



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije



Anorganske tehnologije

izv. prof. dr. sc. Vilko Mandić; doc. dr. sc. Ivana Panžić

vmandic@fkit.unizg.hr; ipanzic@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

- ² ▪ 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 fizici².

2.

- Tehnički plinovi. Sastav zraka. Plinovi koji se dobivaju frakcijskom destilacijom zraka. Plemeniti plinovi, način dobivanja i primjene.
- 7 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.



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.



PREDAVANJA

9.

- Anorganske jake kiseline. Proces dobivanja tehničkih kiselina: sulfatne, nitratne, fosfatne, kloridne i fluoridne. Katalitički procesi koji su temelj dobivanja sulfatne i nitratne kiseline. 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 amonijevog 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 živinim amalgamom

12



PREDAVANJA

11.

- 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.

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

13.

- 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

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

15



DINAMIKA

13 termina

1 uvodno (02.03.2026.)

4 predavanja (09.03., 16.03., 23.03., 30.03., 06.04., 13.04.2026. predavanja)

1. provjera znanja (kolokvij 1 – pitanja) da li to paše? 04.05.2026.

SAMOSTALNI ZADACI -> PREDAVANJA

5 predavanja (20.04., 27.04., 11.05., 18.05., 25.05.2026. predavanja) u ovom razdoblju

2. provjera znanja (kolokvij 2 – pitanja) da li to paše? 01.06.2026.

3(4) vježbe (nakon 1. kolokvija) -> IZLAZNI KOLOKVIJ ZA VJEŽBE u terminu vježbi

održat će se 3/4 vježbe 27.04., 11.05., 18.05.2026.)

2 osobe jedna tema vs 2 osobe 2. tema = koji je sustav okolišniji; u 45 min

MATERIJALI – ISKLJUČIVO PREDAVANJA - NEMA SKRIPTI

¹⁶ ISPITI – ESEJSKI TIP ili PITANJA



PLAN

Cement/veziva 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)

1 Veselčić

2 Dabo

vs

Keramika 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)

3 Milovac

4 Lamza

Metali 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)

5 Skeledžija

6 Radulović Klanac

vs

Soli 1) životni ciklus, 3) ekološki aspekt, 3) razvoj u kontekstu ugljičnog otiska)

7 Ivančić

8 Majcen

Gnojiva 1) tehnologija proizvodnje, 2) ekološki aspekt)

9 Sokolić

10 Lipšinić

vs

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

11 Stankijević

12 Relota

17



PLAN

Ostali plinovi 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) ekološki aspekt)

13 Tomić

14 Smolej

vs

Vodik 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) skladištenje, 4) primjena za energiju)

15 Kulušić

16 Blažek

Baterije 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) primjena, 4) razvoj, 5) recikliranje)

17 Širić

18 Pavković

vs

Solarne ćelije 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) primjena, 4) razvoj, 5) recikliranje)

19 Džajkić

20 Milošević-Mekinjić

Senzori 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje)

21 Belinak

22 Duspara

vs

Fotokatalizatori 1) tehnologija proizvodnje, 2) značaj, 3) izabrane specifičnosti, 4) razvoj, 5) recikliranje)

23 Barešić

24 Celija

18



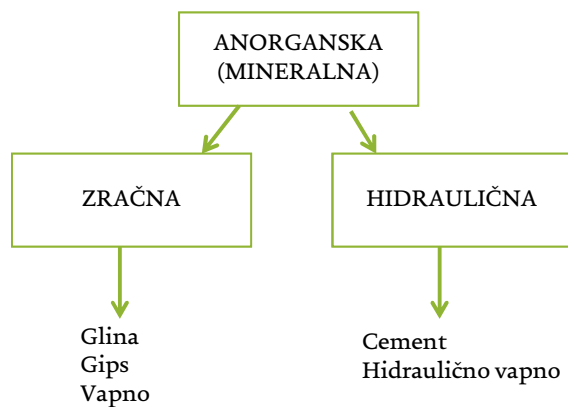
STUDENTI

1.	Luka	Barešić	lbarešic@fkit.hr
2.	Tea	Belinak	tbelinak@fkit.hr
3.	Marta	Blažek	mblazek@fkit.hr
4.	Alen	Celija	acelija@fkit.hr
5.	Jakov	Dabo	jdabo@fkit.hr
6.	Niko	Duspara	nduspara@fkit.hr
7.	Iva	Džajkić	idzajkic@fkit.hr
8.	Jakov	Ivančić	jivancic@fkit.hr
9.	Iva	Kulušić	ikulusic@fkit.hr
10.	Lucija	Lamza	llamza@fkit.hr
11.	Ana	Lipsinić	alipsinic@fkit.hr
12.	Vito	Majcen	vmajcen@fkit.hr
13.	Korina	Milošević Mekinjić	kmilosevi@fkit.hr
14.	Matea	Milovac	mmilovac@fkit.hr
15.	Iva	Pavković	ipavkovic@fkit.hr
16.	Mar	Radulović Klanac	mradulovi@fkit.hr
17.	Stela	Relota	srelota@fkit.hr
18.	Nikolina	Skeledžija	nskeledzi@fkit.hr
19.	Teo	Smolej	tsmolej@fkit.hr
20.	Tara	Sokolić	tsokolic@fkit.hr
21.	Ena	Stankijević	estankije@fkit.hr
22.	Hana	Širić	hsiric@fkit.hr
23.	Luka	Tomić	ltomic@fkit.hr
24.	Anja	Veselić	aveselcic@fkit.hr

19



ANORGANSKA VEZIVA



20



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

21



GLINA

Porculanska glina

- Najčišća glina
- Smjesa minerala kaolina s nešto kremenca, svijetloga tinjca i ostacima neistrošenih glinenaca
- Predmeti od keramike



22

Lončarska glina

- Bijele, sive, žute ili crvenkaste boje
- Dodatak primjesa, manje čistoće od porculanske gline



Opekarska glina

- Crvene boje
- Sadrži malo kaolina
- Služi za izradu opeka i crjepova

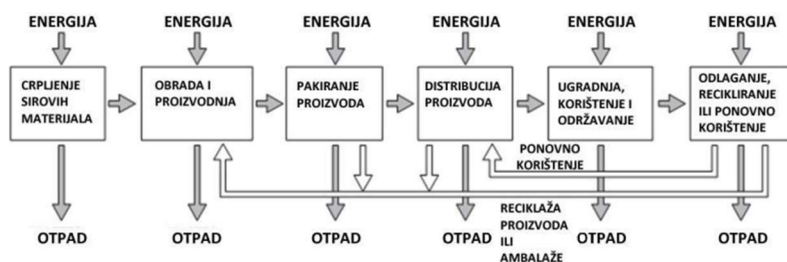




Životni ciklus materijala (općenito)

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



23



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 energetske otisak

24



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 glina (adobe, rammed earth) kao ekološki prihvatljivija opcija
- Cirkularna ekonomija – reciklaža otpadne keramike u nove materijale

25



GIPS

- Vezivo pripremljeno termičkom obradom prirodnog kamena sadrenca ili sadre do temperature dehidracije
- Kalcij-sulfat dihidrat ($CaSO_4 \times 2 H_2O$)
- Bezvodni gips ($CaSO_4$)
- Poluhidrat ($CaSO_4 \times 1/2 H_2O$)
- Poluhidrat se još naziva i građevinski ili štukaturni gips
- Estrih gips je smjesa anhidrida i vapna

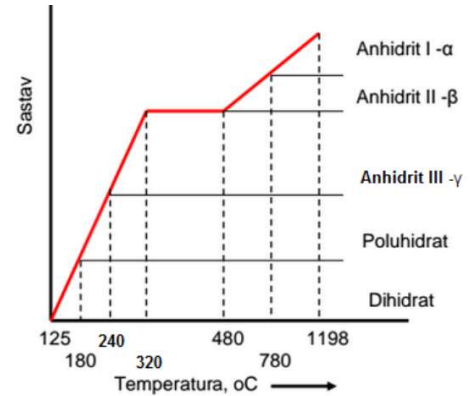


26



GIPS

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



27



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 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)
- 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
- 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

28



GIPS

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

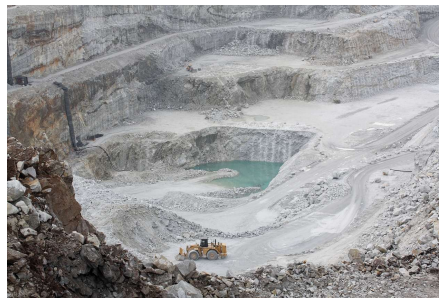
29



HIDRAULIČNO VAPNO

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 (SiO₂), aluminij (Al₂O₃) i željezo (Fe₂O₃)
 - Reagira s vodom i stvrdnjava u prisutnosti vlage
 - Dvije vrste:
 - slabo hidraulično vapno (≤10% silikata)
 - jako hidraulično vapno (>10% silikata)



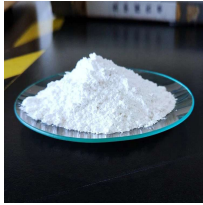
30



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



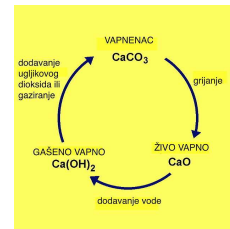
31

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



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

32



VAPNO

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Visoka emisija CO₂ – kalcinacija vapnenca oslobađa značajne količine CO₂
- Održive alternative – razvoj energetski učinkovitijih peći i upotreba biogoriva u proizvodnji
- Ciklus zatvorenog ugljika – karbonatizacija gašenog vapna omogućava djelomično ponovno vezanje CO₂ iz atmosfere
- Zamjena za cement – u nekim primjenama vapno može smanjiti potrebu za visokoemisijским cementom
- **Cirkularna ekonomija** – istraživanja usmjerena na reciklažu građevinskog vapna i smanjenje otpada

33



CEMENT

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



34

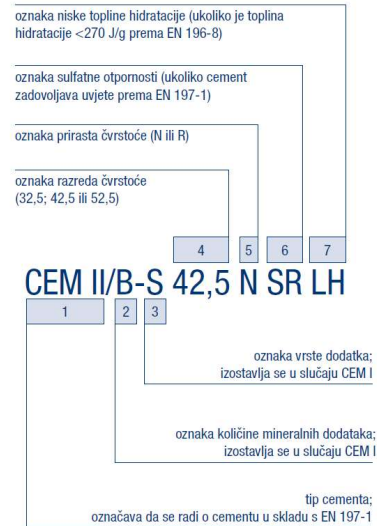


CEMENT

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,....

35



Proizvodnja cementa

Dvije osnovne sirovine su **glina i vapnenac**

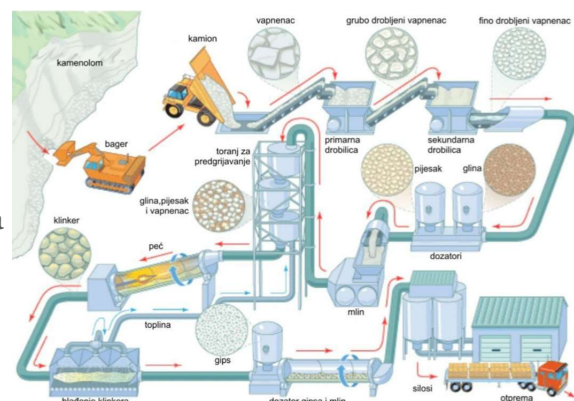
Cementni klinker sadrži CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3

Mljevenje sirovina

Pečenje u rotacijskim ili vertikalnim pećima na $1450\text{ }^\circ\text{C}$

Mljevenje klinkera na dimenzije cementa

Dodavanje gipsa zbog regulacije vremena vezivanja



36



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

37



Minerali u Portland cementu

Osnovne komponente klinkera formiraju četiri glavna minerala

Naziv minerala	Približna kemijska formula	Zapis u obliku oksida ³	Zapis u kemiji cementa ⁴	Udio u portland klinkeru [%]
Alit	Ca_3SiO_5 trikalcijev silikat	$3CaO \times SiO_2$	C_3S	45 - 75
Belit	Ca_2SiO_4 dikalcijev silikat	$2CaO \times SiO_2$	C_2S	7 - 32
Aluminat	$Ca_3Al_2O_6$ trikalcijev aluminat	$3CaO \times Al_2O_3$	C_3A	0 - 13
Ferit	$2(Ca_2AlFeO_5)$ tetrakalcijev alumino-ferit	$4CaO \times Al_2O_3 \times Fe_2O_3$	C_4AF	0 - 18

38



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

39



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 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

40

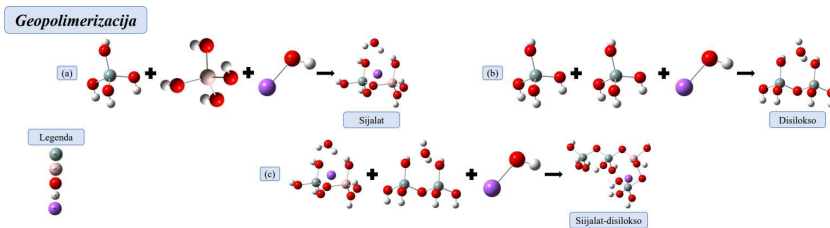


GEOPOLIMERI

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 njegovanja ispod 100 °C - najčešće 40 – 80 °C i
- mala količina vode.

Pojednostavljeni prikaz geopolimerizacije iz osnovnih tetraedarskih gradivnih jedinica [SiO₄] i [AlO₄]- u alkalnom mediju; (a) stvaranje sijalata, (b) stvaranje disiloksoa i (c) stvaranje sijalat-disilokso strukture.



41



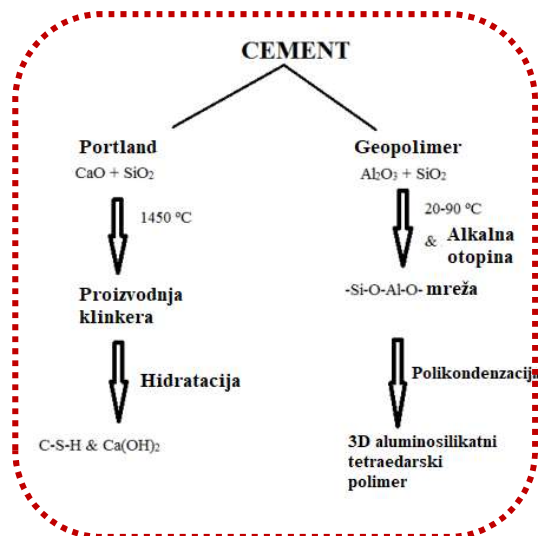
GEOPOLIMERI

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.

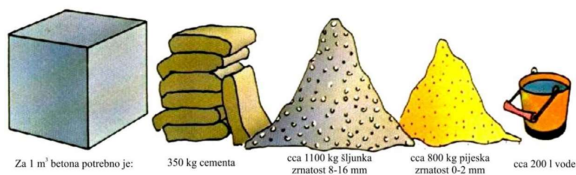
Spomenute razlike posljedično daju značajno različite produkte odnosno konačne kemijske strukture koje određuju funkciju tj. potencijalnu primjenu materijala.



42



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

43



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

44



BETON+ČELIK

Zašto si dobro odgovaraju:

1. Dobra prionjivost dvaju materijala – beton ima veliku prionjivost za čelik i na taj način je omogućeno sprezanje.
2. Jednaki temperaturni koeficijenti oba materijala - pri promjeni temperature kao vanjskom okolišu oni se jednako istežu i skupljaju, tj. kompatibilni su.
3. 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.

45



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



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

46



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 recikliranima

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

„Zarobljavanje” CO_2 u materijalima na bazi cementa poput betona

47



CEMENT

Životni ciklus cementa

- Ekstrakcija sirovina – vapnenac, glina, željezna ruda, pijesak
- Proizvodnja klinkera – kalcinacija na $\sim 1450^\circ C$ → 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, pucolanim za smanjenje utjecaja

48



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

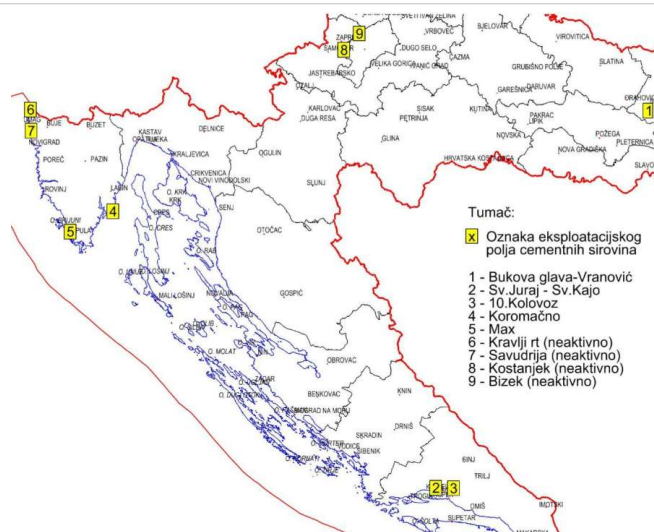
49



Cementna industrija u HR

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

Aluminatne cemente
proizvodi „Calucem”



50



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, vatrostalni 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

51



KERAMIKA

Podjela keramičkih proizvoda



Tehnička svojstva

- GRUBA (>0,1-0,2 mm)
Obična opeka
Drenažne cijevi
Crijevi
Cijevi i posude od kamenine
Vatrostalni materijali
- FINA (<0,1-0,2 mm)
Glazirane i neglazirane pločice
Sanitarije
Porculan
Elektroporculan
Vatrostalno posude



Fizikalna svojstva

- POROZNA (> 2%)
Vatrostalni materijali
Terakota
Majolika
Kamenina
- NEPOROZNA (<2 %)
Kamenina
Meki porculan
Porculan
Sinterirani tehnički proizvodi (oksidna keramika, taljeni mulit, taljeni korund)



Nova keramika

- FUNKCIONALNA
Magnetna
Elektronička
Faroelektrična
Elektrooptička
Piezoelektrična
Piroelektrična
Poluvodiči
Nuklearno gorivo (UO₂)
- INŽENJERSKA
Oksidna (Al₂O₃, ZrO₂, mulit)
Neoksidna (SiC, Si₃N₄, BN, AlN)

52



KERMIKA

Osnovne keramičke sirovine



Plastične sirovine

- Svojstvo plastičnosti - elastičnost prilikom oblikovanja mase
- GLINA
 - Kaolin ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$)
 - Kaolinit
 - Kaolinske gline
 - Montmorilonit



Neplastične sirovine

- Smanjenje plastičnosti mase
- MRŠAVILA
- TOPITELJI
 - Feldspati
 - Kalcijev karbonat
 - Kvarcni pijesak
 - Kremen
 - Šamot

53



KERAMIKA

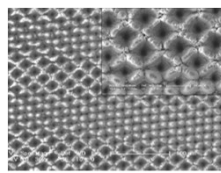
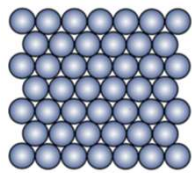
Struktura keramike

- 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 jedinki).

Kada govorimo o mikrostrukturi 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 pripreve.



54



KERAMIKA

Proizvodnja keramike



55



KERAMIKA

Proizvodnja keramike - PEČENJE

- Prije samog pečenja, sirovi proizvod se suši do 1000 °C (prilagođenom 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 tunelskim ili prstenastim pećima)
 - Najznačajnija faza proizvodnje keramike (!) tijekom termičke obrade dolazi do niza procesa (! ne taljenja):
- 1) Pojave na graničnim 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

56



KERAMIKA

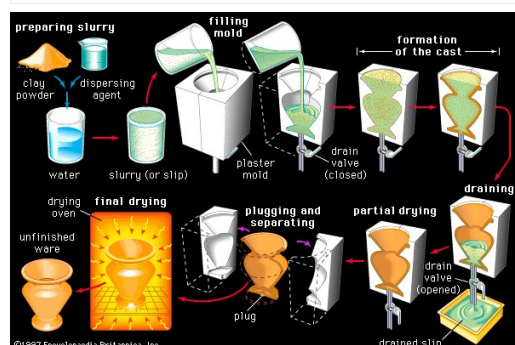
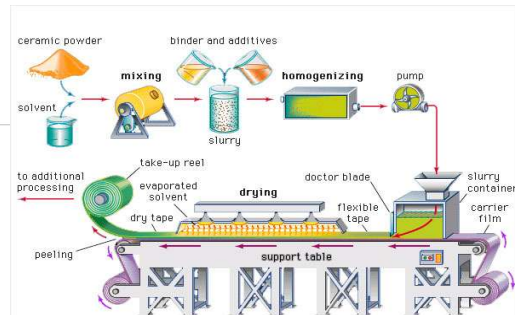
Proizvodnja keramike - PEČENJE

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



57



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

58



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)

59



SILIKATI - UVOD

Silikati su jedna od najvažnijih i najraznovrsnijih skupina anorganskih spojeva.

Osnovna građevna jedinica: $[\text{SiO}_4]$ 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 SiO_2).

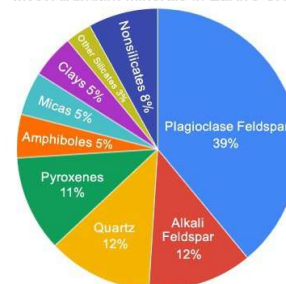
Važan dio tla – utječe na plodnost i ionsku izmjenu.

Široka primjena:

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



Most Abundant Minerals in Earth's Crust

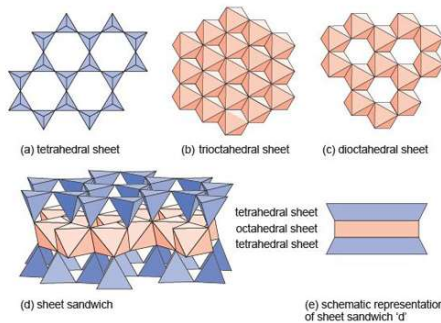


60

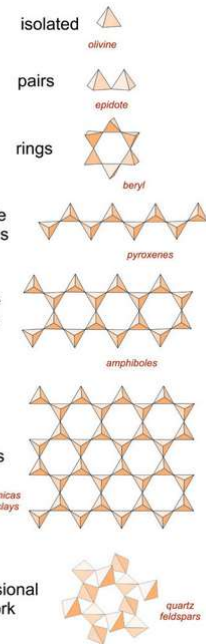


SILIKATI - UVOD

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.



61



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:

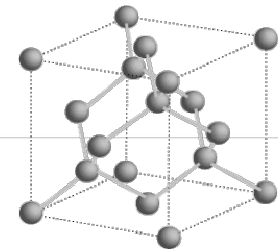
Boja: siva s metalnim sjajem. Talište: 1402°C , vrelište: 3219°C . Tvrdća: 7 (Mohsova ljestvica)

Poluvodičke karakteristike – ključan u mikroelektronici.

Dobivanje silicija

Industrijska proizvodnja: redukcija SiO_2 s ugljikom na $2000+^\circ\text{C}$.

Koristi se za proizvodnju poluvodiča, solarnih ćelija, silicij-karbida (SiC).



62



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.

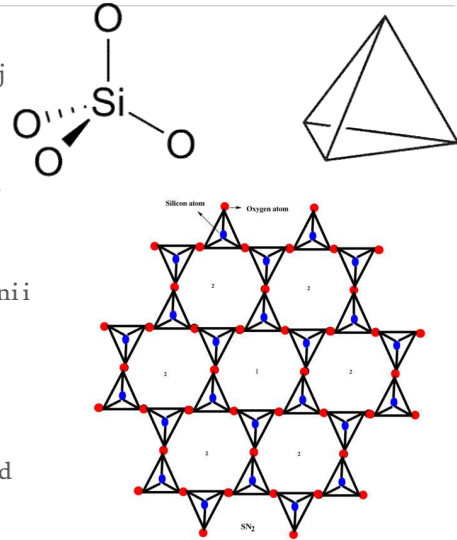
Povezivanje tetraedara

Isolirani 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).



63



SILIKATI - KLASIFIKACIJA

Kemijska 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 građa - iz 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

64



SILIKATI - KLASIFIKACIJA

Strukturna (kristalna) podjela

XRD – uvid u kristalnu strukturu silikata. Definiran je razmještaj atoma, objašnjena dvojnica 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

65



SILIKATI - KLASIFIKACIJA


W. Hinz - nešto šira podjela:

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

66



SILIKATI – KLASIFIKACIJA - OTOČNI

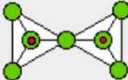
Arrangement of silica tetrahedra	Formula of complex ion	Common minerals
 <p>● Oxygen anion ● Silicon cation</p>	$(\text{SiO}_4)^{4-}$	Olivine Garnet Kyanite Sillimanite Andalusite Staurolite

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

67



SILIKATI – KLASIFIKACIJA - SOROSILIKATI

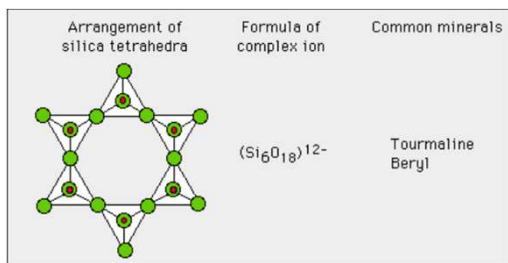
Arrangement of silica tetrahedra	Formula of complex ion	Common minerals
	$(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$	Epidote

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

68



SILIKATI - KLASIFIKACIJA - CIKLOSILIKATI

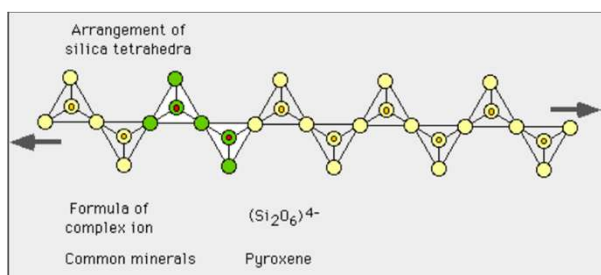


- tetraedri dijele 2 O atoma
- O/Si = 3:1
- Grupa je izolirana
- Dimenzionalnost je i dalje 0

69



SILIKATI - KLASIFIKACIJA - INOSILIKATI

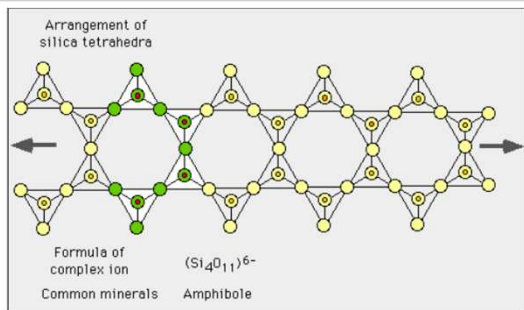


- tetraedri dijele 2 O atoma
- O/Si = 3:1
- Anion je beskonačan u jednoj prostornoj dimenziji
- Dimenzionalnost je 1

70



SILIKATI - KLASIFIKACIJA - INOSILIKATI

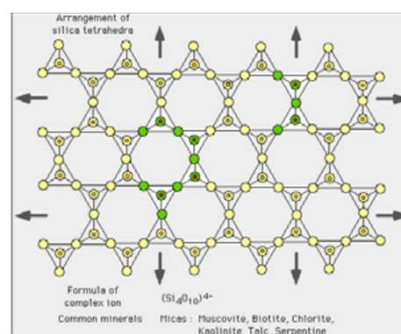


- tetraedri dijele 2-3 O atoma
- O/Si = 11:4
- Anion je beskonačan u jednoj prostornoj dimenziji
- Dimenzionalnost je 1

71



SILIKATI - KLASIFIKACIJA - FILOSILIKATI



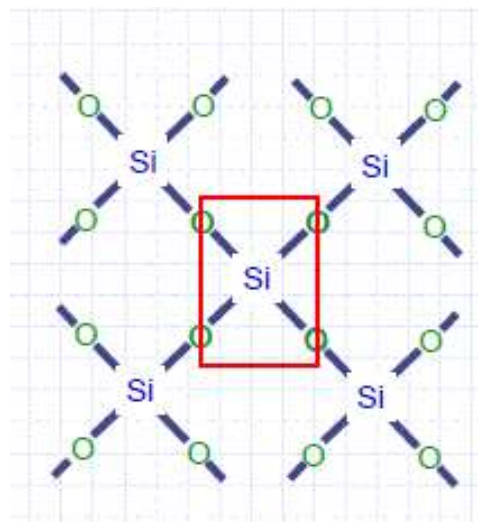
- Tetraedri dijele 3 O atoma
- O/Si = 5:2
- Anion je beskonačan u dvije prostorne dimenzije
- Dimenzionalnost je 2

72



SILIKATI – KLASIFIKACIJA - TEKOSILIKATI

- tetraedri dijele sva 4 O atoma
- O/Si = 2:1 (SiO_2)
- Anion je beskonačan u tri prostorne dimenzije
- Dimenzionalnost je 3



73



SILIKATI – ŽIVOTNI CIKLUS

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.

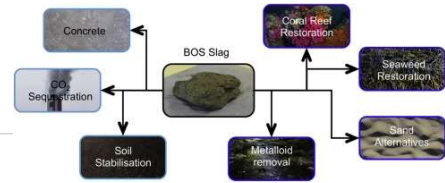
Ekološki aspekt silikata

- Visoka potrošnja energije za sinteriranje i toplinsku obradu.
- Emisije CO_2 iz cementne i keramičke industrije.
- Eksploatacija sirovina → degradacija tla i krajolika.
- Ograničena reciklaža – neki silikati se teško ponovo koriste zbog složene strukture.

74



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.



75



PIGMENTI

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.



76



PIGMENTI

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 (ftalocijanini, 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.

77

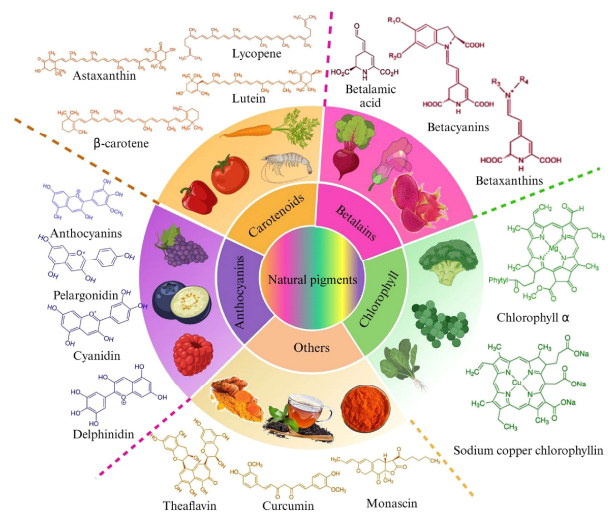


PIGMENTI

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.



78



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.

79



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.

80



DISKUSIJA

81



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.



82



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.



S3



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)

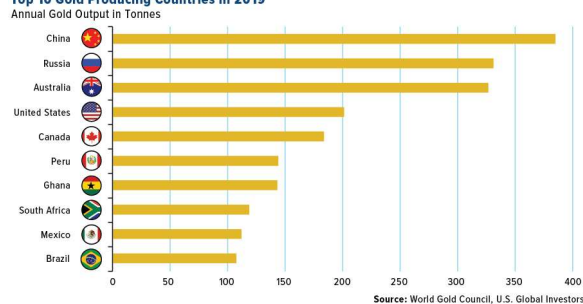
Elektronika (kontakti, poluvodiči)

Medicina (zubne legure, dijagnostički alati)

Svemirska industrija (zaštita od zračenja).



Top 10 Gold Producing Countries in 2019



S4



PLEMENITI METALI - Ag

Proizvodnja

Nusprodukt rudarenja olova, cinka i bakra.

Elektrolitičko pročišćavanje.

Kemijska redukcija srebrnih spojeva.

Cijena: ~ 25-30 USD/unca.

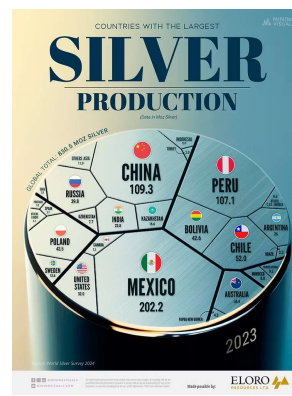
Upotreba

Elektronika (najosjetljiviji vodič)

Medicinski uređaji (antibakterijska svojstva)

Fotografija (srebrni halidi u filmu)

Solarni paneli.



85



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.



Mining Supply 2018



86



PLEMENITI METALI - Pd

Proizvodnja

Nusprodukt ekstrakcije nikla i platine

Glavni proizvođači: Rusija, Južna Afrika, Kanada

Pročišćavanje taljenjem i kemijskom separacijom

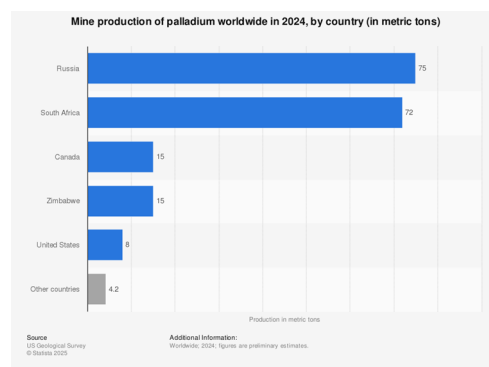
Cijena: ~ 1.200-1.500 USD/unca

Upotreba

Autoindustrija (katalizatori smanjenja emisija)

Elektronika (spojnice i kontakti)

Dentalni materijali.



87



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 žive: visoko toksični procesi

Recikliranje: smanjuje otpad i emisije CO₂.



88



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).
- Elektrolitičko 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).

89



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 (Pt, Pd, Rh) – pomažu smanjiti emisije vozila, ali njihova proizvodnja emitira CO₂.

90



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 tone aluminija može se uštedjeti 4 tone 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 tone papira štedi 17 stabala i 26.000 litara vode.
- **Kružna ekonomija** - Umjesto modela "uzmi – iskoristi – baci", recikliranje omogućava ponovno korištenje materijala i produljuje njihov životni vijek. Ovo je ključno za resurse poput rijetkih zemnih metala koji se koriste u elektronici i baterijama.

91



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.

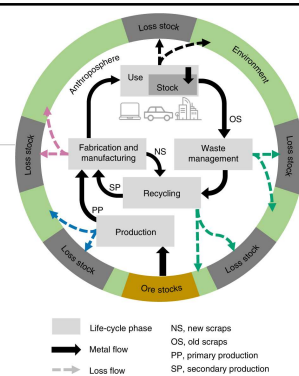
Recikliranjem se smanjuje potreba za ovim energetski intenzivnim procesima.

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 tone papira uštedi se oko 1,4 tone CO₂. Recikliranjem 1 tone plastike uštedi se 2,5 tone CO₂. Recikliranjem 1 automobilske baterije može se smanjiti emisija za do 1,5 tone 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.

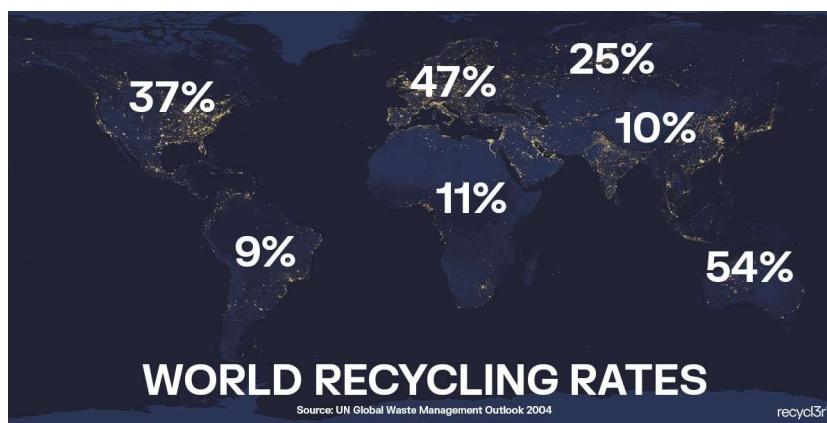




RECIKLIRANJE

Trenutni postotci recikliranja po vrstama materijala

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



93



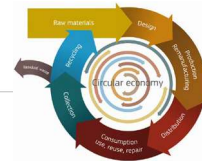
RECIKLIRANJE - Ekološki aspekti recikliranja

- 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. Magnetna i elektrostarna 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.

94



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.

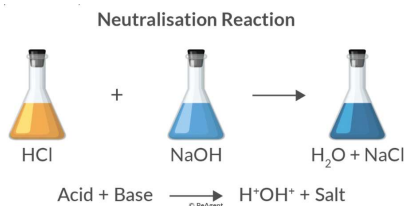
Recikliranje treba postati ključni dio gospodarstva umjesto trenutnog modela "uzmi – iskoristi – baci".

95



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



96



SOLI - Svojstva

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



97



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)

98



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 : $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CuCO}_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$



99



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



100



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

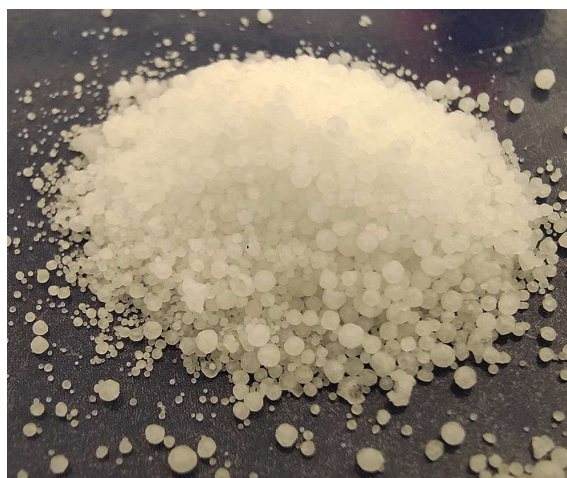


101



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



102



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)



103



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



104



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



105



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



106



SOLI

Životni ciklus soli

- Proizvodnja i prikupljanje soli iz prirodnih solarnih isparavanja
- Najstariji način prikupljanja soli
- Izrazito energetske 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

107



SOLI

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

- Razvoj soli u kontekstu ugljičnog otiska obuhvaća napore usmjerene na smanjenje emisija ugljičnog dioksida (CO₂) 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

108



SOLI – Tehnologija rastljene 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

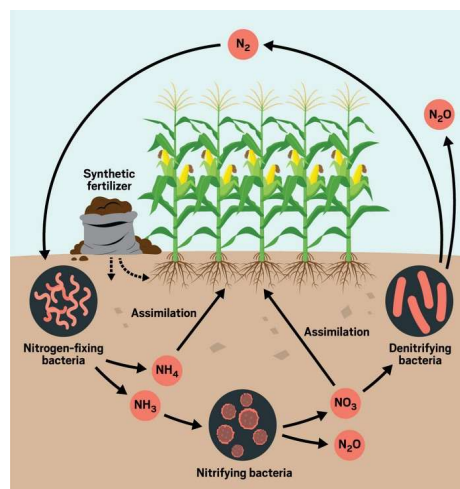


109



GNOJIVA

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



110



GNOJIVA

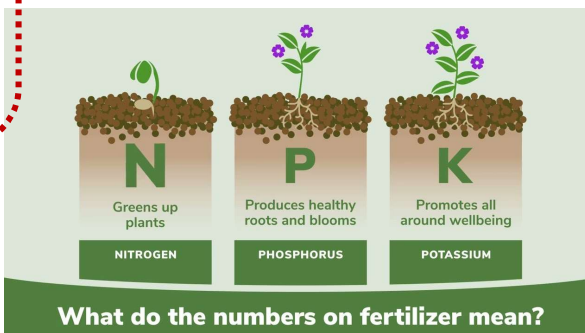


111



GNOJIVA – Anorganska gnojiva

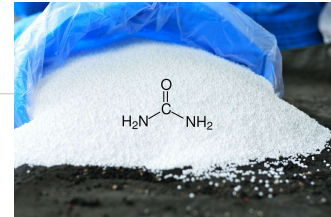
- Dušična - srednje faze životnog ciklusa biljke - amonijev nitrat
- Fosforna - jačanje korijena i stabljike - superfosfat
- Kalijeva - fotosinteza - KCl
- NPK – određeni tip tla



112

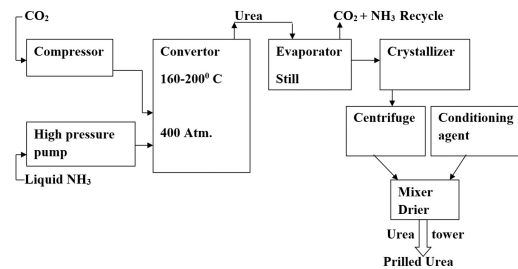


GNOJIVA – Anorganska gnojiva - Urea



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

(3) Urea:



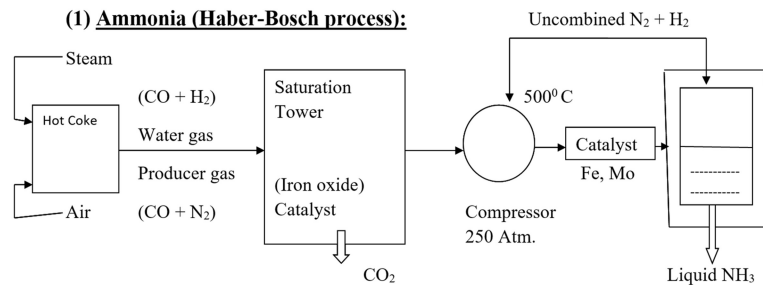
113



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):



114



GNOJIVA – Alternativne upotrebe

1. Industrijska primjena

Proizvodnja eksploziva (rudarska, građevinska industrija)
Oksidacijska sredstva u kemijskoj industriji
Proizvodnja stakla i keramike (poboljšanje svojstava)

2. Energetika i pirotehnika

Sastavni dio goriva i oksidansa
Primjena u pirotehnici (vatrometi, signalne rakete)

3. Prehrambena industrija

Konzervansi (npr. natrijev nitrat u mesnim proizvodima)
Sprječavanje razvoja bakterija

4. Medicinska i laboratorijska uporaba

Reagensi u analitičkoj kemiji
Primjena u farmaceutskoj industriji (ograničeno)

5. Sigurnosni i ekološki aspekti

Rizik zloupotrebe (eksplozivi)
Utjecaj na okoliš (eutrofikacija voda)
Regulacija i kontrola distribucije

115



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 300× 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.

116



GNOJIVA

Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska

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

Organsko-mineralna gnojiva

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

Moguće strategije smanjenja CO₂ otiska

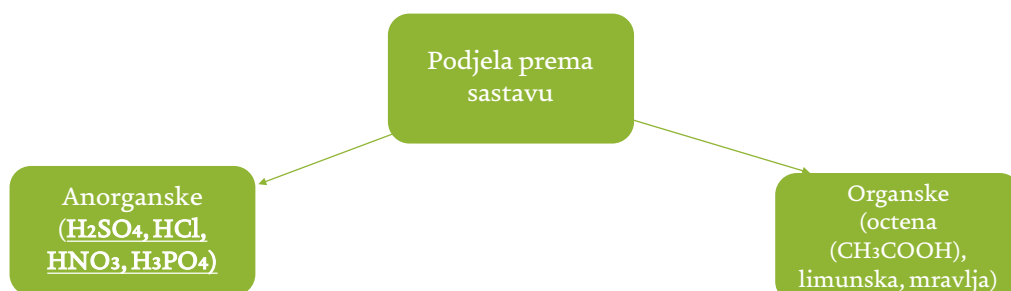
- Primjena precizne poljoprivrede za optimalno doziranje
- Korištenje inhibitora nitrifikacije za smanjenje N₂O emisija
- Razvoj bio-gnojiva s mikroorganizmima koji fiksiraju dušik.

117



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.



118



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:

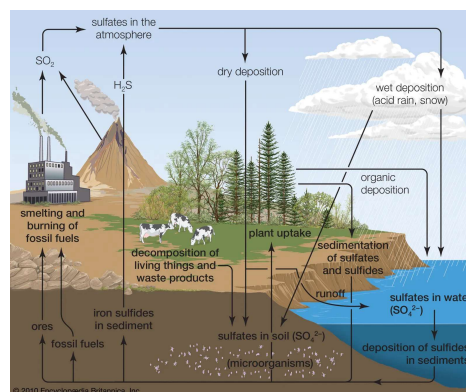
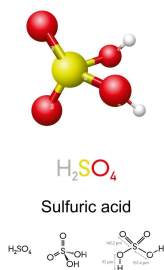
- Octena kiselina (CH_3COOH) – prehrana (ocat), kemijska industrija.
- Limunska kiselina ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) – prehrambeni aditiv, konzervans.
- Mravlja kiselina (HCOOH) – industrijska upotreba, konzervacija hrane.

119



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.

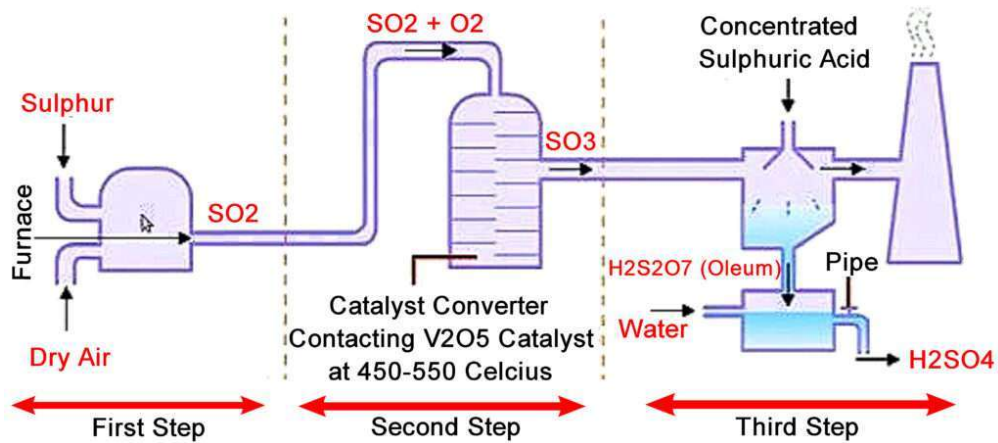


120



KISELINE – Sumporna kiselina industrijska proizvodnja

Sulphuric Acid Manufacturing Process

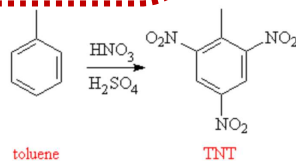
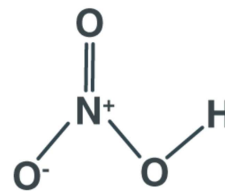


121



KISELINE – Dušična kiselina HNO_3

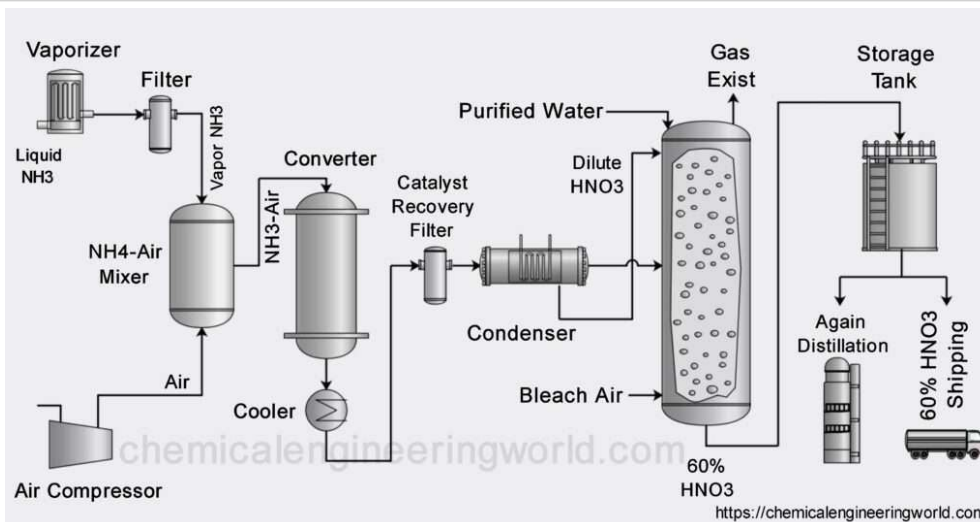
- Ključna za poljoprivredu i eksplozive
- Glavna komponenta u proizvodnji gnojiva (amonijev nitrat)
- Koristi se u izradi eksploziva (TNT, nitroglicerina)
- Vrlo reaktivna – uzrokuje žute mrlje na koži zbog nitiranja proteina.



122



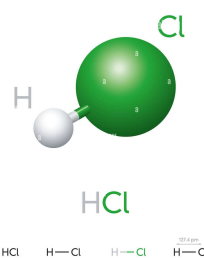
KISELINE – Dušična kiselina industrijska proizvodnja



123



KISELINE – Klorovodična kiselina HCl



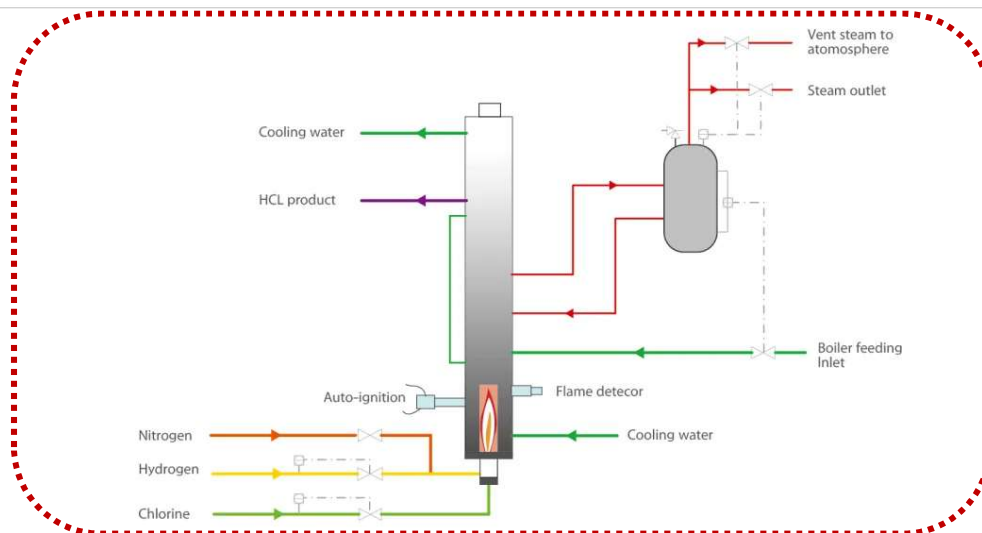
- Neizostavna u kemijskoj industriji
- Sastavni dio želučane kiseline u probavnom sustavu
- Koristi se za čišćenje metala i pH regulaciju
- Vrlo korozivna – može izazvati teške opekline.



124



KISELINE – Klorovodična kiselina industrijska proizvodnja

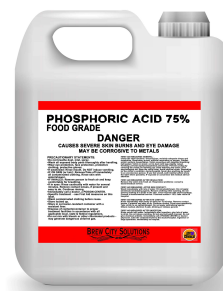
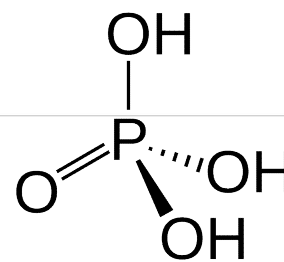


125



KISELINE – Fosforna kiselina H_3PO_4

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



126



KISELINE

Životni ciklus - faze životnog ciklusa:

Sirovine – ekstrakcija sumpora, fosfata, dušika.

Proizvodnja – energetske 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 $\text{NO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ 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.

129



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 $\text{HNO}_3 \rightarrow$ 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.

130



LUŽINE

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

LUŽINE

kiselu otopinu neutralno lužnato (bazno)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

jako kiselo neutralno jako lužnato

- LUŽINE** su tvari koje u vodi stvaraju OH^- ione i imaju $\text{pH} > 7$.
- NATRIJEVA LUŽINA (NaOH)** je jaka lužina, dobro topljiva u vodi i snažno korozivna.
- PROIZVODNJA NaOH** najčešće se provodi elektrolizom solne otopine (proces klor-alkali).
- EKOLOŠKI ASPEKT** važna je odgovorna uporaba i pravilan tretman otpadnih otopina.
- PRIMJENA LUŽINA** u industriji (sapun i deterdženi, papir, tekstil), čišćenju, obradi vode i sl.

Na^+ OH^-

$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

$\text{Na}-\text{O}-\text{H}$
(NaOH)

KOROZIVNO

131



LUŽINE

Kemijske tvari koje povećavaju pH vrijednost otopine

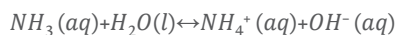
Baze, reagiraju s kiselinama i neutraliziraju ih

Arrhenius: baza- spoj koji povećava koncentraciju OH^- iona

Jake: NaOH, KOH, potpuna disocijacija u vodi



Slabe: NH_3 , djelomična disocijacija u vodi



Dobivanje:

Otapanje hidroksida u vodi

Elektroliza vodene otopine soli



132



LUŽINE

Zašto NaOH a ne KOH?

- Natrijeva lužina je najčešća lužina koja se koristi u industriji i svakodnevnom životu
- Kemijski najbližiji 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

133



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

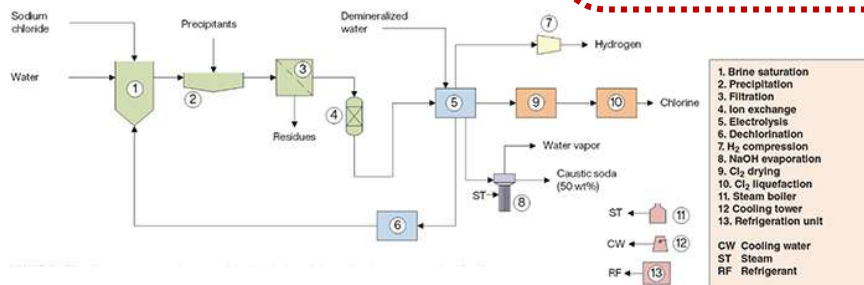
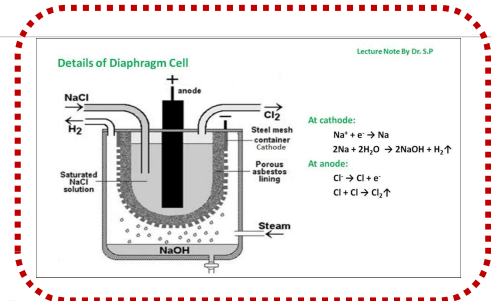


134



LUŽINE – Industrijska proizvodnja NaOH

1. Pročišćavanje slane otopine
2. Elektroliza
3. Oporavak proizvoda

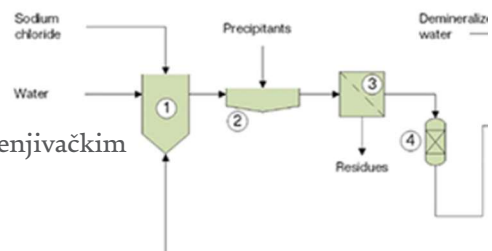


135



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 uklanjaju
- Pročišćena otopina se filtrira te pročišćava ionskim izmjenjivačkim smolama

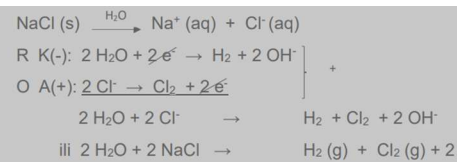
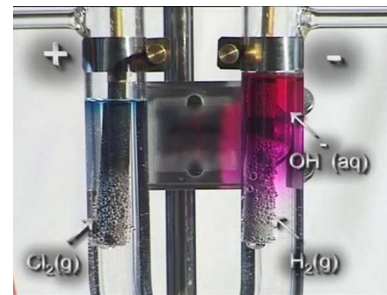


136



LUŽINE NaOH; 2. Elektroliza

- 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



137



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:
 $2\text{Na(inHg)} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}^+ + 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \text{(g)} + \text{Hg(l)}$. 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.

138



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 glicerin
- 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
- Metalurgija
- 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

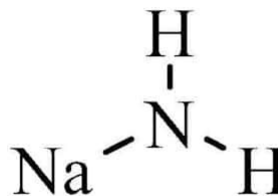


139



LUŽINE – Natrijev amid

- Snažna baza
- $2Na + 2NH_3 \rightarrow 2NaNH_2 + H_2$
- Deprotonirajuće sredstvo
- U organskoj kemiji
- Deprotonacija slabih kiselina, alkina, alkohola, estera, ketona
- Dehidrohalogenaciju
- Formiranje C-H veza
- U čvrsto zatvorenom spremniku, suho okruženje



140



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

141



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

142



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 nekakav učinak



143

"THE DOSE MAKES THE POISON"

APPLE SEEDS PEARS POTATOES COURGETTES



CONTAIN AMYGDALIN

~0.5g/kg of seeds

CONTAIN FORMALDEHYDE

~0.06g/kg

CONTAIN SOLANIN

~0.2g/kg

(higher in green potatoes)

CONTAIN CUCURBITACIN E

Variable

(higher in bitter courgettes)

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.



© COMPOUND INTEREST 2014 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM
MADE ON BEHALF OF SENSE ABOUT SCIENCE (SENSEABOUTSCIENCE.ORG)



OTROVI

1. Uzrok - otrov

Subjekt-otrovani

Efekt oštećenje stanice

Posljedica-simptomi ili smrt

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



144



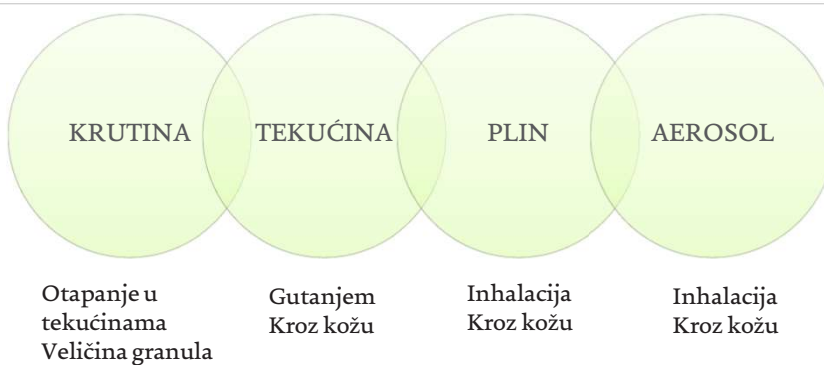
OTROVI – Podjela prema porijeklu



145



OTROVI – Podjela prema stanju



146



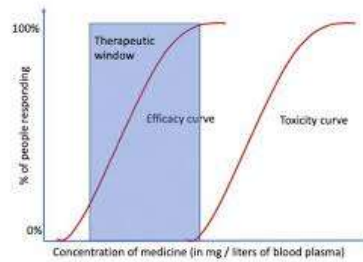
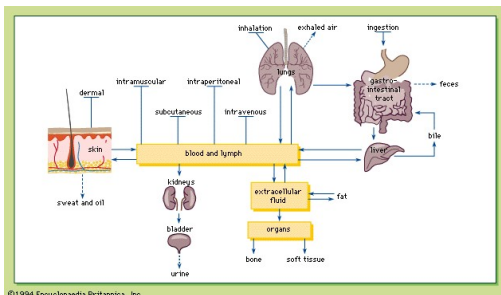
OTROVI – U organizmu



147



OTROVI – Doza i izloženost



148

© 1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.



OTROVI - Toksičnost

ONESPOSOBLJAVAJUĆA DOZA (ID50) je količina otrova (mg/m^3) 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 (LCt50) je koncentracija otrova (mg/m^3 zraka) koja izaziva smrt za 50% izložene populacije u trajanju od jedne minute. Srednja onesposobljavajuća doza pare ili aerosola (ICt50, $\text{mg min}/\text{m}^3$) predstavlja količinu inhalirane pare, koja je dovoljna da onesposobi 50 posto eksponirane nezaštićene populacije

149



OTROVI - Bojni otrovi

- Toksične kemikalije stvorene s ciljem da usmrte, rane ili nanesu dugoročne posljedice pojedincu
- Perzija- 256 pr.n.e.- SO_2
- Francusko-Nizozemski rat-16.st-beladona alkaloidi- Prvi internacionalni sporazum protiv uporabe „perfidnog i morskog” oružja
- Klasifikacija- Oružje masovnog uništenja
- Prvi svjetski rat- prva uporaba modernih bojnih otrova



150



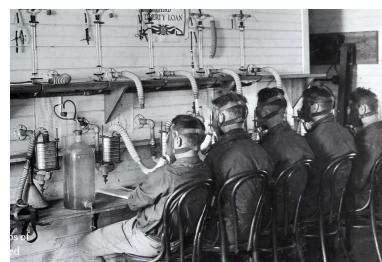
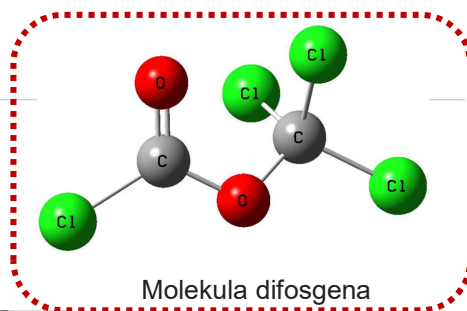
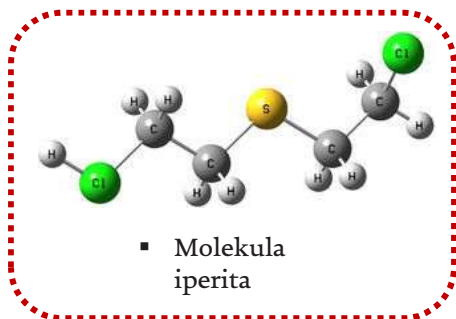
OTROVI – Bojni otrovi

1. 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)
2. Plinovi (vezikanti). Primjeri: Iperit (sumporni iperit), Lewisit. Djelovanje: Uzrokuju mjehure na koži i sluznicama, oštećenje očiju i pluća. Prvi put korišten: I. svjetski rat
3. Gušljivci (zagušljivi plinovi). Primjeri: Klor, Fosgen, Difenilklorarsin. Djelovanje: Nadražuju dišni sustav, izazivaju gušenje i edem pluća. Napomena: Fosgen – najsmrtonosniji plin I. svjetskog rata
4. Suzeći plinovi (iritansi). Primjeri: CS, CN (Mace), CR. Djelovanje: Suzenje očiju, kihanje, privremeno onesposobljavanje. Korištenje: Kontrola mase, ali se smatra kemijskim oružjem u ratnim okolnostima
5. Ometajući agensi. Primjeri: BZ (3-kinuklidil benzilat). Djelovanje: Halucinacije, dezorijentacija, konfuzija. Karakteristika: Psihotropno djelovanje, dugotrajno onesposobljavanje

151



OTROVI – Fosgen u I. svjetskom ratu



152



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)

153



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

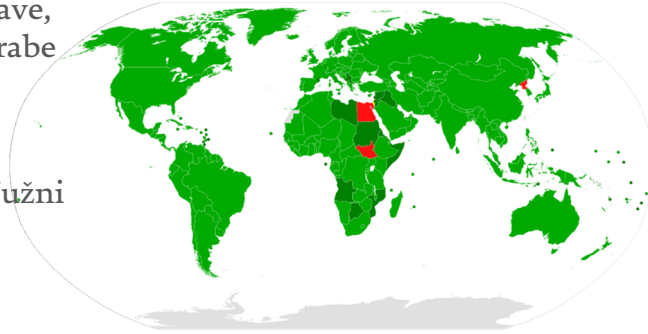
OPCW: međunarodni nadzor, uništavanje zaliha, inspekcije

154



OTROVI – Konvencija o kemijskom oružju

- 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



155



1. KOLOKVIJ

4. svibnja 2026.

156