalima na bazi cementa poput betona

48




CEMENT

Životni ciklus cementa

- Ekstrakcija sirovina - vapnenac, glina, željezna ruda, pijesak
- Proizvodnja klinkera - kalcinacija na ~1450°C - visoka potrošnja energije
- Mljevenje i miješanje - dodavanje gipsa i mineralnih dodataka
- Transport i upotreba - beton, mortovi, građevinski proizvodi
- Kraj životnog ciklusa - reciklaža betona ili odlaganje građevinskog otpada

Ekološki aspekt cementa

- Velik ekološki otisak - odgovoran za ~8% globalnih emisija CO_2
- Visoka potrošnja energije - intenzivna toplinska obrada sirovina
- Eksplotacija resursa - rudarenje vapnenca može uzrokovati degradaciju okoliša
- Održivi materijali - alternativa s letećim pepelom, troskom, pucolanima za smanjenje utjecaja

49

CEMENT

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Smanjenje klinkera – korištenje LC3 cementa (vapnenac + glina) i pucolanskih dodataka
- Energetska optimizacija – poboljšanje učinkovitosti peći i upotreba alternativnih goriva
- Ugljično neutralni cementi – razvoj geopolimernog cementa i karbonatizacije betona za vezanje CO₂
- Cirkularna ekonomija – reciklaža betona i ponovna upotreba građevinskog otpada

50

Cementna industrija u HR

Silikatni cement proizvode „Holcim“, „CEMEX“ i „NEXE“

Aluminatne cemente proizvodi „Calucem“

Tumač:
 1 - Biserka (glina-vapnenac)
 2 - Sv. Juraj - Sv. Klapa
 3 - V. Klobučak
 4 - Koprivnica
 5 - Mole
 6 - Koprivnica (reaktivno)
 7 - Sponzija (reaktivno)
 8 - Koprivnica (reaktivno)
 9 - Blazek (reaktivno)

51

KERAMIKA

Lat. keramos – lončarenje, zemljani proizvodi dobiveni pečenjem

Dietzel: nemetalni anorganski materijali, kristalni sustavi ili sustavi s >30% vode, proizvodi dobiveni žarenjem pri visokim temperaturama

Kingery: znanost i umijeće pripreme i upotrebe čvrstih proizvoda čija većinska izvorna komponenta je anorganski nemetalni materijal glina, porculan, vatrootalni materijali, abrazivi, strukturni glineni proizvodi, glazure, cement, nemetalni magnetski materijali, feroelektrika, sintetski monokristali, staklokeramika.

Tradicionalna keramika – na temelju silikata, porozne nehomogene i višefazne mikrostrukture

Miješanjem gline i feldspata uz žarenje i glaziranje

Moderna tehnička keramika – na temelju oksida, karbida i perovskita, homogena i manje porozna mikrostruktura

52

KERAMIKA

Podjela keramičkih proizvoda

Tehnička svojstva	Fizikalna svojstva	Nova keramika
GRUPA (+0,2-0,2 mm) Oblina opaka Dvaznaosni cijevi Cijevi Cijevi i posude od keramike Vatrootalni materijali	POROZNA (+ 2%) Vatrootalni materijali Trenkala Majolika Keramičan NEPOROZNA (+ 5%) Keramičan Meki porculan Porculan Sintetski tehnčki proizvodi (oksidna keramika, taljeni oksidi, taljeni karbidi)	FUNKCIONALNA Magnetna Elektroizolna Feroelektrika Elektrooptika Piroelektrika Piezoelektrika Polimeri Nuklearna goriva (UO ₂) INŽENJERSKA Oksidna (Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , SiO ₂) Neksidna (SiC, Si ₃ N ₄ , BN, AlN)

53

KERAMIKA

Osnovne keramičke sirovine

Plastične sirovine	Neplastične sirovine
- Svojstvo plastičnosti - elastičnost pri lomu - oblikovanje mase - GLINA - Kaočin (SiO₂, Al₂O₃, H₂O) - Kaočnat - Kaočinske gline - Montmorillonit	- Smanjenje plastičnosti mase - MSŠAVILA - TOPTELLI - Feldspati - Kalcijev karbonat - Kvartci pijesak - Kremen - Saunot

54

KERAMIKA

Struktura keramike

- Kristalne tvari mogu biti u obliku monokristala (savršen raspored atoma koji se proteže kroz cijeli materijal) ili polikristala (puno malih kristala (kristalnih zrna) odijeljenih granicama zrna, bez pravilnih strukturnih jedinici).

Kada govorimo o mikrostrukтури keramike obuhvaćamo: kristalna zrna, granice zrna, sekundarne faze, pore i mikropukotine koje utječu na fizikalna, električna, toplinska i mehanička svojstva, a koja su posljedica postupka pripreme.

55



KERAMIKA

Proizvodnja keramike - PEČENJE

- Prije samog pečenja, sirovi proizvod se suši do 1000 °C (prilagodnom brzinom) te potom glazira procesom umakanja, nanošenja ili prskanja
- Glazirani sirovi oblik se sinterira pri temperaturama od 1100 – 1400 °C (ovisno o vrsti proizvoda u tunejskim ili prstenastim pećima)
- Najznačajnija faza proizvodnje keramike (!) tijekom termičke obrade dolazi do niza procesa (! ne taljenja):

- 1) Pojave na grančnim površinama i međupovršinama keramičkog sustava
- 2) Difuzija
- 3) Kemijske reakcije u čvrstom stanju
- 4) Polimorfne transformacije
- 5) Rekristalizacija
- 6) Rast zrna
- 7) Uzajamno otapanje faza i proces zgušnjavanja

57

KERAMIKA

Proizvodnja keramike - PEČENJE

MOKRO SINTERIRANJE

- Očvršćivanje materijala sljepljivanjem ili zgušnjavanjem uz pomoć rastaljene faze
- rastaljena faza može nastati omekšavanjem staklene faze koja se dodaje ili koja nastaje tijekom pečenja

SUHO SINTERIRANJE

- Redukcija površinske energije okrupnjavanjem ili zgušnjavanjem uz stvaranje granica zrna nakon kojeg slijedi njihov rast

58

KERAMIKA

Životni ciklus keramike

- Sirovine: glina, kaolin, feldspati, kvarc
- Proizvodnja: mljevenje, oblikovanje, sušenje, sinteriranje (900-1600 °C) Uпотреba: dugotrajnost, kemijska i mehanička otpornost
- Odlaganje: inertan otpad, mogućnost reciklaže

Ekološki aspekt keramike

- Visoka energetska potrošnja tijekom pečenja
- Emisije CO₂ iz fosilnih goriva Ekstrakcija sirovina – degradacija tla i krajolika
- Ograničena mogućnost reciklaže zbog kompleksnog sastava

59

KERAMIKE

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Korištenje obnovljivih izvora energije u proizvodnji
- Niže temperature sinteriranja – inovativni aditivi
- Reciklaža i ponovna uporaba otpadne keramike
- Razvoj ekološki prihvatljivih materijala (biokeramika, geopolimeri)

60

SILIKATI - UVOD

Silikati su jedna od najvažnijih i najraznovrsnijih skupina anorganskih spojeva.

Osnovna građevna jedinica: [SiO₄] tetraedar – silicij okružen s četiri kisikova atoma.

Zastupljenost u prirodi:

- Glavni sastojci eruptivnih i sedimentnih stijena – čine 95% Zemljine litosfere.
- Prisutni u hidrosferi (topivi oblici SiO₂).

Važan dio tla – utječe na plodnost i ionsku izmjenu.

Široka primjena:

- Građevinarstvo: beton, cement, opeka.
- Industrija keramike i stakla.
- Elektronika: silicijevi poluvodiči.
- Farmaceutska i kemijska industrija: silikageli, katalizatori.

61

SILIKATI - UVOD

Razlog velike raznolikosti silikata:
Različiti načini povezivanja $[\text{SiO}_4]$ tetraedra.
Mogućnost izomorfne zamjene silicija s Al^{3+} (alumosilikati).
Širok raspon fizikalnih i kemijskih svojstava.

62

SILIKATI - SILICIJ

Kemijski simbol: **Si**, atomski broj 14.
Četvrti najrasprostranjeniji element u svemiru nakon H, He i O.
Ne pojavljuje se u elementarnom stanju – najčešće u obliku SiO_2 (kvarc, opal, staklo).
Kristalna struktura:
Dijamantna rešetka (kao kod ugljika i germanija). Stabilna do atmosferskog tlaka, ali pri visokim tlakovima prelazi u guste kristalne strukture.
Fizikalna svojstva:
Boja: siva s metalnim sjajem. Talište: 1402°C , vrelište: 3219°C . Tvrdća: 7 (Mohsova ljestvica)
Poluvodičke karakteristike – ključan u mikroelektronici.
Dobivanje silicija
Industrijska proizvodnja: redukcija SiO_2 s ugljikom na 2000°C .
Koristi se za proizvodnju poluvodiča, solarnih ćelija, silicij-karbida (SiC).

63

SILIKATI - $[\text{SiO}_4]$ TETRAEDAR – OSNOVNA STRUKTURA

Osnovni građevni element svih silikata.
Građen od jednog atoma silicija i četiri kisikova atoma u tetraedarskoj geometriji.
Ključna svojstva:
Vezni kut O-Si-O: $109,5^\circ$. Duljina veze Si-O: 0,160 nm. Velika energija veze Si-O (452 kJ/mol) – stabilnost silikata.
Povezivanje tetraedara
Izolirani tetraedri (otočni silikati). Povezani preko kutova (npr. lančani i slojeviti silikati). Potpuno umreženi tetraedri (prostorni silikati).
Utjecaj omjera radijusa iona
Omjer radijusa Si^{4+} (0,042 nm) i O^{2-} (0,140 nm) – tetraedarska koordinacija.
Ako je omjer drugačiji, dolazi do oktaedarske koordinacije (rijetko kod silikata).

64

SILIKATI - KLASIFIKACIJA

Kemijaka podjela

- Silikati razvrstani po sastavu aniona
- Osnovni razlog neuspješnosti klasifikacije na temelju kemijskog sastava - nemogućnost definiranja strukture kemijskim metodama
- Pri kemijskoj analizi silikata razara se gradnja
- dobivenih rezultata ne može se suditi o strukturi

Prirodna podjela

- Na temelju fizikalnih svojstava, u prvom redu na kalavosti
- Podjela na dvije grupe: silikati koji se odlikuju osobitom kalavošću, te silikati koji se kalavošću ne ističu
- Silikati koji imaju svojstvo kalavosti dijele se na silikate vlaknate i lisnate kalavosti
- Podjela prema svojstvu kalavosti uglavnom se podudara sa podjelom po tipu kristalne rešetke jer je sama kalavost ovisna o tipu rešetke

65

SILIKATI - KLASIFIKACIJA

Strukturalna (kristalna) podjela
XRD – uvid u kristalnu strukturu silikata. Definiran je razmještaj atoma, objašnjena dvojna uloga Al, izomorfne zamjene itd. Podjela se temelji na razmještaju osnovne građevne jedinice silikata, $[\text{SiO}_4]$ -tetraedra, odnosno načinu povezivanja tetraedara.

Na temelju stupnja polimerizacije $[\text{SiO}_4]$ -tetraedra, odnosno dimenzijskog broja usvojena je klasifikacija kristalnih silikata na četiri grupe:

Tip silikatne strukture	Dimenzijski broj
1. Otočni	0
2. Lančani	1
3. Slojeviti	2
4. Prostorni	3

66

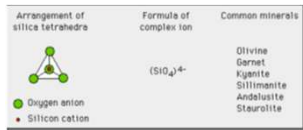
SILIKATI - KLASIFIKACIJA

W. Hinz - nešto šira podjela:

- Otočni silikati, sa izoliranim $[\text{SiO}_4]$ -tetraedrima, nezosilikati (od grč. nesos=otok), ortosilikati
- Grupni silikati, silikati s dva ili više tetraedara spojena preko mosnog kisikova atoma, sorosilikati (od grč. soros=skupina), piroosilikati.
- Prstenasti silikati, ciklosilikati (od grč. cyclos=krug), metasilikati.
- Lančani silikati, inosilikati (od grč. inos=nit)
- Slojeviti silikati, filosilikati (od grč. phyllon=blok)
- Prostorni silikati, tektosilikati (od grč. tektoneia=rešetka)

67

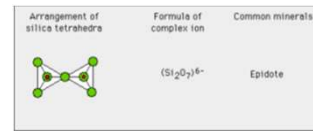
SILIKATI - KLASIFIKACIJA - OTOČNI



- Tetraedri ne dijele O atome
- O/Si = 4:1
- Tetraedri su izolirani
- Dimenzionalnost = 0 (nema polimerizacije)

68

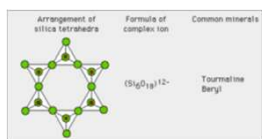
SILIKATI - KLASIFIKACIJA - SOROSILIKATI



- 2 tetraedra dijele 1 O atom
- O/Si = 7:2
- Grupa je izolirana
- Dimenzionalnost je i dalje 0

69

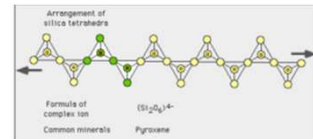
SILIKATI - KLASIFIKACIJA - CIKLOSILIKATI



- tetraedri dijele 2 O atoma
- O/Si = 3:1
- Grupa je izolirana
- Dimenzionalnost je i dalje 0

70

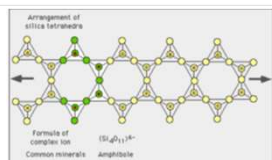
SILIKATI - KLASIFIKACIJA - INOSILIKATI



- tetraedri dijele 2 O atoma
- O/Si = 3:1
- Anion je beskonačan u jednoj prostornoj dimenziji
- Dimenzionalnost je 1

71

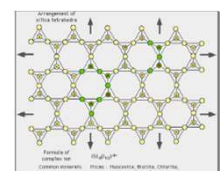
SILIKATI - KLASIFIKACIJA - INOSILIKATI



- tetraedri dijele 2-3 O atoma
- O/Si = 11:4
- Anion je beskonačan u jednoj prostornoj dimenziji
- Dimenzionalnost je 1

72

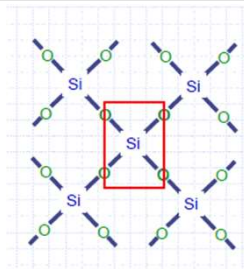
SILIKATI - KLASIFIKACIJA - FILOSILIKATI



- Tetraedri dijele 3 O atoma
- O/Si = 5:2
- Anion je beskonačan u dvije prostorne dimenzije
- Dimenzionalnost je 2

73

- tetraedri dijele sva 4 O atoma
- O/Si = 2:1 (SiO₂)
- Anion je beskonačan u tri prostorne dimenzije
- Dimenzionalnost je 3



74

Životni ciklus silikata

- Ekstrakcija sirovina: glina, kvarc, feldspati, aluminijevi i željezni oksidi.
- Prerada i sinteza: drobljenje, mljevenje, oblikovanje, sušenje, sinteriranje.
- Upotreba: građevinarstvo (cement, beton, opeka), keramika, staklo, elektronika.
- Odlaganje: inertni otpad, mogućnost reciklaže u građevinske materijale.

Ekološki aspekti silikata

- Visoka potrošnja energije za sinteriranje i toplinsku obradu.
- Emisije CO₂ iz cementne i keramičke industrije.
- Eksplatacija sirovina – degradacija tla i krajolika.
- Ograničena reciklaža – neki silikati se teško ponovo koriste zbog složene strukture.

75

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Korištenje obnovljivih izvora energije (solarna, geotermalna, biomasa) u procesima pečenja i sinteriranja.
- Smanjenje temperature sinteriranja primjenom inovativnih aditiva i optimizacijom procesa.
- Razvoj energetski učinkovitih peći i poboljšanih toplinskih izolacija.
- Recikliranje otpadnih silikatnih materijala (keramika, staklo, silikatne opeke) u nove proizvode.
- Iskorištavanje industrijskih nusproizvoda (npr. leteci pepeo) u proizvodnji novih silikata.
- Ponovna upotreba otpadnih silikata u građevinarstvu – agregati za beton, izolacijski materijali.
- Sintetski silikati iz održivih sirovina s nižim ugljičnim otiskom.
- Zamjena konvencionalnih silikata inovativnim materijalima s manjim ekološkim utjecajem (zeoliti, geopolimeri).
- Primjena nanotehnologije za smanjenje potrošnje materijala uz zadržavanje svojstava.



76

Pigmenti su netopljive čestice koje daju boju materijalima reflektiranjem ili apsorpcijom svjetlosti.

Razlikuju se od bojila, koja su topljive tvari.

Koriste se u bojama, premazima, plastici, tekstilu, keramici, kozmetici i tiskarskim tintama.



77

Vrste pigmenata

- Prirodni – dobiveni iz minerala (oker, cinabarit, ultramarin), biljaka i životinja.
- Sintetski – proizvedeni kemijskim procesima radi bolje stabilnosti i intenziteta boje.
- Anorganski – metalni oksidi i soli (željezovi oksidi, titanov dioksid, kromati).
- Organski – složene ugljične strukture (ftalocijanimi, azo-pigmenti).

Ključna svojstva pigmenata

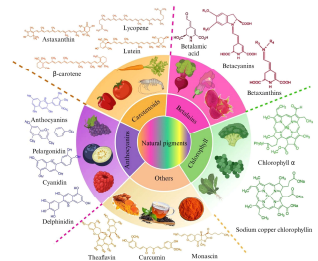
- Boja i intenzitet – određeni strukturom molekula i interakcijom sa svjetlom.
- Postojanost – otpornost na svjetlost, toplinu, kemikalije i vremenske uvjete.
- Veličina čestica – utječe na sjaj, pokrivenost i disperziju.

78

Tradicionalni pigmenti mogu sadržavati teške metale (olovo, kadmij, krom) – **toksičnost i ekološka štetnost**.

Razvoj ekološki prihvatljivih pigmenata (bez teških metala, na bazi biomase).

Nanopigmenti – poboljšana svojstva, ali izazovi u regulaciji i sigurnosti.



79



PIGMENTI

Životni ciklus pigmenata

- Ekstrakcija sirovina – mineralni (anorganski) pigmenti iz ruda, organski pigmenti iz naftnih derivata ili biomase.
- Prerada i sinteza – kemijska obrada, mljevenje, klasifikacija i stabilizacija pigmenata.
- Primjena – u bojama, premazima, plastici, tinti, tekstilu, kozmetici, keramici.
- Kraj životnog ciklusa – degradacija, ispiranje u okoliš ili spaljivanje plastike/boja s pigmentima.

Ekološki aspekt pigmenata

- Teški metali i toksičnost – tradicionalni pigmenti (olovni, kadmijevi, kromati) mogu biti štetni za okoliš i zdravlje.
- Mikroplastika i boje – pigmenti u sintetičkim materijalima mogu završiti u vodi i tlu.
- Održivi pigmenti – razvoj biopigmenata, pigmenata na bazi prirodnih spojeva i netoksičnih metala.
- Reciklaža i otpad – teško reciklirati pigmente iz miješanih materijala poput plastike i boja.

80



PIGMENTI

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Visoka energetska potrošnja – sinteza organskih pigmenata i proizvodnja titanovog dioksida su energetski intenzivni procesi.
- Alternativne sirovine – istraživanja usmjerena na biološki sintetizirane pigmente (iz algi, bakterija, biljaka).
- Nanopigmenti – omogućuju smanjenje količine pigmenata u premazima, poboljšavaju efikasnost, ali zahtijevaju dodatne studije o ekološkom utjecaju.
- **Cirkularna ekonomija** – reciklaža pigmenata iz otpadnih boja i plastike, razvoj ekoloških boja s niskim VOC emisijama.

81



DISKUSIJA

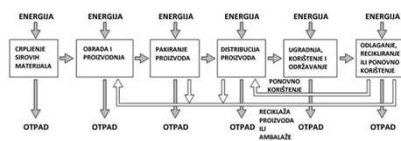
82



Životni ciklus materijala (općenito)

Većina materijala ima linearni životni ciklus, što znači da se materijali kreću kroz ciklus samo jednom, od crpljenja do odlaganja

Neki su djelomično kružni u pogledu ponovnog korištenja proizvoda, ponovne proizvodnje pojedinih komponenti ili reciklaže materijala



83



GLINA

Životni ciklus gline

- Ekstrakcija – iskopavanje iz prirodnih ležišta (rudnici, sedimentne naslage)
- Priprema i obrada – mljevenje, pročišćavanje, dodavanje aditiva
- Oblikovanje i sušenje – proizvodnja opeke, keramike, građevinskih materijala
- Pečenje ili kemijska obrada – termička obrada povećava čvrstoću i trajnost
- Upotreba – u građevinarstvu, industriji, ekologiji, medicini
- Kraj životnog ciklusa – reciklaža (ponovna upotreba drobljenih keramičkih materijala) ili prirodna razgradnja

Ekološki aspekt gline

- Prirodni i netoksičan materijal – minimalan utjecaj na okoliš
- Biokompatibilnost – sigurna za ljudsko zdravlje i ekosustave
- Obnovljivost – nastaje prirodnim procesima, ali eksploatacija može uzrokovati degradaciju tla
- Energija u proizvodnji – sušenje i pečenje troše značajnu količinu energije
- Alternativne metode – sirova (nepečena) gлина smanjuje energetska opterećenja

84



GLINA

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Tradicionalna proizvodnja – visoka emisija CO₂ zbog pečenja na visokim temperaturama
- Inovativne tehnologije – niže temperature pečenja, dodavanje recikliranih materijala
- Zamjena cementa – glinene kompozitne mješavine smanjuju CO₂ otisak u građevinarstvu
- Prirodne alternative – sirova gлина (adobe, rammed earth) kao ekološki prihvatljivija opcija
- Cirkularna ekonomija – reciklaža otpadne keramike u nove materijale

85



GIPS

Životni ciklus gipsa

- Ekstrakcija – dobiva se iz prirodnih nalazišta (gipsani minerali – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ili kao nusprodukt industrijskih procesa
- Prerada – mljevenje i zagrijavanje (kalcinacija) kako bi se dobio pečeni gips ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)
- Upotreba – miješanje s vodom za proizvodnju građevinskih materijala, medicinskih proizvoda, gipsanih odljevaka
- Kraj životnog ciklusa – reciklaža (mljevenje i ponovna upotreba) ili prirodna razgradnja bez štetnih posljedica za okoliš

Ekološki aspekt gipsa

- Prirodni materijal – netoksičan i biorazgradiv
- Industrijska proizvodnja – nusprodukt iz termoelektrana, smanjuje potrebu za rudarenjem
- Prerada u preradi – umjerena potrošnja energije tijekom kalcinacije (niža od cementa)
- Reciklaža – mogućnost višekratne ponovne upotrebe bez gubitka svojstava
- Utjecaj na okoliš – rudarenje može dovesti do erozije tla, ali je ekološki prihvatljiviji od cementa

86



GIPS

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Tradicionalna proizvodnja – emisija CO_2 iz rudarenja i kalcinacije, ali manja u usporedbi s cementom
- Održive alternative – povećanje upotrebe sintetskog gipsa (FGD gips) smanjuje rudarenje i emisije
- Gips kao zamjena za cement – u nekim građevinskim smjesama smanjuje potrebu za visokoemisionim materijalima
- Energetski učinkovitija prerada – istraživanja usmjerena na snižavanje temperatura kalcinacije i optimizaciju reciklaže
- Cirkularna ekonomija – recikliranje građevinskog gipsa smanjuje otpad i potrebu za novim resursima

87



VAPNO

Životni ciklus vapna

- Ekstrakcija – dobiva se iz prirodnih izvora vapnenca (CaCO_3)
- Prerada – kalcinacija vapnenca na $900\text{--}1000^\circ\text{C}$ → živo vapno (CaO)
- Hidracija – dodavanje vode daje gašeno vapno (Ca(OH)_2)
- Upotreba – u građevinarstvu, industriji, poljoprivredi, ekologiji
- Kraj životnog ciklusa – ponovno karbonatiziranje ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$), čime se CO_2 djelomično vraća u okoliš

Ekološki aspekt vapna

- Obnovljiv, ali ne beskonačan resurs – rudarenje vapnenca može uzrokovati degradaciju okoliša
- Energijski intenzivna proizvodnja – kalcinacija zahtijeva visoke temperature i fosilna goriva
- Upotreba u zaštiti okoliša – pročišćavanje otpadnih voda, neutralizacija kiselih tala, kontrola emisija sumpora
- Prirodni ciklus vapna – karbonatizacija tijekom upotrebe može smanjiti njegov neto CO_2 otisak

88



VAPNO

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Visoka emisija CO_2 – kalcinacija vapnenca oslobađa značajne količine CO_2
- Održive alternative – razvoj energetski učinkovitijih peći i upotreba biogoriva u proizvodnji
- Ciklus zatvorenog ugljika – karbonatizacija gašenog vapna omogućava djelomično ponovno vezanje CO_2 iz atmosfere
- Zamjena za cement – u nekim primjenama vapno može smanjiti potrebu za visokoemisionim cementom
- Cirkularna ekonomija – istraživanja usmjerena na reciklažu građevinskog vapna i smanjenje otpada

89



CEMENT

Životni ciklus cementa

- Ekstrakcija sirovina – vapnenac, glina, željezna ruda, pijesak
- Proizvodnja klinkera – kalcinacija na $\sim 1450^\circ\text{C}$ → visoka potrošnja energije
- Mljevenje i miješanje – dodavanje gipsa i mineralnih dodataka
- Transport i upotreba – beton, mortovi, građevinski proizvodi
- Kraj životnog ciklusa – reciklaža betona ili odlaganje građevinskog otpada

Ekološki aspekt cementa

- Velik ekološki otisak – odgovoran za $\sim 8\%$ globalnih emisija CO_2
- Visoka potrošnja energije – intenzivna toplinska obrada sirovina
- Eksploatacija resursa – rudarenje vapnenca može uzrokovati degradaciju okoliša
- Održivi materijali – alternativa s letećim pepelom, troskom, pucolanima za smanjenje utjecaja

90



CEMENT

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Smanjenje klinkera – korištenje LC3 cementa (vapnenac + glina) i pucolanskih dodataka
- Energetska optimizacija – poboljšanje učinkovitosti peći i upotreba alternativnih goriva
- Ugljično neutralni cementi – razvoj geopolimernog cementa i karbonatizacije betona za vezanje CO_2
- Cirkularna ekonomija – reciklaža betona i ponovna upotreba građevinskog otpada

91



KERAMIKA

Životni ciklus keramike

- Sirovine: glina, kaolin, feldspati, kvarc
- Proizvodnja: mljevenje, oblikovanje, sušenje, sinteriranje (900–1600 °C) Upotreba: dugotrajnost, kemijska i mehanička otpornost
- Odlaganje: inertan otpad, mogućnost reciklaže

Ekološki aspekt keramike

- Visoka energetska potrošnja tijekom pečenja
- Emisije CO₂ iz fosilnih goriva Ekstrakcija sirovina – degradacija tla i krajolika
- Ograničena mogućnost reciklaže zbog kompleksnog sastava

92



KERAMIKE

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Korištenje obnovljivih izvora energije u proizvodnji
- Niže temperature sinteriranja – inovativni aditivi
- Reciklaža i ponovna uporaba otpadne keramike
- Razvoj ekološki prihvatljivih materijala (biokeramika, geopolimeri)

93



SILIKATI – ŽIVOTNI CIKLUS

Životni ciklus silikata

- Ekstrakcija sirovina: glina, kvarc, feldspati, aluminijski i željezni oksidi.
- Prerada i sinteza: drobljenje, mljevenje, oblikovanje, sušenje, sinteriranje.
- Upotreba: građevinarstvo (cement, beton, opeka), keramika, staklo, elektronika.
- Odlaganje: inertni otpad, mogućnost reciklaže u građevinske materijale.

Ekološki aspekt silikata

- Visoka potrošnja energije za sinteriranje i toplinsku obradu.
- Emisije CO₂ iz cementne i keramičke industrije.
- Eksploatacija sirovina – degradacija tla i krajolika.
- Ograničena reciklaža – neki silikati se teško ponovo koriste zbog složene strukture.

94



SILIKATI – ŽIVOTNI CIKLUS

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Korištenje obnovljivih izvora energije (solarna, geotermalna, biomasa) u procesima pečenja i sinteriranja.
- Smanjenje temperature sinteriranja primjenom inovativnih aditiva i optimizacijom procesa.
- Razvoj energetski učinkovitih peći i poboljšanih toplinskih izolacija.
- Recikliranje otpadnih silikatnih materijala (keramika, staklo, silikatne opeke) u nove proizvode.
- Iskorištavanje industrijskih nusproizvoda (npr. leteći pepeo) u proizvodnji novih silikata.
- Ponovna upotreba otpadnih silikata u građevinarstvu – agregati za beton, izolacijski materijali.
- Sintetski silikati iz održivih sirovina s nižim ugljičnim otiskom.
- Zamjena konvencionalnih silikata inovativnim materijalima s manjim ekološkim utjecajem (zeoliti, geopolimeri).
- Primjena nanotehnologije za smanjenje potrošnje materijala uz zadržavanje svojstava.



95



PIGMENTI

Životni ciklus pigmenta

- Ekstrakcija sirovina – mineralni (anorganski) pigmenti iz ruda, organski pigmenti iz naftnih derivata ili biomase.
- Prerada i sinteza – kemijska obrada, mljevenje, klasifikacija i stabilizacija pigmenta.
- Primjena – u bojama, premazima, plastici, tinti, tekstilu, kozmetici, keramici.
- Kraj životnog ciklusa – degradacija, ispiranje u okoliš ili spaljivanje plastike/boja s pigmentima.

Ekološki aspekt pigmenta

- Teški metali i toksičnost – tradicionalni pigmenti (olovni, kadmijevi, kromati) mogu biti štetni za okoliš i zdravlje.
- Mikroplastika i boje – pigmenti u sintetičkim materijalima mogu završiti u vodi i tlu.
- Održivi pigmenti – razvoj biopigmenta, pigmenta na bazi prirodnih spojeva i netoksičnih metala.
- Reciklaža i otpad – teško reciklirati pigmente iz miješanih materijala poput plastike i boja.

96



PIGMENTI

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Visoka energetska potrošnja – sinteza organskih pigmenta i proizvodnja titanovog dioksida su energetski intenzivni procesi.
- Alternativne sirovine – istraživanja usmjerena na biološki sintetizirane pigmente (iz algi, bakterija, biljaka).
- Nanopigmenti – omogućuju smanjenje količine pigmenta u premazima, poboljšavaju efikasnost, ali zahtijevaju dodatne studije o ekološkom utjecaju.
- **Cirkularna ekonomija** – reciklaža pigmenta iz otpadnih boja i plastike, razvoj ekoloških boja s niskim VOC emisijama.

97

PLEMENITI METALI

Definicija i podjela

Plemeniti metali:
 Kemijski stabilni, otporni na oksidaciju i koroziju, rijetki u prirodi.
 Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh, Ru

Rijetki metali:
 Metalni elementi koji se nalaze u ograničenim količinama u Zemljinoj kori ili su teški za ekstrakciju.
 Hg, Co, Cd, La, Ac, Bi, In, Ga, Gd, Sc, Fr

Povijesna važnost: Plemeniti metali korišteni su od antičkih vremena za kovanice, nakit i ceremonijalne svrhe.
 Danas ključni u modernoj tehnologiji: Elektronika, katalizatori, obnovljiva energija.



PLEMENITI METALI

Najvažniji su:

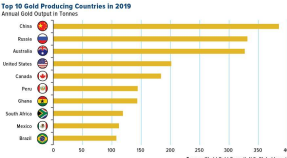
- Zlato (Au) – izuzetno kovno, vodljivo, ne korodira.
- Srebro (Ag) – najbolji vodič električne energije, antibakterijska svojstva.
- Platina (Pt) – kemijski inertna, otporna na visoke temperature.
- Paladij (Pd) – ključan u auto-katalizatorima, manje gustoće od platine.
- Iridij (Ir), osmij (Os), rodij (Rh), rutenij (Ru) – specijalizirane primjene u industriji i elektronici.



PLEMENITI METALI - Au

Proizvodnja
 Rudarenje (površinski i podzemni rudnici)
 Cijanidni proces za ekstrakciju iz ruda
 Elektrolitičko pročišćavanje. Recikliranje iz elektroničkog otpada
 Cijena: ~ 2.200-2.500 USD/unca (ovisno o tržištu)

Upotreba
 Financije (zlato kao investicijsko sredstvo)
 Elektronika (kontakti, poluvodiči)
 Medicina (zubne legure, dijagnostički alati)
 Svemirska industrija (zaštita od zračenja).

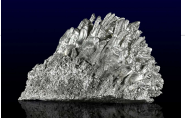
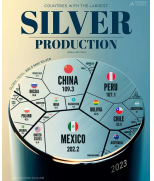



Country	Annual Gold Output in Tonnes
China	370
Russia	330
Australia	300
United States	200
Canada	190
Peru	180
Ghana	170
South Africa	160
Mexico	150
Brazil	140

PLEMENITI METALI - Ag

Proizvodnja
 Nusprodukt rudarenja olova, cinka i bakra.
 Elektrolitičko pročišćavanje.
 Kemijska redukcija srebrnih spojeva.
 Cijena: ~ 25-30 USD/unca.

Upotreba
 Elektronika (najosjetljiviji vodič)
 Medicinski uređaji (antibakterijska svojstva)
 Fotografija (srebrni halidi u filmu)
 Solarni paneli.

Country	Production (in metric tons)
China	100.3
Peru	71.7
Mexico	58.2
India	31.1
Spain	17.1

PLEMENITI METALI - Pt

Proizvodnja
 Najveći rudnici u Južnoj Africi (70% svjetske proizvodnje)
 Proces flotacije rude i hidrometalurške metode
 Pročišćavanje taljenjem i elektrolizom
 Cijena: ~ 900-1.200 USD/unca

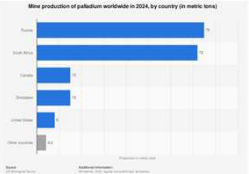
Upotreba
 Katalizatori u industriji i automobilima
 Medicinska oprema i lijekovi protiv raka
 Elektrode za specijalizirane procese
 Nakit visoke vrijednosti.




PLEMENITI METALI - Pd

Proizvodnja
 Nusprodukt ekstrakcije nikla i platine
 Glavni proizvođači: Rusija, Južna Afrika, Kanada
 Pročišćavanje taljenjem i kemijskom separacijom
 Cijena: ~ 1.200-1.500 USD/unca

Upotreba
 Autoindustrija (katalizatori smanjenja emisija)
 Elektronika (spojnice i kontakti)
 Dentalni materijali.

Country	Production (in metric tons)
Russia	1.2
South Africa	0.8
Canada	0.4
Indonesia	0.3
Other countries	0.2



PLEMENITI METALI – ŽIVOTNI CIKLUS

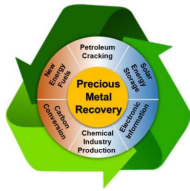
- Rudarenje i ekstrakcija – velik utjecaj na okoliš
- Prerada i rafinacija – energetski intenzivni procesi
- Upotreba – u industriji, elektronici, zdravstvu
- Recikliranje – smanjuje potrebu za rudarenjem

Ekološki aspekt

Rudarenje: uništavanje ekosustava, trovanje voda teškim metalima

Upotreba cijanida i živice: visoko toksični procesi

Recikliranje: smanjuje otpad i emisije CO₂.



104



PLEMENITI METALI – UGLJIČNI OTISAK

Rudarenje i ekstrakcija – glavni izvor emisija CO₂

- Visoka potrošnja energije – rudnici koriste tešku mehanizaciju i eksplozive.
- Upotreba fosilnih goriva – kamioni, bageri i generatori rade na dizel.
- Duboki rudnici – zahtijevaju klimatizaciju i crpljenje vode, što troši dodatnu energiju.
- Kemijske metode obrade – cijanidni i živini procesi koriste puno kemikalija.
- Primjer: Za ekstrakciju 1 kg zlata iz niskokvalitetne rude treba obraditi tonama stijena i koristiti 1000-2000 kWh električne energije.

Prerada i rafinacija

- Taljenje – visoke temperature (preko 1000 °C) zahtijevaju električnu ili fosilnu energiju.
- Kemijska separacija – koristi agresivne kiseline i otapala (kraljevska voda za zlato).
- Elektroitičko pročišćavanje – troši značajne količine električne energije.
- Primjer: Platina – proces rafinacije generira do 40 tona CO₂ po kg.
- Srebro – zbog niže cijene i boljih izvora, ima znatno niži otisak (~ 5 tona CO₂ po kg).

105



PLEMENITI METALI – UGLJIČNI OTISAK

Transport

- Neizbježne emisije
- Dugački transportni lanci – ruda se prevozi kamionima, vlakovima i brodovima.
- Lokalne i globalne emisije – rudnici su često u udaljenim regijama (Afrika, Rusija, Kanada).
- Procjena emisija: Zračni prijevoz plemenitih metala iz rudnika do rafinerije = 3-5 tona CO₂ po toni tereta.

Upotreba

- Relativno nizak otisak
- Nakit i investicijsko zlato – gotovo bez emisija nakon proizvodnje
- Elektronika – niska emisija pri korištenju, ali često završi kao otpad
- Industrijski katalizatori – emisije nastaju indirektno kroz industrijske procese.
- Primjer: Auto-katalizatori (Pv, Pd, Rh) – pomažu smanjiti emisije vozila, ali njihova proizvodnja emitira CO₂.

106



RECIKLIRANJE

Zašto je recikliranje važno?

Smanjenje potrošnje prirodnih resursa:

- Prirodni resursi su ograničeni
- Mnoge sirovine poput rijetkih metala, fosilnih goriva i svježih voda postaju sve rjeđe
- Rudarenje i eksploatacija tla uništavaju ekosustave, iscrpljuju resurse i povećavaju onečišćenje.
- Alternativa rudarenju: Recikliranjem metala smanjuje se potreba za rudarenjem koje troši ogromne količine energije i vode. Na primjer, recikliranjem 1 tona aluminija može se uštedjeti 4 tona boksitne rude.
- Očuvanje šuma i voda. Proizvodnja papira od recikliranog materijala smanjuje sječu stabala.
- Recikliranje plastike smanjuje potrebu za proizvodnjom novih polimera iz nafte. Primjer: Recikliranje jedne tona papira šteti 17 stabala i 26.000 litara vode.
- **Kružna ekonomija.** Umjesto modela "uzmi – iskoristi – baci", recikliranje omogućava ponovno korištenje materijala i produžuje njihov životni vijek. Ovo je ključno za resurse poput rijetkih zemnih metala koji se koriste u elektronici i baterijama.

107



RECIKLIRANJE

Smanjenje emisije CO₂ i ekološkog otiska

- Proizvodnja novih materijala troši ogromne količine energije
- Primarna proizvodnja metala, plastike, papira i stakla zahtijeva rudarenje, taljenje i kemijske procese koji ispuštaju CO₂.
- Recikliranjem se smanjuje potreba za ovim energetski intenzivnim procesima.

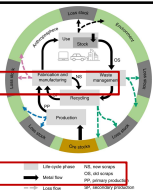
Usporedba emisija CO₂ pri reciklaži naspram primarne proizvodnje

- Aluminij: Recikliranjem se troši 95% manje energije i emitira 95% manje CO₂.
- Čelik: Recikliranjem se smanjuje emisija CO₂ za 75%.
- Plastika: Recikliranje PET plastike smanjuje emisije CO₂ za 30-50% u usporedbi s novom plastikom.

Smanjenje otpada na odlagalištima

- Manje otpada znači manje emisija metana, koji je 25 puta jači staklenički plin od CO₂.
- Deponije otpada su treći najveći izvor antropogenih emisija metana na globalnoj razini.
- Primjeri konkretnih ušteda CO₂: Recikliranjem 1 tona papira uštedi se oko 1,4 tona CO₂. Recikliranjem 1 tona plastike uštedi se 2,5 tona CO₂. Recikliranjem 1 automobilske baterije može se smanjiti emisija za do 1,5 tona CO₂.
- Manji ekološki otisak transporta i proizvodnje. Reciklirani materijali često zahtijevaju manje transporta i obrade. Manje transporta znači manje fosilnih goriva i niže emisije CO₂.

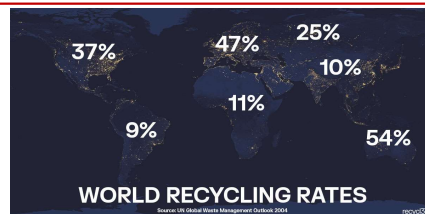
108



RECIKLIRANJE

Trenutni postotci recikliranja po vrstama materijala

Aluminij – 75%, Staklo – 50%, Plastika – 9%, Elektronika – 20%



109



RECIKLIRANJE - Ekološki aspekti recikliranja

- Smanjenje otpada na odlagalištima
- Smanjenje zagađenja vode i tla
- Energijska ušteda u proizvodnji sekundarnih sirovina
- Napredne metode separacije otpada. Optička i AI tehnologija za prepoznavanje i sortiranje otpada. Magneta i elektrostatična separacija za metale. Kemijsko recikliranje plastike (razgradnja na molekularnoj razini).
- Biološke metode recikliranja. Bakterije i enzimi za razgradnju plastike (PET, PU). Biološka ekstrakcija metala iz elektroničkog otpada pomoću mikroorganizama ("bioleaching").
- Zatvoreni ciklusi proizvodnje. Dizajn proizvoda s lako odvojivim i reciklabilnim materijalima. Modularni dizajn (elektronika, baterije) kako bi se komponente mogle lakše zamijeniti ili reciklirati.
- Automatizacija i digitalizacija reciklažnih postrojenja. Internet stvari (IoT) za praćenje otpada u stvarnom vremenu. Roboti za ručno sortiranje otpada u reciklažnim centrima.

110



RECIKLIRANJE - Izazovi i budući trendovi



Unapređenje tehnologija recikliranja → Kružna ekonomija i nove strategije upravljanja otpadom

Proširena odgovornost proizvođača (EPR - Extended Producer Responsibility): Proizvođači su obvezni preuzeti odgovornost za otpad nastao njihovim proizvodima. Poticanje na dizajn proizvoda koji se lakše popravljaju i recikliraju.

Zero waste strategije: Gradovi s politikom nulte stope otpada (San Francisco, Kamikatsu, Ljubljana). Poticanje kompostiranja i ponovne uporabe.

Razvoj sekundarnih tržišta za reciklirane materijale: Poticanje industrija da koriste reciklirane sirovine umjesto primarnih. Porezne olakšice za proizvode izrađene od recikliranih materijala.

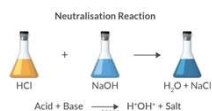
Recikliranje treba postati ključni dio gospodarstva umjesto trenutnog modela "uzmi - iskoristi - baci".

111



SOLI - Općenito

- Kemijski spojevi sastavljeni od pozitivno i negativno nabijenih iona
- Nastajanje soli **NEUTRALIZACIJA** – reakcija između kiseline i baze
- U prirodi su prisutne u različitim oblicima: kristali, mineralne naslage i otopine u vodi
- Koriste se u raznim područjima, uključujući prehrambenu industriju, poljoprivredu, medicinu, industriju, kemijske procese i mnogim drugim



112



SOLI - Svojstva

- Okus
- Boja
- Miris
- Topljivost
- Provodnost
- Talište



113



SOLI - Primjena

- Primarno u prehrambenoj industriji
- Sirovine za proizvodnju raznih kemijskih spojeva
- Metalurgija za smanjenje točke tališta
- Pročišćavanje i obrada voda
- Gnojiva i dodaci tlu u poljoprivredi
- Tehničke primjene (elektroliti u baterijama, toplinske soli za pohranu toplinske energije, tekući prijelazi za termalne pumpe)

114



SOLI - Dobivanje

Izbor reakcije ovisi o željenoj vrsti soli i dostupnim reagensima

Neutralizacija: $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

Reakcija metala i kiseline: $\text{Zn(s)} + 2\text{HCl(aq)} \rightarrow \text{ZnCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$

Taloženje soli iz otopine

Taloženje kristala NaCl isparavanjem vode

Reakcija kiseline s metalnim karbonatom: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CuCO}_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$



115



SOLI – Natrijev klorid

- Kuhinjska sol (NaCl)
- Bijela, kristalna tvar topiva u vodi
- Dobiva se iz slanih voda (morska voda ili slane naslage u kopnenim stijenama)
- Široka primjena u prehrambenoj industriji, medicini, kemijskoj tehnologiji, tehnologiji prerade hrane
- U umjerenim količinama relativno siguran za okoliš



116



SOLI – Kalijev klorid

- KCl
- Bijeli bezbojni kubični kristali bez mirisa
- Krutina se lako otapa u vodi, a njezine otopine imaju okus poput kuhinjske soli
- Primjena u poljoprivredi (gnojivo), industriji (proizvodnja stakla, metalurški procesi, proizvodnja kalijevih sapuna), medicinska primjena (hipokalemija)
- Prekomjerna upotreba akumulacija kalija u tlu

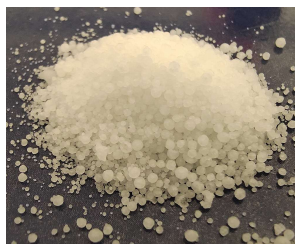


117



SOLI – Natrijev bisulfat

- NaHSO_4
- Bijeli ili svijetlo žuti kristalni prah
- Kisela sol nastala djelomičnom neutralizacijom
- Umjereno topljiv u vodi
- pH regulator, fungicid, herbicid ili mikrobiocid za čišćenje kućanstva i održavanje bazena
- Proizvodnja stakla, deterdženta i papira
- Relativno netoksičan za okoliš



118



SOLI – Bakrov sulfat pentahidrat

- Plavi vitriol ili modra galica ($\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$)
- Kristali oblikovani kao heksagonalne pločice ili prizme
- Topljiv u vodi, metanolu, i glicerolu
- Primjena u poljoprivredi (fungicid), laboratoriju (reagens za detekciju prisutnosti vode i katalizator) i industriji (pigment u bojama i premazima)

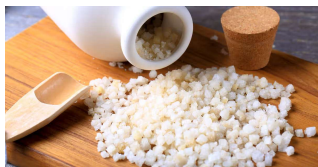


119



SOLI – Magnezijev sulfat

- Epsom sol (MgSO_4)
- Bezbojni ili bijeli kristali ili u obliku praška
- Izgledom sličan kuhinjskoj soli, ali gorkog i neukusnog okusa
- Topljiv u vodi sol za kupanje
- Pruža biljkama korisne hranjive tvari za zdrav rast



120



SOLI – Kalijev jodid

- KI
- Bijeli kristalni prah ili kristali bez boje
- Industrijski se proizvodi tretiranjem KOH jodom
- Visoka topljivost u vodi primjena u medicini
- Priprema farmaceutskih proizvoda, uključujući antiseptike i lijekovite otopine
- Relativno siguran u preporučenim količinama



121



SOLI – Kalijev permanganat

- KMnO_4
- Ljubičasta kristalna krutina
- Nezapaljiv, ali podržava gorenje
- Topljiv u vodi reagens u kemijskim laboratorijima i medicini
- Primjena u medicini: liječenje gljivičnih infekcija kože te antiseptik za dezinfekciju rana i opekotina
- Toksičan u velikim količinama



122



SOLI

Životni ciklus soli

- Proizvodnja i prikupljanje soli iz prirodnih solarnih isparavanja
- Najstariji način prikupljanja soli
- Izrazito energetski učinkovito
- Ograničena sposobnost kontrole kvalitete

Ekološki aspekt soli

- Zagađenje tla
- Utjecaj na slatkovodne i morske ekosustave
- Kiselost tla
- Otpadne vode
- Toksičnost za ljude i životinje

123



SOLI

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Razvoj soli u kontekstu ugljičnog otiska obuhvaća napore usmjerene na smanjenje emisija ugljičnog dioksida (CO_2) tijekom cijelog životnog ciklusa soli
- Smanjenje ugljičnog otiska:
- Održiva proizvodnja
- Efikasna prerada i distribucija
- Alternativne metode za kontrolu leda
- Recikliranje i ponovna upotreba
- Edukacija i svjesnost

124



SOLI – Tehnologija rastaljene soli

- Proizvodnja električne energije pomoću solarnih elektrana
- Tekuća sol se čuva u izoliranom spremniku
- Toplinska energija soli može se skladištiti i do tjedan dana te se pretvara u električnu energiju kada je potrebno
- Niski troškovi, netoksičnost, nezapaljivost i visoka toplinska stabilnost

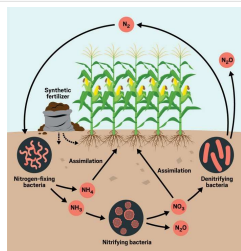


125



GNOJIVA

- Podjela gnojiva
- Priprava
- Utjecaj gnojiva na teške metale
- Utjecaj gnojiva na emisiju stakleničkih plinova
- **Nitratna kiselina**



126



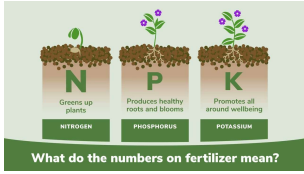
GNOJIVA



127

GNOJIVA – Anorganska gnojiva

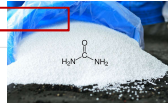
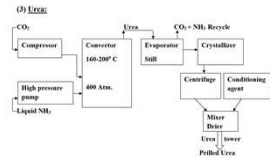
- **Dusična** - srednje faze životnog ciklusa biljke - amonijev nitrat
- **Fosforna** - jačanje korijena i stabljike - superfosfat
- **Kalijeva** - fotosinteza - KCl
- **NPK** - određeni tip tla

What do the numbers on fertilizer mean?

GNOJIVA – Anorganska gnojiva Urea

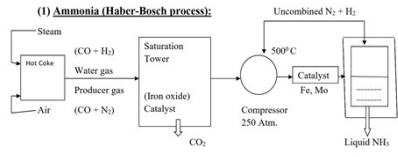
- **Diamid ugljične kiseline**
- Visoko koncentrirano dušično gnojivo
- Prva industrijska proizvodnja – 1920. g.
- Sadrži 46% dušika
- Biuret
- Sporije razlaganje u tlu – biljke postepeno usvajaju dušik – ne ispire se iz tla

GNOJIVA – Organsko mineralna

- Organska tvar i mineralno gnojivo (sirovi fosfati ili neki drugi oblik fosfornog gnojiva)
- Bolja iskoristivost fosfora
- Visoka fiziološka važnost za biljke
- Dobra primjena- učinkovito i ekonomski isplativo

(1) Ammonia (Haber-Bosch process):



GNOJIVA

Životni ciklus gnojiva

- Ekstrakcija sirovina (fosfatne stijene, prirodni plin za NH3 sintezu).
- Proizvodnja (kemijski procesi, biološka razgradnja za organska).
- Transport i skladištenje (utjecaj na CO2 emisije).
- Primjena na tlo (emisije dušikovih oksida, ispiranje fosfata).
- Učinak na okoliš (povećanje prinosa, eutrofikacija).

Ekološki aspekt gnojiva

- Negativni utjecaji mineralnih gnojiva
- Eutrofikacija vodenih tijela zbog ispiranja nitrata i fosfata.
- Emisije N2O (staklenički plin 300x jači od CO2).
- Degradacija tla kod prekomjerne primjene.
- Prednosti organsko-mineralnih gnojiva: poboljšavaju zadržavanje vode i hranjiva u tlu, manje ispiranja nitrata i fosfata u podzemne vode.

GNOJIVA

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Mineralna gnojiva
- Haber-Bosch proces za amonijak – 1% globalnih CO2 emisija
- Fosfatna gnojiva – visoka potrošnja energije kod ekstrakcije.
- Dusična gnojiva – glavni izvor N2O emisija iz poljoprivrede.

Organsko-mineralna gnojiva

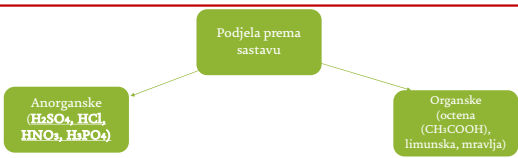
- Niži CO2 otisak, jer koriste otpadne materijale (kompost, digestat iz bioplinjskih postrojenja).
- Mogu skladištiti ugljik u tlu kroz organsku tvar.

Moguće strategije smanjenja CO2 otiska

- Primjena precizne poljoprivrede za optimalno doziranje
- Korištenje inhibitora nitrifikacije za smanjenje N2O emisija
- Razvoj bio-gnojiva s mikroorganizmima koji fiksiraju dušik.

KISELINE

Tvari koje doniraju proton (H⁺) ili primaju elektronski par; **pH vrijednost manja od 7**. Reagiraju s bazama – neutralizacija. Mogu biti korozivne i opasne. Široka industrijska primjena.





KISELINE – Najvažnije kiseline

Ključne anorganske kiseline

- Sumporna kiselina (H_2SO_4) – industrijska proizvodnja, baterije.
- Dušična kiselina (HNO_3) – gnojiva, eksplozivi.
- Klorovodična kiselina (HCl) – kemijska industrija, digestija u želucu.
- Fosforna kiselina (H_3PO_4) – gnojiva, prehrambena industrija.

Ključne organske kiseline:

- Octena kiselina (CH_3COOH) – prehrana (ocat), kemijska industrija.
- Limunska kiselina ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) – prehrambeni aditiv, konzervansi.
- Mravlja kiselina (HCOOH) – industrijska upotreba, konzervacija hrane.

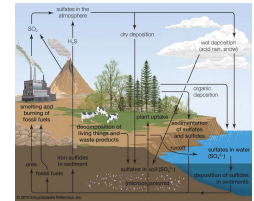
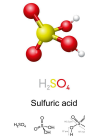
134



KISELINE – Sumporna kiselina H_2SO_4

Najvažnija industrijska kemikalija

- Proizvodnja gnojiva (superfosfati), deterdženata, akumulatora.
- Koristi se u metalurgiji za uklanjanje oksida.
- Vrlo reaktivna i korozivna – mora se pažljivo skladištiti.

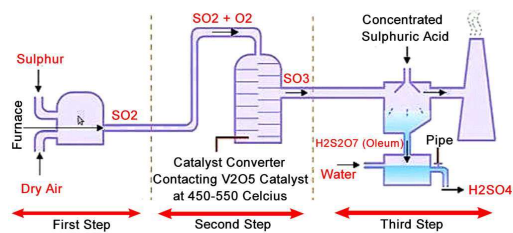


135



KISELINE – Sumporna kiselina industrijska proizvodnja

Sulphuric Acid Manufacturing Process

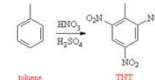
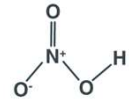


136



KISELINE – Dušična kiselina HNO_3

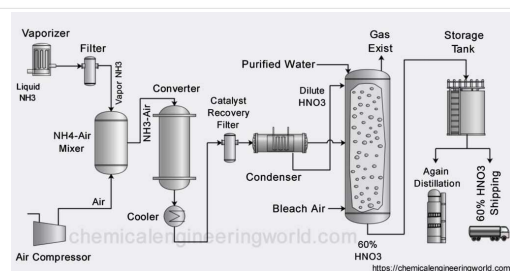
- Ključna za poljoprivredu i eksplozive
- Glavna komponenta u proizvodnji gnojiva (amonijev nitrat)
- Koristi se u izradi eksploziva (TNT, nitroglicerina)
- Vrlo reaktivna – uzrokuje žute mrlje na koži zbog nitriranja proteina.



137



KISELINE – Dušična kiselina industrijska proizvodnja

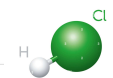


138

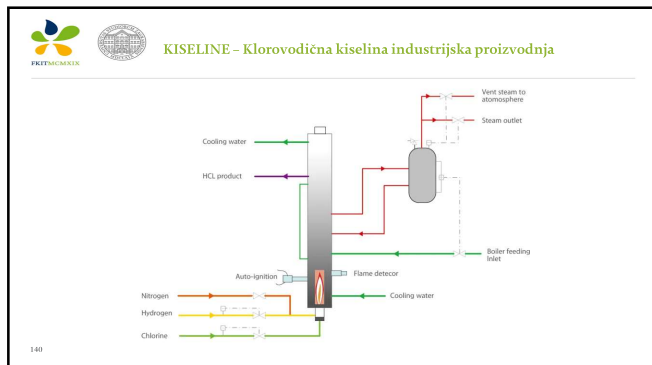


KISELINE – Klorovodična kiselina HCl

- Neizostavna u kemijskoj industriji
- Sastavni dio želučane kiseline u probavnom sustavu
- Koristi se za čišćenje metala i pH regulaciju
- Vrlo korozivna – može izazvati teške opekline.



139

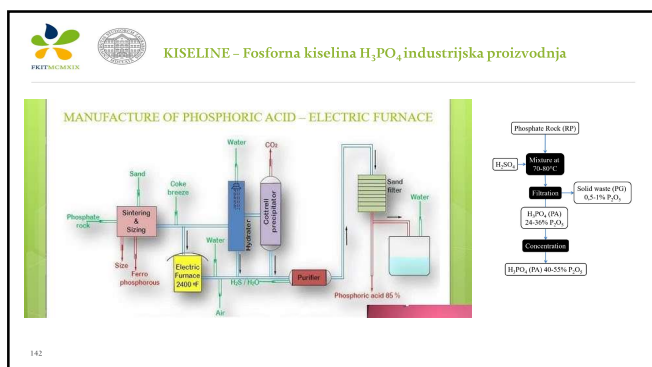


KISELINE – Fosforna kiselina H_3PO_4

$$\begin{array}{c} \text{OH} \\ | \\ \text{O}=\text{P} \\ | \\ \text{OH} \end{array}$$

- Poljoprivreda i prehrambena industrija
- Koristi se u proizvodnji fosfatnih gnojiva
- Aktiv u gaziranim pićima i konzervansima
- Pomaže u zaštiti od korozije u metalnoj industriji.

141



KISELINE – Octena kiselina CH_3COOH

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} \\ | \quad | \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$$

- Od kuhinje do industrije
- Osnovna komponenta octa
- Koristi se u proizvodnji plastike (PET), otapala i lijekova
- Biorazgradiva i manje štetna od mineralnih kiselina.

143

KISELINE

Životni ciklus - faze životnog ciklusa:

- Sirovine** – ekstrakcija sumpora, fosfata, dušika.
- Proizvodnja** – energetski intenzivni kemijski procesi.
- Transport** – zahtijeva posebne spremnike zbog korozivnosti.
- Upotreba** – industrija, poljoprivreda, medicina.
- Zbrinjavanje** – neutralizacija prije ispuštanja u okoliš.

Ekološki aspekt

- Negativni utjecaji kiselina
- Kisele kiše** (emisije SO_2 i $NO_2 \rightarrow H_2SO_4$ i HNO_3 u atmosferi)
- Zagađenje voda – ispuštanje industrijskih kiselina bez neutralizacije
- Korozija infrastrukture – oštećenje betona, metala i kulturne baštine.
- Održivo upravljanje**: Neutralizacija prije ispuštanja. Korištenje manje agresivnih alternativa (npr. organskih kiselina). Bolji sustavi filtracije za smanjenje emisija u atmosferu.

144

KISELINE

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Izvori CO_2 emisija u proizvodnji
- Sumporna i dušična kiselina – visoka potrošnja energije pri proizvodnji.
- Haber-Bosch proces za $HNO_3 \rightarrow$ znatan izvor N_2O emisija.

Transport i skladištenje – specijalizirana infrastruktura povećava emisije.

Moguće strategije smanjenja CO_2 otiska

- Korištenje zelene energije u proizvodnji kiselina
- Optimizacija procesa za smanjenje nusprodukata (npr. katalitička redukcija NO_x). Povećanje recikliranja kiselina u industriji.

145



LUŽINE

- Općenito o lužinama
- Natrijeva lužina**
- Proizvodnja NaOH
- Elektroliza solne otopine
- Ekološki aspekt
- Primjena lužina

146



LUŽINE

Kemijske tvari koje povećavaju pH vrijednost otopine
Baze, reagiraju s kiselinama i neutraliziraju ih
Arrhenius baza - spoj koji povećava koncentraciju OH⁻ iona
Jake: NaOH, KOH, potpuna disocijacija u vodi
 $\text{NaOH(aq)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$
Slabe: NH_3 djelomična disocijacija u vodi
 $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$
Dobivanje:
Otapanje hidroksida u vodi
Elektroliza vodene otopine soli



147



LUŽINE

Zašto NaOH a ne KOH?

- Natrijeva lužina je najčešća lužina koja se koristi u industriji i svakodnevnom životu
- Kemijski najsigurniji jer njihovi hidroksidi nastaju vezanjem alkalijskog metala za hidroksilnu skupinu
- Koriste se za iste primjene
- PROIZVODNI TROŠKOVI
- Za NaOH potreban NaCl (kuhinjska sol) jeftiniji
- Za KOH potreban kalijev klorid, puno skuplja smjesa

148



LUŽINE - Natrijeva lužina NaOH

Natrijev hidroksid

- Bijela kristalna kruta tvar
- Otapanjem u vodi daje lužinu – egzotermna reakcija
- pH vrijednost ~ 12-14**
- Kaustična soda
- Korozivno djelovanje
- Razgrađuje proteine pri sobnoj temperaturi
- Uzrokuje opekotine na koži, iritira oči i sluznicu

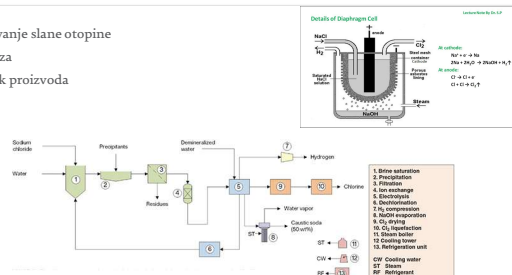


149



LUŽINE - Industrijska proizvodnja NaOH

- Pročišćavanje slane otopine
- Elektroliza
- Oporavak proizvoda

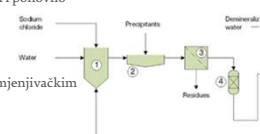


150



LUŽINE - NaOH; 1.Pročišćavanje slane otopine

- Slanu otopinu dobivamo iz morske vode ili iz prirodnih solnih naslaga
- Ekstrakcija soli iz morske vode ili solnih naslaga
- isparavanje vode, filtriranje, kristalizacije -> koncentrirana otopina NaCl(morska sol)
- Reciklirana iscrpljena slana otopina miješa se s vodom i ponovno zasićuje NaCl-om
- Teški metalni ioni štetni za membrane
- Metalni ioni se talože i uklanjanju
- Pročišćena otopina se filtrira te pročišćava ionskim izmjenjivačkim smolama

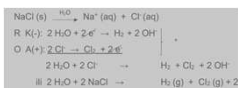
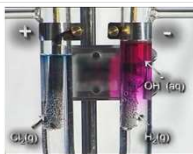


151



LUŽINE NaOH; 2. Elektroliz

- NaOH se industrijski proizvodi elektrolizom vodene otopine NaCl
- Elektroliza- rastavljanje tvari djelovanjem električne struje
- Produkti
- Plinoviti vodik(katoda) i klor(anoda) te natrijeva lužina
- Tehnologija dijafragmatske ćelije
- Tehnologija živine ćelije
- Tehnologija membranske ćelije



152



LUŽINE – NaOH; ćelije

- 1. Dijafragmatska:** dijafragma razdvaja anodnu i katodnu komoru. Natrijevi ioni migriraju kroz dijafragmu u katodnu komoru gdje reagiraju s hidroksidnim ionima formirajući NaOH. Koristi se azbest. Otporan na kemikalije i visoke temperature. Zamjene za azbest: polimeri, keramika, staklena vlakna, membranske tehnologije.
- 2. Živina ćelija:** Veća čistoća NaOH. Katoda: Hg(l). Amalgam natrija i žive nastaje kada natrij reagira s tekućom živom. Amalgam se uklanja reakcijom s vodom i el. strujom – nastaje natrijeva lužina:
 $2\text{Na}(\text{nHg}) + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 (\text{g}) + \text{Hg} (\text{l})$. Hg(l) se reciklira.
- 3. Membranska ćelija:** Selektivna membrana koja omogućava migraciju iona natrija preko membrane dok zadržava plinoviti klor i otopinu soli s druge strane. Najmanje električne energije. Najkvalitetniji NaOH. Ekološki prihvatljiviji.

153



LUŽINE – Primjena NaOH

- Proizvodnja papira- izdvajanje lignina iz celuloze
- Proizvodnja tekstila – čišćenje i obrada tekstilnih vlakana
- Proizvodnja sapuna i deterdženta –proces saponifikacije: reagira s masnoćama i uljima kako bi proizvela sapun i glicerol
- Proizvodnja stakla – smanjuje temperaturu potrebnu za taljenje silikata
- Kućanstvo – NaOH kao sredstvo za čišćenje i uklanjanje masnih mrlja
- Pročišćavanje otpadnih voda – neutralizacija kiselih otpadnih voda i reguliranje pH
- Metallurgija
- Uklanjanje oksida i nečistoća s metalnih površina
- Proizvodnja aluminija
- Bayerov proces – ekstrakcija aluminija(aluminijev oksid) iz boksitne rude uz pomoć kaustične sode
- Proizvodnja biodizela
- NaOH katalizator

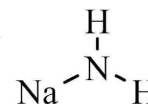


154



LUŽINE – Natrijev amid

- Snažna baza
- $2\text{Na} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2$
- Deprotonirajuće sredstvo
- U organskoj kemiji
- Deprotonacija slabih kiselina, alkena, alkohola, estera, ketona
- Dehidrohalogenaciju
- Formiranje C-H veza
- U čvrstom zatvorenom spremniku, suho okruženje



155



LUŽINE

Ekološki aspekt

- Potrošnja energije
- Elektroliza zahtijeva značajne količine energije
- Emisija stakleničkih plinova
- Integracija obnovljivih izvora energije radi smanjenja potrošnje energije
- Emisije klora
- Visoko reaktivan plin
- Štetan za okoliš i ljudsko zdravlje
- Intenzivna eksploatacija resursa(NaCl i vode) može imati negativne utjecaje na okoliš - iscrpljivanje vodnih resursa
- Minimiziranje potrošnje sirovina i maksimiziranje učinkovitosti procesa
- Transport i skladištenje
- Onečišćenje tla

156



LUŽINE

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Otpadne vode iz postrojenja za proizvodnju lužine koje sadrže različite kemijske spojeve trebaju se tretirati prije ispuštanja u okoliš
- Otpadne vode s visokom koncentracijom natrijeve lužine štetne za vodene ekosustave
- Neutralizacija otpadne kaustične sode kiselim tvarima
- Sigurnosno odlaganje – kontrolirano ispuštanje u kanalizacijski sustav ili označene objekte za opasni otpad
- Mehanizmi za recikliranje kaustične sode, smanjujući količinu otpada

157

OTROVI

Definicija: Prirodna ili sintetička tvar koja uzrokuje oštećenje tkiva te ima štetan ili smrtonosan učinak na tijelo, bilo da se proguta, udiše, apsorbira ili ubrizga kroz kožu

DOZA - količina dovoljna da izazove nekav učinak

"THE DOSE MAKES THE POISON"

APPLE SEEDS PEAS POTATOES CIGARETTES

EDIBLE APPLES CONTAIN CYANIDE (from amygdalin) - 10 mg/kg body weight
 PEAS CONTAIN CYANIDE (from linamarin) - 10 mg/kg body weight
 POTATOES CONTAIN CYANIDE (from diosgenin) - 10 mg/kg body weight
 CIGARETTES CONTAIN CYANIDE (from nicotine) - 10 mg/kg body weight

ALL OF THE FOOD ITEMS ABOVE CONTAIN NATURAL CHEMICALS THAT ARE TOXIC TO HUMANS. HOWEVER, THEY ARE USUALLY PRESENT IN VERY SMALL AMOUNTS, FAR BELOW THE HARMFUL DOSE.

JUST BECAUSE A CHEMICAL IS PRESENT, DOES NOT MEAN THAT IT IS HARMFUL IN THE AMOUNT PRESENT.



OTROVI

1. Uzrok - otrov

Subjekt - otrovani

Effekt - oštećenje stanice

Posljedica - simptomi ili smrt

Akumulacija unutar tkiva ili organa - poremećaj normalne funkcije ili strukture - simptomi - smrt?



OTROVI - Podjela prema porijeklu

• Bakterije
• Gljivice

• Toksini

MIKROBI BILJKE

ŽIVOTINJE SINTETSKI

• Pauzi, mravi, zmije, zaje, škorpioni, meduze

• Lijekovi
• Pesticidi
• Kemikalije
• Sredstva za čišćenje

OTROVI - Podjela prema stanju

KRUTINA TEKUĆINA PLIN AEROSOL

Otapanje u tekućinama
Veličina granula

Gutanjem
Kroz kožu

Inhalacija
Kroz kožu

Inhalacija
Kroz kožu

OTROVI - U organizmu

Topivost u lipidnom sloju - stanična membrana

Krv - distribucija u različita tkiva

Kritična količina otrova

Intersticijski prostor

Prokrvljenost organa - utjecaj na akumulaciju otrova

Biotransformacija

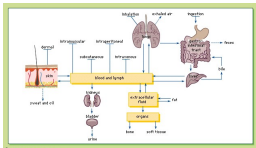
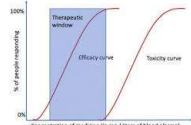
Apsorpcija kroz krvne ili limfne kapilare

Krvno-moždana barijera

Izlučivanje - Urin, žuč, znoj...

OTROVI - Doza i izloženost

AKUTNA SUBKRONIČNA KRONIČNA

100%
0%
% of population response

Therapeutic window

Efficacy curve

Toxicity curve

Concentration of molecule (in mg / liter of blood plasma)

OTROVI - Toksičnost

ONESPOSABLJAVAJUĆA DOZA (LD50) je količina otrova (mg/m³) koja u relativno kratkom vremenu (obično jednu minutu) izaziva onesposobljavanje 50 posto ukupno izložene populacije

SMRTNA DOZA (LD) je količina otrova (mg/kg) koja uzrokuje smrt, a izražava se kao srednja smrtna doza (LD50) koja kod pokusnih životinja iste vrste uzrokuje 50 postotnu smrtnost

SREDNJA LETALNA KONCENTRACIJA (LC50) je koncentracija otrova (mg/m³ zraka) koja izaziva smrt za 50% izložene populacije u trajanju od jedne minute. Srednja onesposobljavajuća doza pare ili aerosola (CS50, mg·min/m³) predstavlja količinu inhalirane pare, koja je dovoljna da onesposobi 50% eksponirane nezaštićene populacije

164

OTROVI – Bojni otrovi

- Toksične kemikalije stvorene s ciljem da usmrte, rane ili nanesu dugoročne posljedice pojedincu
- Perzija- 256 pr.n.e.-SO₂
- Francusko-Nizozemski rat-16.st-beladona alkaloidi- Prvi internacionalni sporazum protiv uporabe „perfidnog i mrskog“ oružja
- Klasifikacija- Oružje masovnog uništenja
- Prvi svjetski rat- prva uporaba modernih bojnih otrova

165

OTROVI – Bojni otrovi

- Živčani otrovi (neurotoksini). Primjeri: Sarin (GB), VX, Tabun (GA), Soman (GD). Djelovanje: Blokiraju enzime potrebne za živčanu funkciju → paraliza, smrt. Upotreba: Sarin u Siriji (2013), Tokio metro napad (1995)
- Plinovi (vezikanti). Primjeri: Iperit (sumporni iperit), Lewisit. Djelovanje: Uzrokuju mjehure na koži i sluznicama, oštećenje očiju i pluća. Prvi put korišten: I. svjetski rat
- Gusljivci (zagusljivi plinovi). Primjeri: Klor, Fosgen, Difenilklorarsin. Djelovanje: Nadražuju dišni sustav, izazivaju gušenje i edem pluća. Napomena: Fosgen – najsmrtonosniji plin I. svjetskog rata
- Suzeći plinovi (iritansi). Primjeri: CS, CN (Mace), CR. Djelovanje: Suženje očiju, kihanje, privremeno onesposobljavanje. Korištenje: Kontrola mase, ali se smatra kemijskim oružjem u ratnim okolnostima
- Ometajući agensi. Primjeri: BZ (3-kinuklidil benzilat). Djelovanje: Halucinacije, dezorijentacija, konfuzija. Karakteristika: Psihotropno djelovanje, dugotrajno onesposobljavanje

166

OTROVI – Fosgen u I. svjetskom ratu

Molekula difosgena

Molekula iperita

167

OTROVI - Proizvodnja

Rani razvoj (do I. svjetskog rata)
 Temelji u industrijskoj kemiji (npr. proizvodnja bojila i pesticida). Prvi bojni otrov: klor (1915, Ypres, Belgija)
 Brza prilagodba industrije za masovnu proizvodnju.
 Industrijalizacija tijekom **I. i II. svjetskog rata**
 I. svjetski rat: Fosgen, iperit – proizvodnja u tonama
 II. svjetski rat: Otkrivanje živčanih otrova u Njemačkoj (npr. Tabun, Sarin) ✎
Hladni rat i napredne formule
 Masovno usavršavanje VX i novijih živčanih agensa
 Tajne vojne laboratorije (npr. Sovjetski program "Foliant" → Novičok agensi)

168

OTROVI - Razvoj

Moderni izazovi
 Tehnički jednostavna sinteza uz dostupne prekursore
 Dual-use tehnologija (kemikalije dostupne i civilnoj industriji) Teško detektirati u malim količinama, a vrlo toksični
Ograničenja i kontrola
 Konvencija o kemijskom oružju (CWC, 1997): zabranjuje razvoj, proizvodnju i uporabu
 OPCW: međunarodni nadzor, uništavanje zaliha, inspekcije

169



- 29. travnja 1997.
- Zabrana razvoja, proizvodnje, nabave, zadržavanja, prijenosa zaliha i uporabe kemijskog oružja
- Rokovi za uništenje zaliha
- 193 zemalja- Egipt, Sjevera Korea, Južni Sudan, (Izrael) nisu
- Više od 100 000 spojeva

