

 **VODIK – Osnovna svojstva**

- Najlakši i najjednostavniji element u svemiru
- Neotrovan plin bez boje, mirisa i okusa
- Slabo je topljiv u polarnim, a dobro u nepolarnim otapalima
- Nije previše reaktivan, no pri višim temperaturama ulazi u niz reakcija
- Vodik stvara kemijske veze s najviše elemenata



Oblučni atom vodika (H)



Aktivni (radioaktivni) atom vodika (H-1)

Slika: KriFSMMSIK



1

  **VODIK – Osnovna svojstva**

- Čini 75% vidljive mase svemira
- Industrijski se najviše dobiva iz zemnog plina, a rjeđe elektrolizom vode
- Najviše se koristi u proizvodnji fosilnih goriva i za dobivanje amonijaka



2

  **VODIK – Povijesni razvoj**

- Prvi proizveo Paracelsus u 16.st reakcijom metala i jake kiseline
- definirao ga je Britanac Henry Cavendish 1766. ("zapaljivim zrakom...")
- Antoine Lavoisier ga 1783. g naziva hydrogene ("onaj koji stvara vodu"); hrvatski naziv uveo je Bogoslov Šulek
- Tekući vodik je dobio prvi put 1898. James Dewar
- Deuterij je dobio 1931. Harold Urey
- 1934. Ernest Rutherford i njegov tim su proizveli tricij





3

  **VODIK - Rasprostranjenost**

- Na Zemlji vrlo rasprostranjen, ali u malim količinama; prisutan je u atmosferi, zemnom plinu, vulkanskim plinovima, itd.
- U obliku spojeva prisutan je u velikim količinama (voda)
- Čini 75% mase svemira (ishodišna tvar iz koje su nuklearnom fuzijom nastali ostali elementi)
- Na Zemlji, vodik se uglavnom nalazi kao plinovita molekula H₂



4

VODIK - Proizvodnja

- Danas se u svijetu proizvodi oko 120 milijuna tona vodika godišnje
- Dvije trećine čini čisti vodik, a ostalu trećinu čini mješavina s drugim plinovima
- Porast potražnje za vodikom kao rezultat strože zakonske regulative u zaštiti okoliša

Potrošnja vodika u svijetu od 1980

5

VODIK - Tehnologija proizvodnje

- Laboratorijsko dobivanje vodika
- Industrijsko dobivanje vodika
- Termokemijski procesi
- Anaerobna korozija
- Geološko stvaranje - serpentacija

6

VODIK - Laboratorijsko dobivanje

- Reakcijom cinka i klorovodične kiseline:

$$\text{Zn(s)} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2(\text{g})$$
- Reakcijom vode i čvrstog hidrida (najčešće CaH_2):

$$2 \text{H}_2\text{O} + \text{CaH}_2(\text{s}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$$
- reakcijom metala s lužinama:

$$2 \text{Al(s)} + 6 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{OH}^- \rightarrow 2 \text{Al(OH)}_4^- + 3 \text{H}_2(\text{g})$$

7

VODIK - Industrijsko dobivanje

- Pirolizom (krekanjem) ugljikovodika (pr. etana): $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
- Redukcijom vodene pare ugljikom (ugljenom): $\text{C(s)} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO(g)} + \text{H}_2(\text{g})$
- Reakcijom metana s vodenom parom: $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO(g)} + 3 \text{H}_2(\text{g})$
- Elektrolizom vode

8

VODIK - Industrijsko dobivanje

SIVI VODIK
CO₂
se ispušta u atmosferu

PLAVI VODIK
CO₂
se pohranjuje pod zemljom

ZELENI VODIK
CO₂
se ne ispušta u atmosferu

PRIRODNI PLIN → VODIK

PRIRODNI PLIN → VODIK

ZELENA ENERGIJA I VODA → VODIK

Proizvodnja vodika prema izvoru

Oxidizirani ugljikov dioksid

Proizvodnja u fosilnim gorivima

● Oxidizirani ugljikov dioksid
● Proizvodnja
● Nafta
● Raspadanje ugljena

9

VODIK - Sivi vodik

SIVI VODIK
CO₂
se ispušta u atmosferu

PRIRODNI PLIN → VODIK

- Proizvodi se iz prirodnog plina (metan) kroz proces poznat kao parcijalna oksidacija ili parna reformacija
- Emitira značajnu količinu CO₂, što ga čini manje ekološki prihvatljivim
- Ovaj proces je trenutno najčešći i ekonomski najisplativiji način proizvodnje vodika

10

VODIK - Parnareformacija

- Proces u kojem se koristi visokotemperaturna para za reakciju s metanom (lake sirovine) pod tlakom između 3 i 25 bara u prisutnosti katalizatora
- Nastaje sintetski plin koji predstavlja mješavinu vodika, ugljikovog monoksida i manje količine ugljikovog dioksida
- Zatim u reakciji dodatno reagiraju ugljikov monoksid i vodena para (uz prisutnost katalizatora) kako bi se proizveo ugljikov dioksid i dodatna količina vodika (WGSR)
- uklanjanje preostalog ugljikovog dioksida i drugih nečistoća iz struje plina

Prilog redjacijske eskije primarnog i sekundarni reformer
1-ulazna struja, 2-plamennici, 3-cijevi, 4-zlatazna struja, 5-izlaz za zrak, 6-katalitički blok, 7-izlaz vodika

Maksimalna temperatura i tlak (P&ID) uključujući je reaktor, 3. i 4. reaktor, 5. reaktor i reaktor (Oxidizirani ugljikov dioksid)

U suvremenim kombinacijama, ugljikov dioksid se emitira kompletno (P&ID) od 3.

11

VODIK - Plavi vodik

PLAVI VODIK
CO₂
se pohranjuje pod zemljom

PRIRODNI PLIN → VODIK

- Također se proizvodi iz prirodnog plina, ali koristi se tehnologija za prikupljanje i skladištenje ugljikovog dioksida (CCS) kako bi se smanjile emisije CO₂
- Ideja je smanjiti ekološki otisak proizvodnje vodika, čineći je manje štetnom po okoliš

Point source capture and storage

Capture and storage at CO₂ terminal

12

VODIK - Zeleni vodik

ZELENI VODIK
CO₂
se ne ispušta u atmosferu

- Proizvodi se elektrolizom vode pomoću obnovljive energije (npr. solarna ili vjetropark energija)
- Smatra se najčišćim oblikom vodika
- Oslanja se na obnovljive izvore energije, što znači da može doprinijeti smanjenju ukupnih emisija stakleničkih plinova

13

13

VODIK - Potrošnja vodika

- Većina vodika se proizvodi i koristi u industriji na mjestu proizvodnje
- Dvije trećine potrošnje vodika čine proizvodnja amonijaka i primjena u naftnim rafinerijama
- intenzivna primjena u industriji željeza i čelika te za hidrogenaciju masti, proizvodnju stakla, pogonsko gorivo i hlađenje generatora
- Gorivi članci
- Transport i elektrogoriva

14

14

VODIK - Sirovina u rafinerijama

- Hidrodesulfurizacija
- Hidroizomerizacija
- Dearomatizacija
- Hidroreiranje

15

15

VODIK - Sirovina u rafinerijama

- Hidrodesulfurizacija:
 - Katalitički kemijski proces za uklanjanje sumpora iz prirodnog plina i naftnih produkata kao što su benzin, dizel, avionsko gorivo i loživa ulja
 - Stvaranje sumporovodika, koji se koristi u Clausovom procesu ili za dobivanje sumporne kiseline; smanjenje emisija sumporovog dioksida u atmosferu

1 - reaktor, 2 - prečišćivač, 3 - reaktor za topljenje, 4 - reaktor za odvajanje, 5 - reaktor za odvajanje, 6 - reaktor za topljenje

16

16



VODIK - Sirovina u rafinerijama

Hidroizomerizacija:

– ravnolančani parafini prevode se u izo-parafine kako bi se poboljšala svojstva proizvoda (oktanski broj)

Dearomatizacija:

– aromati se hidrogenacijom prevode u cikloparafine ili alkene

Hidrokrekiranje:

– dugolančani ugljikovodici se krekiraju (cijepaju) u kraće ugljikovodike koji se nalaze u području benzinske / dizelske frakcije

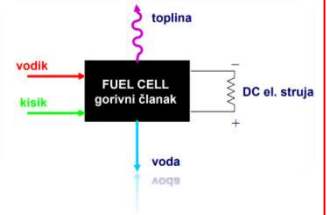
17

17



VODIK - Gorivi članci

- Elektrokemijski članak u kojemu se odvija elektrokemijsko izgaranje vodika (iz spremnika) i kisika (iz zraka ili iz spremnika) pri čemu je glavni produkt električna energija, a jedini nusprodukti su toplina i voda
- PEMFC, AFC, DMFC, PAFC
- Gorivni članak je poput baterije ali s konstantnim dotokom goriva i oksidanta



18

18



VODIK - Gorivi članci

- Električna vozila pogonjena gorivnim člankom
- dekarbonizacija ključnih segmenata transportnoga sektora, uglavnom teški cestovni prijevoz na velike udaljenosti, te sektora brodogradnje i zrakoplovstva
- Svemirski program i podmornice



19

19



VODIK - Gorivi članci

- Tekuća goriva proizvedena iz obnovljive energije imaju mogućnost zamijeniti fosilna goriva bez potrebe za promjenom tehnologije konačnih oblika trošila
- e-dizel ili e-kerozin
- određenoj mjeri mogu miješati s postojećim gorivima u motorima s unutarnjim izgaranjem



20

20

VODIK - Hidrogenska bomba

- **Termonuklearna bomba**
- Nastaje fuzija, spajanje lakih atomskih jezgara vodika i njegovih izotopa te litija
- Više od tisuću puta jača od atomske bombe (Car bomba, 50 Mt TNT-a)


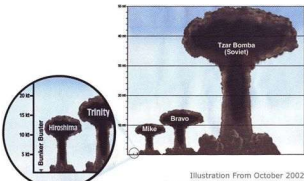
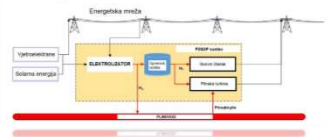



Illustration From October 2002 Issue of "Popular Mechanics" (pg. 69)

21

VODIK - Skladištenje vodika

- Problem skladištenja
- Podzemne geološke formacije (skladišta):
 - čistog vodika (solne kaverne)
 - vodika u smjesi plinova
 - vodika za proces metanacije
- Mogućnost integracije vodika u energetske sustave:
 - P2G2P sustavi (engl. Power-to-Gas-to-Power)
 - Potencijalnim načinom skladištenja obnovljive energije
 - Električna energija se pretvara u plinovito gorivo, odnosno vodik, koji se zatim pohranjuje ili transportira za proizvodnju električne energije



22

VODIK - Kružni razvoj, ekološki aspekt

- **Ekološki aspekt**
 - Proizvodnja vodika iz obnovljivih izvora (zelena energija)
 - Iskorištavanje nusprodukata industrijskih procesa za proizvodnju vodika
 - Recikliranje vode u elektrolizi - zatvoreni ciklus
 - Integracija vodika u energetske sustave s niskim otpadom
- **Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska**
 - Zelena proizvodnja vodika značajno smanjuje ukupni CO₂ otisak
 - Zamjena fosilnih goriva vodikom u industriji, transportu i energetici
 - Podrška postizanju ciljeva ugljične neutralnosti (Net Zero)
 - Uloga vodika u hibridnim sustavima (vodik + obnovljivi izvori) za smanjenje emisija

23

TEHNIČKI PLINOVI - Što su i za što se koriste?



- Medicinske svrhe
- Zavarivanje
- Plinovi za rashladne uređaje
- Zračni baloni
- Pročišćavanje vode
- Zaštitni plinovi
- ...

24

TEHNIČKI PLINOV I PLE MENITI PLINOV I

Komponenta zraka (kemijska formula)	Volumni udio u zraku / %	Vrelište / K (°C)	Molekulska masa / g mol ⁻¹
dušik (N ₂)	78,08	77,4 (-195,8)	28,02
kisik (O ₂)	20,95	90,2 (-183)	32,00
argon (Ar)	0,93	84,2 (-186)	39,94
ugjikov dioksid (CO ₂)	0,040	194,7 (-78,5)	44,01
neon (Ne)	0,0018	27,2 (-246)	20,18
helij (He)	0,0005	4,2 (-269)	4,00
kripton (Kr)	0,0001	119,8 (-153,4)	83,8
vodik (H ₂)	0,00005	20,3 (-252,9)	20,02
kseron (Xe)	8,7 · 10 ⁻⁶	165,1 (-108,1)	131,29

1. Separacija zraka

Kriogena separacija zraka Nekriogeni procesi

2. Reformiranje fosilnih goriva

25

TEHNIČKI PLINOV I PLE MENITI PLINOV I - Nekriogena separacija zraka

- 1. Adsorpcija
 - zeoliti- razlike u strukturi električnog polja unutar praznog prostora- adsorpcija N₂
 - regeneracija- zagrijavanje ili smanjenje tlaka u sloju
- 2. Membranski sustavi
 - temelji se na razlici kojima O₂ i N₂ difundiraju kroz polimernu ili keramičku membranu
 - protok i selektivnost određuju ekonomičnost procesa

26

TEHNIČKI PLINOV I PLE MENITI PLINOV I - Kriogena separacija

- najdjelotvornija i najučinkovitija tehnologija za proizvodnju velikih količina O₂, N₂, Ar
- destilacijske kolone i vrlo niska temperatura (razlika u vrelištima)
- ključni koraci su kompresija zraka, hlađenje i pročišćavanje zraka, izmjena topline, hlađenje i kompresija internih produkata te kriogena protustrujna rektifikacija zraka i Ar
- sustav s dvije kolone i susjednom jedinicom za izdvajanje Ar

27

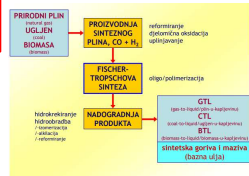
TEHNIČKI PLINOV I PLE MENITI PLINOV I

- Nekriogena vs kriogena separacija**
- Razlike su u molekularnoj strukturi, veličini i masi komponenata zraka
- Argon se može proizvesti samo kriogenim razdvajanjem
- Kisik i dušik proizvedeni kriogenim razdvajanjem su čišći (kisik do 99,5%, a dušik do 99,99%)
- Nekriogeni procesi se izvode na temperaturi bliskoj temperaturi okoline i provode se kada se ne zahtijevaju visoke čistoće plinovitih i kapljevitih proizvoda te kada su potrebne količine proizvoda relativno male

28

**Sintezni plin**

- Smjesa ugljikova monoksida i vodika u raznim omjerima; izravno najviše služi za dobivanje metanola
- Procesi dobivanja:
 - 1) Parno reformiranje
 - 2) Djelomična oksidacija ("teške" sirovine, bez katalizatora)
 - 3) Uplinjavanje ugljena (vodeni plin)

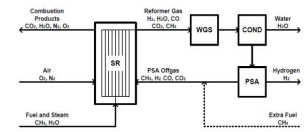
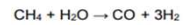


29

29

**Parno reformiranje**

- Industrijski, katalitički proces kojim se lako ugljikovodično gorivo (najčešće metan) prevodi u sintezni plin (H₂ i CO)
- sintezni plin se koristi za proizvodnju amonijaka, metanola, sintetičkih goriva kao i za čisti H₂
- proces se sastoji od dvije cjeline:
 - uklanjanje sumporovih spojeva iz sirovine
 - pretvorba u sintezni plin



30

30



- Treći najzastupljeniji element u zraku
- Najvažnije kemijsko svojstvo- inertnost
- Zaštitni plin
- Dobivanje: frakcijska destilacija tekućeg zraka
- Primjena: Inert kod zavarivanja, proizvodnje čelika, toplinske obrade, proizvodnja elektronike, u žaruljama se dodaje u smjesu s dušikom

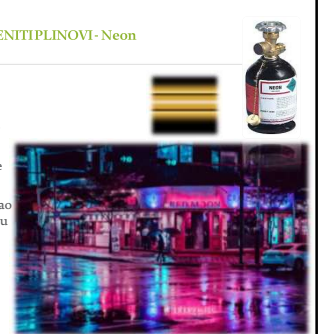


31

31



- inertan plin bez boje i mirisa, može se umjetno proizvesti
- otkrili su ga W. Ramsay i M. W. Travers 1898. kao hlapljivu komponentu u tekućem zraku
- dobivanje: kao nusproizvod frakcijske destilacije tekućeg zraka pri dobivanju kisika i dušika
- primjena: punjenje svijetlećih reklama, lasera, kao rashladno sredstvo, stvaranje inertne atmosfere u proizvodnji poluvodiča



32

32

TEHNIČKI PLINOV I/PLEMENITI PLINOV I - Helij

- Prvi u skupini plemenitih plinova
- Praktički ne postoji u Zemljinoj atmosferi (potražnja se zadovoljava iz izvora zemnog plina i minerala urana)
- Primjena: plinska kromatografija, punjenje zračnih balona, zavarivanje metala, za razrjeđivanje zapaljivih gasova, anestetika u medicini, punjenje boca za ronjenje
- Dobivanje: najviše iz zemnog plina, nešto manje ukapljivanjem i frakcijskom destilacijom tekućeg zraka te iz minerala
- Novija upotreba: magnetska rezonanca



MRS SCANNER

vacuum
liquid nitrogen
liquid helium
superconducting coils

33

TEHNIČKI PLINOV I/PLEMENITI PLINOV I - Kisik

- Najrasprostranjeniji element na Zemlji
- Izuzetno reaktivan (osim s plemenitim plinovima)
- Industrijsko dobivanje kisika: elektroliza vode (1% ukupne proizvodnje kisika) i frakcijska destilacija tekućeg zraka (99% ukupne proizvodnje)
- Primjena: oksidans raketnih goriva, zavarivanje i rezanje metala, aparati za disanje, pročišćavanje otpadnih voda,...



34

TEHNIČKI PLINOV I/PLEMENITI PLINOV I - Dušik

- U prirodi se pojavljuje u elementarnom stanju (99%), kao dio zraka, u mineralnim vodama, u organskim spojevima
- Jaka trostruka veza = stabilan = inerten
- Teško se spaja s ostalim spojevima (pri visokim temperaturama postaje reaktivniji); ne gori i ne podržava gorenje
- Dobivanje: frakcijska destilacija tekućeg zraka
- Primjena: za dobivanje umjetnih gnojiva, zaštitni plin u procesima sa zapaljivim plinovima, kao razrjeđivač,...



Nitrogen cycle diagram showing processes like nitrogen fixation, nitrification, and denitrification.



35

TEHNIČKI PLINOV I/PLEMENITI PLINOV I - Vodik

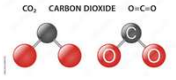
- Slobodan je vrlo raširen u prirodi
- Lako zapaljiv i reaktivan (plin praskavac, klorni praskavac, sa fluorom eksplozivna u mraku)
- Industrijsko dobivanje: elektroliza vode, parno reformiranje (iz prirodnog plina), iz fosilnih goriva
- Primjena: punjenje balona i plinom punjenih lebdjelica, rezanje i zavarivanje metala, proizvodnja metanola i amonijaka
- Zeleni vodik



36

  **UGLJIKOVDIOKSID**

- Ugljični dioksid – prirodni plin prisutan u atmosferi
- Kemijska formula: CO₂
- Građa: linearna molekula (O=C=O), kovalentne veze
- Bezbojan i bez mirisa plin pri standardnim uvjetima
- Topljiv u vodi, pri čemu može stvarati ugljičnu kiselinu (H₂CO₃)
- Teži od zraka – može se akumulirati u niskim područjima
- Nije zapaljiv
- Nastaje izgaranjem fosilnih goriva, biološkim procesima i industrijskom proizvodnjom
- Ključni staklenički plin koji doprinosi globalnom zagrijavanju





CO₂ CARBON DIOXIDE O=C=O



O=C=O

116.3 pm

37

  **UGLJIKOVDIOKSID – Proizvodnja**

- Prirodni procesi: disanje živih organizama, vulkanske erupcije, raspadanje biomase
- Ljudske aktivnosti: izgaranje fosilnih goriva, industrijski procesi, poljoprivreda
- Industrijska proizvodnja: kemijske reakcije (npr. cementna industrija – kalcifikacija vapnenca)
- Promjene u korištenju zemljišta: krčenje šuma smanjuje prirodnu apsorpciju CO₂

38

  **UGLJIKOVDIOKSID**

- Uloga CO₂ u atmosferi:
- Prirodni dio ugljičnog ciklusa (biosfera-atmosfera-hidrosfera-geosfera)
- Staklenički plin – upija i zrači infracrveno zračenje
- Kritično važan za održavanje temperaturne ravnoteže na Zemlji, ali višak dovodi do globalnog zatopljenja



39

  **UGLJIKOVDIOKSID**

- Izvori emisija CO₂
- Energetski sektor (elektrane na ugljen, naftu, plin)
- Promet (automobili, avioni, brodovi)
- Industrija (cement, čelik, kemijska industrija)
- Poljoprivreda i krčenje šuma




40


 **UGLJIKOVDIOKSID**

- Smanjenje emisije CO₂
- Prijelaz na obnovljive izvore energije (solarna, vjetar, hidroenergija)
- Energetska učinkovitost i smanjenje potrošnje
- Razvoj tehnologija za hvatanje i skladištenje ugljika (CCS)
- Promicanje održive mobilnosti i cirkularne ekonomije




41

41

 **UGLJIKOVDIOKSID**

- **Ekološki aspekt**
 - Višak CO₂ glavni uzrok globalnog zatopljenja i klimatskih promjena
 - Zakiseljavanje oceana – smanjenje biodiverziteta morskog ekosustava
 - Potreba za prirodnim rješenjima: pošumljavanje, očuvanje močvarnih područja
 - Utjecaj na ekosustave, poljoprivredu i vodoopskrbu zbog promjene klime
- **Razvoju kontekstu ugljičnog otiska**
 - CO₂ čini više od 70% ukupnih emisija stakleničkih plinova uzrokovanih ljudskim djelovanjem
 - Smanjenje emisija CO₂ ključno za postizanje klimatskih ciljeva (Pariski sporazum, Net Zero)
 - Aktivne mjere: prelazak na obnovljive izvore energije, energetska učinkovitost, razvoj novih tehnologija
 - Ugljični otisak proizvoda/organizacije: sveobuhvatno mjerenje izravnih i neizravnih emisija CO₂

42

42

 **TEHNIČKI PLINOVI/PLEMENITI PLINOVI - Ostali tehnički plinovi**

- od plemenitih plinova u zraku: kripton i ksenon otkriveni isto kad i neon iz gotovo isparene frakcije pri destilaciji; kripton- visoka cijena, punjenje žarulja;
- ukapljeni naftni plin (LPG ili UNP, propan-butan)- mješavina ukapljenih ugljikovodika- proizvode se iz prirodnog plina; primjena: kao goriva za vozila i grijanje za peći
- aceten- jedini tehnički plin koji već na blago povišenim tlakovima izaziva lančanu reakciju (eksplozija); primjena: lemljenje, rezanje,...
- ugljikov dioksid (CO₂)- nusprodukt brojnih industrijskih procesa; primjena: rashladno sredstvo, proizvodnja gaziranih pića,...
- klor, fluor, metan,...



43

43

 **TEHNIČKI PLINOVI/PLEMENITI PLINOVI – Transport plinova**

- prijevoz komprimiranih plinova u posudama vrši se pod tlakom većim od atmosferskog (do 200 bar)
- posude moraju imati ispravan ventil za zatvaranje
- brodovi za prijevoz ukapljenih plinova- imaju ugrađeno postrojenje za ukapljivanje; plovila izrazito visoke opasnosti
- plinovod- osim cjevovoda, sadrži sabirne, centralne, kompresorske i druge stanice
- izbor materijala ovisi o razini tlaka, vrsti plina i sadržaju primjesa u plinu (čelik do 100 bara, polietilen do 10 bara ili bakar- kućne instalacije)



44

44

TEHNIČKI PLINOV I PLEMITI PLINOV I - Ekološki aspekti

- onečišćenje okliša: povećane emisije CO₂ u okoliš, prisutnost fluoriranih plinova, SO₂, NO_x
- industrijski plinovi utječu na kvalitetu zraka, oštećenje ozonskog sloja i pojavu kiselih kiša
- kao potencijalna rješenja nude se:
 - koristišenje obnovljivih izvora energije
 - ulaganje u energetske učinkovite tehnologije
 - provedba strogih standarda emisije industrijskih plinova u okoliš
 - usvajanje tehnika za akumulaciju i skladištenje ugljika
 - zelena kemija

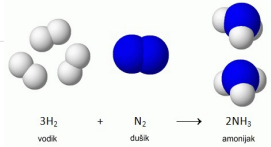



45

45

AMONIJAK

- Karakteristike:
 - bezbojan
 - oštar miris
 - lakši od zraka
 - lako topljiv u vodi
 - otrovan
 - korozivan prema legurama bakra i cinka
- Bezvodni amonijak
- Atmosfera
- Gori/ ne gori
- Haber- Boschov postupak

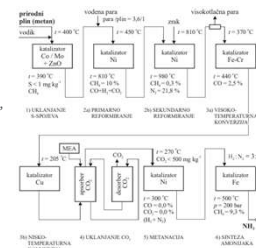



46

46

AMONIJAK - Proizvodnja

- Proces proizvodnje amonijaka sastoji se od šest međusobno povezanih stupnjeva
- Niskotlačni, srednjetačni i visokotlačni
- Parnim reformiranjem i parcijalnom oksidacijom
- Amonijak se najviše upotrebljava za proizvodnju uree, dušičnih mineralnih gnojiva (80%), a zatim dušične kiseline i akrilonitrila



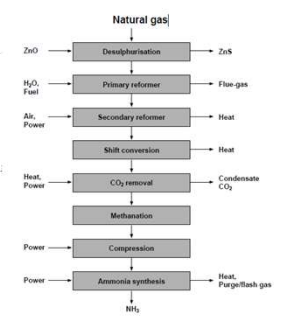
$$CH_4 + H_2O \xrightarrow{Ni} CO + 3H_2 \xrightarrow{Ni} CO + H_2 + N_2 + H_2O \xrightarrow{Ni} CO_2 + H_2 + N_2 \xrightarrow{Ni} H_2 + N_2 \xrightarrow{Fe} NH_3$$

47

47

AMONIJAK - Proizvodnja

- Dvije glavne vrste procesa:
 - Parno reformiranje prirodnog plina
 - 2. Djelomična oksidacija loživog ulja
- 85% svjetske proizvodnje amonijaka temelji se na konceptima parnog reformiranja



48

48



  **AMONIJAK**

- Jedina tvornica u Hrvatskoj- Petrokemija d.d. –jedna od najvećih tvornica gnojiva u jugoistočnoj Europi –450000 t/ god




49

49



  **AMONIJAK- Toksičnost**

- Hiperamonemija- genetske mutacije u genima za enzime koji sudjeluju u ciklusu ureje
- oštećenje tkiva (stanica) bitnih za metabolizam, npr. jetre
- jetrena encefalopatija
- Iritacija dišnih puteva, kašalj, iritacija kože, opekline, oštećenje očiju, trovanje (mučnina, povraćanje, proljev, bolovi u trbuhu)
- Smrtonosna količina vodene otopine: - 25-50 mL 10%-tne otopine
- 15 mL 25%-tne otopine
- Max. dopuštena koncentracija plinova NH₃ u sobi ne smije biti veća od 0,02 mg/L



50

50

  **AMONIJAK- Toksičnost**

- Učinak izloženosti amonijaku na zdravlje ljudi u ovisnosti o koncentraciji amonijaka u zraku

Učinak	Koncentracija amonijaka u zraku (ppm)
Osjetljiv njuhom	20-50
Nije štetan pri duljem izlaganju	50-100
Izaziva jaku iritaciju oči, uši, nosa i grla, ali bez dugotrajnih posljedica pri kratkom izlaganju	400-700
Pri izlaganju duljem od pola sata može biti smrtonosan	2000-3000
Uzrokuje gušenje te dovodi do brze smrti	5000-10000

51

51

  **AMONIJAK- Primjena**

- Gnojiva
- Mikrobi i bakterije u tlu- pretvorba atmosferskog dušika u amonijske i nitratne ione
- Mineralna gnojiva- prirodne mineralne sirovine
- 3 glavna biogena elementa: N, P, K (+Ca, S, Mg, B, Mn, Fe, Zn, Cu)
- Amonijak, urea, dušična kiselina, sumporna kiselina
- Dušična mineralna gnojiva: KAN- mješavina amonijeva nitrata i vapnenca ili dolomita
- Postrojenje za izdvajanje amonijaka i vodika iz ispušnih plinova



52



52

  AMONIЈAK - Primjena

- Sirovina za razne vrste dušičnih gnojiva- UREA, KAN, UAN, AN, NPK
- UREA 46 N:- 46% dušika
 - tla bogata glinom
 - kukuruz, korjenasto povrće
- AN 34,4 N:- brzo djelovanje, pogodno za sve usjeve
 - neutralna ili vapnenačka tla
 - povećanje kiselosti tla
- KAN 27 N:- na svim površinama, svi biljni usjevi
 - najmanja razina kiselosti tla



53

  AMONIЈAK - Primjena

- Rashladno sredstvo
- Izvrsna termodinamička svojstva
- "otrovan" i "eksplozivan", miris- prednost
- Učinkovito i isplativo
- 500 000 t/ god koristi se kao rashladno sredstvo
- Prva korištenja- proces kompresije, David Boyle, 1872., SAD
 - Carl von Linde, 1876., Trst
- Toplina isparavanja visoka, nizak protok tekućine

Refrige- rant	Composi- tion Formula	Boil- ing point °C	Vaporis- ation heat kJ/kg l bar abs.	Liquid flow dm ³ /s	Compr. gas flow dm ³ /s	COP	ODP	GWP
Ammonia	R 717, NH ₃	-33.3	1369	0.0015	0.463	4.84	0	0
Propane	R 290, C ₃ H ₈	-42.1	426	0.0074	0.551	4.74	0	3
Carbon dioxide	R 744, CO ₂	-56.6	350	0.0123	0.065	2.96	1	1

54

  AMONIЈAK - Primjena

- Eksplozivni:
- Amonijev nitrat, $(NH)_4NO_3$
- U kombinaciji s loživim uljima
- Detonacijska brzina 5000 m/s (cmi barut 400 m/s, TNT 6700 m/s)
- Potrebna vrlo velika toplina
- U smjesi s amonijevim sulfatom ne eksplodira
- Sredstvo za gašenje zapaljenog $(NH)_4NO_3$ - voda



55

  AMONIЈAK - U okolišu

- EUTROFIKACIJA
- Izvori voda
- Masovni rast algi i drugih organizama- zagađenje vodotoka
- Smrtnost životinja koje obitavaju u tim vodama



56


  **AMONIJAK – U okolišu-otpadne vode**

- Dušik iz izlučevina, deterdženata i gnojiva
- 60-70% dušika iz amonijaka, 30-40% organski dušik
- Povećana koncentracija NH_3 može uzrokovati akutnu i kroničnu toksičnost
- Nitrifikacija i denitrifikacija



57

57

  **AMONIJAK – Kružni razvoj, ekološki aspekt**

- **Ekološki aspekt**
 - Proizvodnja "zelenog amonijaka" korištenjem obnovljivih izvora i zelenog vodika
 - Zeleni amonijak smanjuje emisije stakleničkih plinova u usporedbi s konvencionalnim (fosilnim) amonijakom
 - Korištenje otpada iz poljoprivrede i industrije za sintezu amonijaka
 - Amonijak kao energetski spremnik za vodik - mogućnost recikliranja i ponovne upotrebe
 - Primjena amonijaka u zatvorenim sustavima (npr. sustavi za pohranu energije)
- **Razvoj u kontekstu ugljičnog otiska**
 - Tradicionalna proizvodnja amonijaka (Haber-Bosch proces) odgovorna za značajne CO_2 emisije
 - Zelena proizvodnja amonijaka može gotovo eliminirati emisije CO_2
 - Amonijak kao sredstvo za smanjenje ugljičnog otiska u teškoj industriji i transportu
 - Ključna uloga amonijaka u tranziciji prema ugljičnoj neutralnosti (Net Zero)

58

58


  **PLAZMA**

- **Što je plazma?**
- Djelomično ili potpuno ionizirana tvar koja nastaje pri visokim temperaturama
- Smatra se posebnim agregatnim stanjem tvari
- Električki neutralno stanje materijala s jednakim brojem negativnih i pozitivnih električki nabijenih čestica - kvazi neutralan plin
- Čestice nevezane, ali ne i slobodne
- Dobar vodič električne struje i snažno reagira na električno i magnetsko polje





59

59

  **PLAZMA**

Tri mjerila plazme

		
Uskladenost plazme Električki nabijene čestice trebaju biti dovoljno blizu da bi mogle međusobno djelovati - Debyeova duljina	Kolektivna svojstva Debyeova duljina je puno manja od fizičke veličine plazme	Titranje plazme Langmuirovi valovi trebaju biti puno veći od učestalosti sudaranja čestica

60

60

PLAZMA

Parametri plazme

01 Stupanj ionizacije
 Broj atoma koji su izgubili elektrone, a obično ovisi o temperaturi

$$\alpha = \frac{n_i}{n_i + n_a}$$

03 Električni potencijal
 Veličina električnog potencijala može se odrediti u ovisnosti od gustoće električnog naboja, s Boltzmannovim odnosom

02 Temperatura
 Temperatura plazme se mjeri u Kelvinima ili elektronvoltima
 Obično je mjera kinetičke energije čestica
 Veoma visoke temperature su neophodne da se održi ionizacija, što je glavni uvjet za postanak plazme



04 Magnetizacija
 Plazma u kojoj je magnetsko polje dovoljno jako, da utječe na kretanje električno nabijenih čestica, se naziva magnetizirana plazma

61

PLAZMA - Usporedba plazme i plina

Iako je plazma slična plinu, ima i dosta razlika, kao što su:

Svojstva	Plin/Plazma
Električna provodljivost	Jako mala Obično vrlo visoka
Vrsta čestica	Jedna Dvije ili tri
Raspored brzina	Maxwell-Boltzmannova raspodjela Često ne Maxwell-Boltzmannova raspodjela
Međudjelovanja	Dvojno Kolektivno


Vs


62


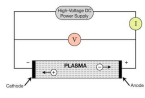
PLAZMA - Stvaranje plazme

Prirодно stvorena plazma

- Pražnjenje atmosferskog električnog naboja koncentriranog u olujnim, grmljavinskim oblacima
- električni potencijal naraste i do 3 milijuna volti, pa zrak više nije dostatan izolator i nastaje izbijanje električnog naboja
- Grom nastaje zbog eksplozivnog širenja zraka zagrijanog munjom na visoku temperaturu

Umjetno stvorena plazma

- Plazma se stvara primjenom električne struje duž dielektričnog plina ili fluida
- Ako je jačina struje i ionizacija dovoljna, stvara se žareći električni luk između elektroda
- Električni otpor uzduž električnog luka stvara toplinu, koja ionizira preostale plinske molekule, pa plin postaje plazma

63

PLAZMA - Oko nas

Plazma je najrasprostranjeniji oblik vidljive materije u svemiru

Na Zemlji ima vrlo malo plazme, ali je zato 99% tvari u svemiru plazma



Umjetno dobivena plazma

- Plazma TV
- Neonska cijev
- Plazma kugla
- Električni luk
- Magnetski inducirana plazma



Plazma na Zemlji

- Munja
- Kugličasta munja
- Vatra svetog lije
- Crveni vilenjak, plavi mlaz i patuljak



Plazma u Svemiru

- Sunce i ostale zvijezde
- Sunčev vjetar
- Međuplanetarni materijal
- Međuzvezdani materijal
- Međugalaktički materijal
- Međuzvezdane maglice

64

PLAZMA – Značaj plazme

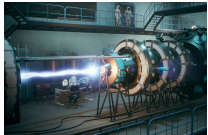
<p>Energetika Ključna za istraživanje i razvoj fuzijskih reaktora koji imitiraju procese koji se dešavaju u Sunčevom jezgru</p> 	<p>Industrija Koristi se u raznim industrijskim procesima, uključujući plazma rezanje, plazma oblaganje, plazma pročišćavanje piva</p> 	<p>Informacijske tehnologije Koristi se u proizvodnji tehnoloških uređaja poput plazma televizora</p> 
<p>Medicina Za sterilizaciju medicinskih instrumenata, kao i za tretman rana i ožjeda</p> 	<p>Astronomija Prisutna u mnogim astronomskim objektima, uključujući zvijezde, galaksije, maglice i druge kozmičke strukture</p> 	<p>Komunikacija i satelitska tehnologija Ključna za razvoj satelitskih komunikacijskih sustava</p> 

65

PLAZMA – Ekološki aspekt

Plazma

- Fuzija kao čista energetska alternativa
- Plazma obrada otpada
- Sterilizacija i dekontaminacija
- Plazma za uklanjanje zagađenja



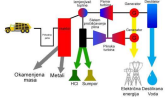
- Fuzija je proces koji proizvodi energiju spajanjem lakih jezgara atoma
- Mala količina radioaktivnog otpada i minimalna emisijama plinova koji doprinose efektu staklenika
- Alternativa fosilnim gorivima, te smanjenje emisije štetnih plinova i utjecaj na životnu sredinu

66

PLAZMA – Ekološki aspekt

Plazma

- Fuzija kao čista energetska alternativa
- Plazma obrada otpada
- Sterilizacija i dekontaminacija
- Plazma za uklanjanje zagađenja



- Smanjuje se količina i opasnost otpada
- Plazma termalna konverzija može pretvoriti otpad u korisne materijale
- Smanjuje se potreba za odlaganjem na deponije i smanjuju se potencijalni negativni ekološki efekti

67

PLAZMA – Ekološki aspekt

Plazma

- Fuzija kao čista energetska alternativa
- Plazma obrada otpada
- Sterilizacija i dekontaminacija
- Plazma za uklanjanje zagađenja



- Sterilizacija medicinskih instrumenata, pakiranje hrane i drugih predmeta
- Ekološki prihvatljivije od tradicionalnih metoda sterilizacije koje koriste kemikalije ili visoke temperature
- zahtjeva manje energije i proizvodi manje otpada

68


PLAZMA - Ekološki aspekt

Fuzija kao čista energetska alternativa

Plazma obrada otpada

Sterilizacija i dekontaminacija

Plazma za uklanjanje zagađenja



- Uklanjanje zagađenja iz zraka, vode i zemlje
- Plazma reaktori mogu razgraditi štetne organske supstance ili neutralizirati opasne kemikalije

69

69

PLAZMA - Fuzijski nuklearni reaktor


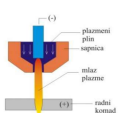


- Uređaj u kojem se kontinuirano zbiva kontrolirana nuklearna reakcija fuzije
- Spajanje dviju lakih jezgara - potrebno je savladati njihovu odbojnu električnu silu - dolazi do oslobađanja energije
- Medij u kojem lake jezgre mogu postići veliku brzinu odnosno energiju je plazma
- Da bi se fuzijska reakcija mogla koristiti kao energetska izvor potrebno je stvoriti uvjete u kojima će se ta reakcija događati kontinuirano - jezgre deuterija i tricija
- Ograničenje plazme kod fuzijske reakcije u zemaljskim uvjetima može se ostvariti magnetskim ograničenjem plazme ili inercijskim ograničenjem plazme

70

70

PLAZMA - Plazmarezanje

- Tehnološki proces koji se koristi za rezanje čelika i ostalih metala koristeći plazma plamenik
- Inertni plin potiskuje se velikom brzinom kroz mlaznicu, dok u isto vrijeme se uspostavlja električni luk kroz plin do radnog komada, pretvarajući jedan dio plina u plazmu
- Plazma je dovoljno topla da se metal poreže i da se otopljeni metal otpuše s reza
- Gotovo nezamjenjivo u rezanju nehrđajućih čelika, aluminija i aluminijskih legura, bakra i bakrenih legura odnosno svih električki vodljivih materijala

71

71

PLAZMA - Polarna svjetlost

Kakonastaje

- Polarnu svjetlost uzrokuje Sunčev vjetar
- Struja vruće plazme koju Sunce izbacuje u svim smjerovima
- Dio Sunčevog vjetrova nailazi na Zemljinu magnetosferu - područje svemira kojim dominira Zemljino magnetsko polje
- Silnice Zemljine magnetosfere zakreću dio Sunčevog vjetrova prema Zemljinim magnetskim polovima
- Polarna svjetlost nastaje kad se elektroni Sunčevog vjetrova na visini od 80 do 150 km sudaraju s atomima gornjih slojeva atmosfere
- Povlađavaju emisije atoma kisika zatim molekularnog dušika




72

72

SUPERKRITIČNI FLUIDI

Što su superkritični fluidi?

- Tvari podvrgnute temperaturi i tlaku koji su iznad njihove kritične točke
- Samo jedna faza
- Svojstva između svojstava plina i tekućine

State of the fluid	Density (g/cm ³)	Diffusivity (cm ² /s)	Viscosity (g/cm/s)
Gas $p = 1 \text{ atm}, T = 15-30^\circ\text{C}$	$(0.6-2.0) \times 10^{-3}$	0.1-0.4	$(0.6-2.0) \times 10^{-4}$
Liquid $p = 1 \text{ atm}, T = 15-30^\circ\text{C}$	0.6-1.6	$(0.2-2.0) \times 10^{-5}$	$(0.2-3.0) \times 10^{-2}$
Supercritical fluid $p = p_c, T \approx T_c$	0.2-0.5	0.7×10^{-3}	$(1-3) \times 10^{-4}$
$p = 4p_c, T \approx T_c$	0.4-0.9	0.2×10^{-3}	$(3-9) \times 10^{-4}$

73

SUPERKRITIČNI FLUIDI – Primjena

Superkritična fluidna ekstrakcija (SFE)

- Ekstrakcija u kojoj je otapalo superkritični fluid
- PREDNOSTI:
 - Selektivnost → čisti ekstrakti
 - Blagi uvjeti → pogodno za temperaturno osjetljive spojeve, očuvanje aromatskih spojeva u ekstraktu
 - Ekološki prihvatljivija otapala → nema organskog otpada, manje količine otapala
 - Energetska učinkovitost → recikliranje otapala
 - Brzina

74

SUPERKRITIČNI FLUIDI

Dekofenacija kave

- Precizna kontrola tlaka → selektivno otapanje kofeina
- Recikliranje superkritičnog CO₂
- Uklanjanje 97-99% kofeina

75

SUPERKRITIČNI FLUIDI

Superkritična fluidna kromatografija (SFC)

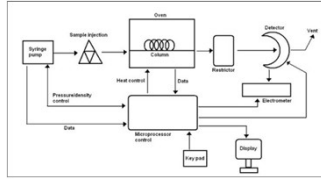
- Hibridna tehnika plinske i tekućinske kromatografije
- Određivanje spojeva osjetljivih na povišenu temperaturu za koje nije pogodna plinska kromatografija
- Određivanje spojeva koji nemaju funkcionalne grupe koje se mogu odrediti tekućinskom kromatografijom
- Određivanje droge, hrane, pesticida, herbicida, goriva, eksploziva

76



SUPERKRITIČNI FLUIDI

- **Superkritična fluidna kromatografija (SFC)**
- SFC sa HPLC opremom uz spremnik i regenerator CO₂ te regulator tlaka
- Mobilna faza je superkritični fluid (+modifikatori)
- Čist produkt, nije potrebna naknadna obrada



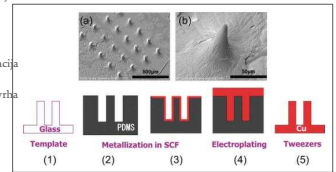
77

77



SUPERKRITIČNI FLUIDI - Supercritical fluid deposition

- nanošenje/taloženje materijala na podlogu
- Kemijska taložna depozicija (CVD), fizikalna taložna depozicija (PVD), elektrokemijska depozicija (ECD), dip-coating, ...
- Proizvodnja tankih filmova ili nanostrukturnih materijala
- Superkritični fluidi služe kao nosači za otopljene prekursore materijala
- **Mikroelektromehanički sustavi (MEMS)**
- Proizvodnja iglica za električne bio-pincete (manipulacija mikroskopskim česticama ili biološkim uzorcima)
- Problem: metalizacija bakrom, uz zadržavanje oštrog vrha iglice



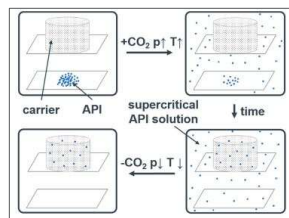
78

78



SUPERKRITIČNI FLUIDI - Proizvodnja lijekova

- 3D ispis + SCFD → kontrolirano oslobađanje lijeka
- Otapanje lijeka u superkritičnom fluidu pri visokoj temperaturi i tlaku
- Ubrizgavanje u porozni nosač lijeka
- Taloženje naglim smanjenjem tlaka
- Brzina otapanja lijeka smanjuje se smanjenjem veličine pora nosača



79

79



SUPERKRITIČNI FLUIDI - SCFD, SCsušenje

- Ključna faza u sintezi aerogela - uklanjanje otapala bez kolapsa porozne mreže.
- Postupak: Gel se natopi otapalom kompatibilnim s scCO₂, zatim se otapalo ukloni difuzijom u scCO₂.
- **Prednosti:**
- Očuvanje mikrostrukture
- Minimalna skupljanja
- Pogodno za silikatne i organske gelove
- **Alternative**
- Atmosfersko sušenje - jednostavnije, ali često uz gubitak poroznosti

80

80

FRFNSCMXSK **SUPERKRITIČNI FLUIDI - Aerogeli**

Definicija:

- Čvrsti materijali s ultravisokom poroznošću (>90%) i vrlo niskom gustoćom.
- Struktura: Mreža čvrstih čestica ispunjena zrakom - do 99% volumena može biti plin.
- Vrste: Silikatni, organski, ugljični, metalni, hibridni aerogeli.

Svojstva:

- Izuzetna toplinska izolacija
- Velika specifična površina (>500 m²/g) Niska toplinska i električna vodljivost
- Vrlo mala masa, ali mehanički osjetljivi

Primjena:

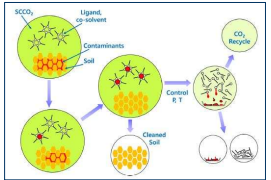
- Izolacija (građevinarstvo, svemirska tehnologija)
- Kataliza i senzori
- Pročišćavanje vode i zraka
- Energetski sustavi (baterije, superkondenzatori)




81

81

FRFNSCMXSK **SUPERKRITIČNI FLUIDI - Primjena**



- Uklanjanje nuklearnog otpada iz tla
- Cs, Sr, U - tlo u blizini nuklearnih elektrana
- Superkritični CO₂ + kootapalo i ligand
- Preliminarno ispitivanje - morski pijesak
- Učinkovitost dekontaminacije veća od 90 %
- Stvarne čestice tla - učinkovitost opada sa smanjenjem čestica tla
- 80-90 % za Cs i Sr, 90-98 % za U

82

82

FRFNSCMXSK **SUPERKRITIČNI FLUIDI**

- Uklanjanje nuklearnog otpada iz tla
- Superkritični CO₂ je otapalo za silikatni prekursor
- Homogeno raspoređivanje unutar pora
- Hidrotermalna obrada → kristalna struktura LTA zeolita



83

83

FRFNSCMXSK **SUPERKRITIČNI FLUIDI - Ekološki aspekti, kružni ciklus**

- Korištenje scCO₂: Zamjena za toksična organska otapala CO₂ se reciklira unutar sustava (nema emisije)
- Niskoenergetski procesi: Mogućnosti niskotemperaturne sinteze
- Manji ugljični otisak u usporedbi s klasičnim materijalima
- Izvori sirovina: Biomasa, otpadne sirovine (industrijski nusproizvodi, agro-otpad)
- Ponovna upotreba gelova i komponenti
- Reciklaža otapala i CO₂

84

84

Poluvodički materijali

- Tri skupine tvari i elemenata sa vodljivim svojstvima:
 - vodiči (tvari koje provode električnu struju uz pružanje neznatnog otpora)
 - poluvodiči (tvari koje ovisno o uvjetima mogu, ali ne moraju provoditi struju)
 - izolatori (tvari koje pokazuju izuzetan otpor prolasku električne struje)

85

Poluvodički materijali

- Poluvodiči mogu biti čisti ili onečišćeni kristali, a mogu se podijeliti na:
 - prirodne elemente
 - prirodne kemijske spojeve (i legure) – oksidi, sulfidi, selenidi, teluridi, karbidi, fosfidi, legure
 - umjetno načinjene spojeve (keramika) – karbidi Si, B i C pomiješani sa keramičkom izolacijskom masom
 - Dug vijek trajanja, malen volumen i težina, velika mehanička čvrstoća, ekonomična izrada, snaga napajanja neznatna
 - Najpoznatiji poluvodiči su silicij (Si) i germanij (Ge) koji su četverovalentni, a njihovi su atomi u kristalu vezani kovalentnim vezama

86

Poluvodički materijali

- Poluvodički materijali su omogućili vrtoglav razvoj elektronike pa možemo reći da su ti materijali oblikovali suvremeni svijet kakav znamo
- To je velika i vrlo raznolika skupina materijala čija se svojstva mogu precizno ugadati prema potrebama
- Osim u elektronici, poluvodički materijali također se primjenjuju u drugim područjima kao što su solarna energija, optoelektronika, medicinska dijagnostika itd.

87

Poluvodički materijali

Električna provodnost:
 $\sigma = GUP$; električna provodnost poluvodiča: $\sigma = ne\mu_e + pe\mu_p$

- n, p - koncentracije e^- i šupljina, μ_e, μ_p - njihove pokretnosti, e^- - naboj elektrona

Mjerna jedinica električne provodnosti je S/m
 Najvažniji čimbenici električne provodnosti su vrsta tvari, struktura tvari, moguće primjese i temperatura
 Električna provodnost raste ovim redoslijedom:

88

Poluvodički materijali

- Elektroni i šupljine su nositelji naboja u anorganskim poluvodičkim materijalima
- Tipičan interval njihove provodnosti je između 10^{-8} S/cm i 10^3 S/cm
- Visok stupanj osjetljivosti na vanjske uvjete
- Pri vrlo niskim T postaju izolatori, a pri sobnoj T postaju vodiči, ali ipak ne provode električnu struju toliko dobro kao oni
- Posjeduju negativni temperaturni koeficijent otpora

89

Poluvodički materijali

- Dodavanje nečistoća većinom smanjuje provodnost vodiča, ali povećava provodnost poluvodiča
- Poluvodič može biti **intrinzičan/unutarnji** odnosno čist (bez primjesa) i **ekstrinzičan/vanjski** (sa primjesama)

90

Poluvodički materijali - p i n tip

- P-tip:** Nastaje kad se poluvodič onečisti ili dopira trovalentnim nečistoćama kao što su B, Al, Ga i In
- Nečistoće popunjavaju valentne veze primajući elektrone iz valentnog pojasa, pa se zato nazivaju akceptorske nečistoće
- Positivne šupljine su većinski nosioci naboja
- N-tip:** Nastaje kad se poluvodič onečisti ili dopira s petrovalentnim nečistoćama kao što su N, P, As i Sb
- Nečistoće daju elektrone u vodljivi pojas, pa se zbog toga nazivaju donorske nečistoće
- Većinski nosioci naboja su elektroni, a šupljine su manjinski nosioci jer ih je manje
- Poluvodič s ekstremno visokom koncentracijom donorskih nečistoća ponaša se slično metalu i naziva degenerirani poluvodič

91

Poluvodički materijali -

- Spojimo li ta dva poluvodiča, elektroni će prelaziti iz N-tipa u P-tip
- Glavno svojstvo poluvodičke PN-diode je da pod utjecajem vanjskog napona u jednom smjeru vodi struju, a u drugom ne

92

Poluvodički materijali

- Teoriji elektronskih vrpca prethodi teorija molekulskih orbitala koje nastaju preklapanjem sličnih atomskih orbitala
- Elektronske vrpce dijele se zabranjenom zonom, a energija te zone sprječava slobodan prijelaz elektrona iz energijski niže u višu vrpcu
- Ta minimalna energija koja odgovara razlici energije valentne i vodljive vrpce naziva se zabranjenom zonom, E_g
- Valentna vrpca je u potpunosti ili djelomično popunjena valentnim elektronima
- Prazna vrpca naziva se vodljivom vrpcom

93

Poluvodički materijali

- Toplinsko pobuđivanje i rekombinacija para elektron-šupljina
- Dolazi do pražnjenja energetskih nivoa u valentnoj vrpci jer e- prelaze u vodljivu vrpcu
- Pobuđeni elektroni u vodljivoj vrpci i preostale šupljine u valentnoj vrpci daju konačnu vodljivost tako da elektron "šeta" od jedne do druge vodljive šupljine
- Smjer elektrona (N-vodljivost) i smjer šupljina (P-vodljivost) je suprotan
- Prijelaz je moguće postići i pomoću fotona, a u tom slučaju se električna vodljivost naziva fotovodljivost

94

Poluvodički materijali - mjerenje zabranjene zone

- Može se mjeriti optički ili termički
- Optička metoda mjerenja zabranjene zone poluvodiča primjenom difuzne refleksijske spektroskopije
- Mjerenje se provodi uz pomoć integrirajuće sfere koja se može nabaviti kao dodatak nekim modelima standardnih UV-Vis spektrometara

95

Poluvodički materijali - Tehnologija proizvodnje

- Postoje brojne metode za proizvodnju poluvodičkih materijala, ali najčešće korištene tehnike uključuju ove:
- Rast kristala
- Epitaksijska depozicija iz pare (EPD)
- Difuzija
- Ionska implantacija

96

Poluvodički materijali

- Poluvodički materijali ključni su za proizvodnju čipova
- Proces proizvodnje čipova, poznat kao proces litografije, omogućava da se na veoma malom prostoru postavi na milijarde tranzistora
- Razni dijelovi svijeta sudjeluju u proizvodnji čipova koja se sastoji od softverskog dizajna čipa i proizvodnog procesa te od dijela za isporuku ključnih komponenti i za drugi dio proizvodnje
- Danas su u svijetu za visokosofisticiranu proizvodnju sposobne samo tri tvrtke: TSMC (Tajvan), Intel (SAD) i Samsung (Južna Koreja)




97

Poluvodički materijali

- Proizvodnja pločica i njihova obrada
- Silicij - čipovi malih dimenzija
- Germanij - optički elementi, svjetlosnih kablova, termodinamičkih generatora, uređaji za noćno gledanje (vojska), senzori za satelitske snimke
- Galij - za izradu radara, satelita, radija
- Germanij, silicij i galijev arsenid - tranzistori





98

Poluvodički materijali

- Nano transfer** - Popularan zbog jednostavnosti i velike propusnosti
- Podloge se proizvode se na silikonskim pločicama i izrezuju na male čipove
- Tehnologija koristi kemijski ljepljiv sloj koji uzrokuje negativne učinke, a i opasan je za ljudsko zdravlje
- Pristup bez kemikalija**: Znanstvenici su razvili tehniku izrade čipova kemijskim jetkanjem bez kemikalija za dobivanje poluvodičkih pločica s nanočicama
- Slojevi se nanose na silicijsku podlogu na niskoj temperaturi od 160° C
- Ovi su poluvodiči ujedno pokazali bolje performanse u usporedbi s trenutnim čipovima na tržištu



99

Poluvodički materijali - Značaj

- Poluvodički materijali ključni su za modernu (poluvodičku) elektroniku. Koriste se u širokom rasponu uređaja, uključujući:
- Računala
- Komunikacijski uređaji
- Potrošačka elektronika
- Automobilska industrija
- Medicinska oprema




100

Poluvodički materijali - Značaj

- Od naručivanja određene serije visokosofstiranih čipova najnovije generacije do proizvodnje i isporuke put je dug
- Cjelokupna autoindustrija zajedno troši samo oko 3 % ukupne svjetske proizvodnje čipova
- U jedan prosječan automobil danas su tako ugrađeni čipovi vrijednosti od oko 500 eura
- Aktualna proizvodnja bazirana je na 5 nm tehnologiji i kreće se prema 2 nm
- Europska znanstvena, industrijska i tehnološka zajednica osvješćuje se i razmatra mogućnosti ponovnog pokretanja razvoja i proizvodnje vlastitih čipova

Semiconductor Applications by Market (2019)	Market Size
Smartphone	25.3%
Personal Computing	20.5%
Servers, Data Centers, Storage	14.6%
Industrial Electronics	11.7%
Consumer Electronics	10.0%
Automotive	9.8%
Wireless Infrastructure	8.1%

101

101

Poluvodički materijali - Kristalni poluvodiči

- Diode od kristalnih poluvodiča su ključne komponente u mnogim elektronskim uređajima i sistemima, omogućavajući preciznu kontrolu električne struje i napona
- Postoje ispravljačke, svijetleće, foto diode, Zenerove diode, Schottkyjeve diode, tunel diode i mnoge druge
- Kristalne (poluvodičke) diode služe da izmjeničnu struju pretvaraju u istosmjernu, a upotrebljavaju se i za zaštitu od prenapona itd.
- Koriste se i u optoelektronici



102

102

Poluvodički materijali - Životni ciklus, ekološki aspekt

- Recikliranje poluvodičkih materijala je važno zbog njihove široke upotrebe i sve većeg obujma proizvodnje
- Veoma je izazovan proces
- Otpadni materijali trebaju biti obrađeni na odgovarajući način kako bi se iz njih izdvojili korisni elementi i smanjio ekološki otisak
- Recikliranje također može pomoći u smanjenju potrebe za ekstrakcijom novih sirovina, čime se štede resursi i energija

```

    sakupljanje → razdvajanje → uništavanje podataka → fiz i kem razdvajanje → čišćenje i rafiniranje → ponovna uporaba
  
```

103

103

Poluvodički materijali - zanimljivosti

- U TSMC-u počinje masovna proizvodnja 3-nanometarskih poluvodičkih čipova
- Tako će nuditi 1,6 puta višu gustoću logičkih sklopova te smanjenje potrošnje energije za 30-35%, za istu računalnu snagu
- Tranzistor - prijenosni otpornik je aktivni poluvodički element s trima elektrodama
- Razlikuju se bipolarni i unipolarni tranzistori
- Kopija prvog tranzistora otkrivenog u tvrtki Bell Labs 23. prosinca 1947.




104

104

Poluvodički materijali - zanimljivosti

- Silicijska dolina: Poznata kao epicentar tehnološke inovacije, Silicijska dolina u Kaliforniji dobila je ime upravo zbog dominacije silicija kao osnovnog materijala za proizvodnju čipova




105

105

Poluvodički materijali

- Proizvodnja poluvodiča zahtijeva ogromne količine vode kako bi se oprema hladila
- TMSC tvrtka na Tajvanu 2021. godine doživljava veliku sušu
- Tajvanski poljoprivrednici nisu prioritet
- Klimatske promjene i nestašica vode stvaraju rizike za daljnju proizvodnju poluvodiča, pa zato mogu poskupiti u budućnosti
- Zbog proizvodnje poluvodiča dolazi do međudržavnih rivalstava, a najčešće između Kine i SAD-a

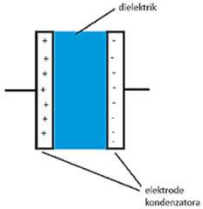



106

106

KONDENZATORI

- Električni kondenzatori su pasivne komponente koje pohranjuju energiju između dvije elektrode odvojene dielektrikom
- Kada se kondenzator poveže na izvor napona, pozitivni naboji se akumuliraju na jednoj elektrodi, a negativni na drugoj, stvarajući električno polje u dielektriku gdje se pohranjuje energija

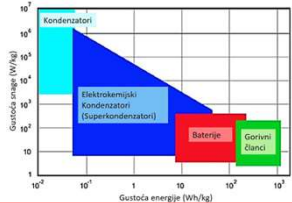


107

107

Kondenzatori

- Usporedba različitih elektrokemijskih izvora električne energije prema specifičnoj gustoći snage i specifičnoj gustoći energije



108

108

Kondenzatori

- Kapacitet kondenzatora se računa prema formuli:
 - $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} = Q/U$
- gdje je: C - el. kapacitet kondenzatora [F]
- ϵ_0 - dielektričnost vakuuma [F/m]
- ϵ_r - relativna dielektričnost materijala
- S - površina elektroda [m²]
- d - razmak između elektroda [m]
- Q - naboj na kondenzatoru [C]
- U - napon na kondenzatoru [V]



- Kondenzatori se prema načinu izrade i primjene dijele na:
 - elektrostatske
 - elektrolitske
 - elektrokemijske (superkondenzatori)

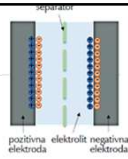
109

Pseudokondenzatori-superkondenzatori

- Posljednjih nekoliko desetljeća - rapidan razvoj tehnologije skladištenja energije
- Ključan za poticanje napretka u područjima poput električnih vozila, obnovljivih izvora energije i pametnih mreža
- Pojava pseudo-superkondenzatora predstavlja značajan korak naprijed u evoluciji energetskih skladišnih sustava
- Pseudo-superkondenzatori, kao napredna vrsta elektrokemijskih kondenzatora, kombiniraju najbolje karakteristike elektrokemijskih superkondenzatora i baterija
- Pogodni za širok spektar primjena

110

Superkondenzatori

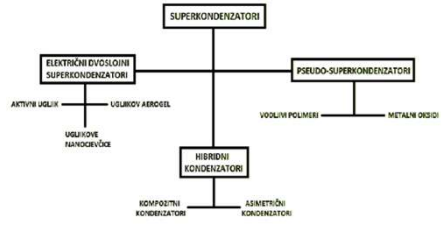


- Sastoji se od dvije elektrode, elektrolita i separatora
- Za razliku od klasičnih kondenzatora imaju jako veliki kapacitet i veliku specifičnu snagu
- Rade na principu običnih kondenzatora, ali imaju veću efektivnu površinu i tanji dielektrik što dovodi do velikog povećanja kapaciteta i energije
- Ne dolazi do kemijskih niti do faznih promjena aktivnog materijala, a elektrode ne sadrže teške metale poput nikla
- Na svakoj od elektroda se formira elektrokemijski dvosloj unutar kojeg dolazi do razdvajanja naboja
- Visoka efikasnost i dugi životni vijek - široka primjena

111

Superkondenzatori

Podjela:



112

Superkondenzatori

- Idealni elektrokemijski dvoslojni kondenzator
- Elektricitet se prenosi u dvosloju i nema reakcije između čvrstog materijala i elektrolita na efektivnoj površini elektrode
- Kapacitet ovisi o površini elektrode i o poroznosti elektrolita (ne skladište ga elektrostatski)
- Skladište energiju putem elektrokemijskih reakcija na elektrodama

Way Of Connection



113

113

Superkondenzatori

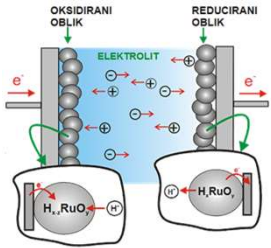
- Pseudokapacitet je povezan sa prijenosom naboja između elektrolita i elektrode
- Za razvoj superkondenzatora pomoću pseudokapacitivnosti korištene su tri vrste elektrokemijskih procesa:
 - površinska adsorpcija iona iz elektrolita na površinu elektroda
 - redoks reakcije koje uključuju ione iz elektrolita
 - dopiranje i odvajanje aktivnog provodnog materijala u elektrodi
- Adsorbirani ioni kemijski ne reagiraju sa atomima elektrode jer se odvija jedino prijenos naboja
- Ne dolazi do promjene faze elektrodnog materijala
- Kao elektrodni materijali koriste se:
 - vodljivi polimeri (polianilin)
 - mnogi oksidi prijelaznih metala poput RuO_2 , IrO_2 , Fe_2O_3 , MnO_2 ili sulfidi kao TiS_2



114

114

Superkondenzatori - shema



115

115

Superkondenzatori - tehnologija proizvodnje

- Metode proizvodnje pseudo-superkondenzatora uključuju:
 - Kemijsku sintezu:
 - Elektrodepozicija
 - Sol-gel proces
 - Mehaničke metode:
 - Brušenje i miješanje
 - Nanošenje slojeva
 - Elektrokemijske metode:
 - Anodna oksidacija
 - Elektrokemijska sinteza
 - Termičke metode:
 - Termička piroliza
 - Kalcinacija
 - Fizičke metode:
 - Pulsno lasersko taloženje (PLD)
 - Magnetron sputtering



116

116

  **Superkondenzatori - značaj**

- Koriste se za:
 - energetska pohrana
 - elektroniku
 - medicinske uređaje
 - električna vozila
 - u aplikacijama gdje su potrebne velike količine električne energije u kratkom vremenskom periodu






117

117

  **Superkondenzatori - prednosti**

- Pseudosuperkondenzatori nude niz prednosti u odnosu na tradicionalne kondenzatore i baterije:
 - visoka gustoća snage
 - dug životni vijek
 - brzo punjenje
 - sigurnost
 - širok raspon radnih temperatura



118

118

  **Superkondenzatori - prednosti**

- Pseudo-superkondenzatori se koriste u svemirskim tehnologijama i misijama
- Najveći pseudo-superkondenzator na svijetu se nalazi u Kini i ima kapacitet od 100 MF
- Boeing 787 Dreamliner koristi pseudo-superkondenzatore za pohranu energije iz kočenja
- Superkondenzatori se kreću u smjeru zamjene baterija jer u usporedbi s litij-ionskim i drugim tehnologijama baterija mogu pružiti sigurnost, brzo punjenje i prednosti im je u veličini
- Superkondenzatori proizvedeni od grafena se pune i do 1000 puta brže od baterija.



119

119

  **Superkondenzatori - životni ciklus, ekološki aspekt**

- Recikliranje pseudo-superkondenzatora može uštedjeti resurse i smanjiti zagađenje okoliša
- Može biti izazovno zbog:
 - različitih materijala (Cu, Al, Co)
 - opasnih tvari (Pb, Cd)
 - nedostatka infrastrukture
- Metode recikliranja:
 - mehaničko recikliranje
 - hidrometalurško recikliranje
 - pirometalurško recikliranje



120

120

Superkondenzatori - životni ciklus, ekološki aspekt

- Načini za smanjenje utjecaja pseudo-superkondenzatora na okoliš:
 - korištenje pseudo-superkondenzatora s dugim životnim vijekom
 - razvoj održivih materijala
 - podizanje svijesti javnosti



121

121

Baterije

Što su baterije?

Izvori kemijske energije pretvorene u električnu energiju

Sastoje se od jedne ili više elektro-kemijskih ćelija

Glavne komponente:

- Anoda (negativna elektroda)
- Katoda (pozitivna elektroda)
- Elektrolit - omogućuje prijenos iona između elektroda

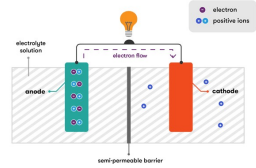
Princip rada

Redoks reakcije:

- Anoda oksidira → ispušta elektrone
- Katoda reducira → prima elektrone

Elektroni putuju vanjskim krugom → električni tok

Ioni migriraju kroz elektrolit → održavanje naboja

122

122

Baterije- Podjela

- Prema mogućnosti punjenja:
 - Primarne (nepunjive) npr. alkalne, litij-metal
 - Sekundarne (punjive) npr. litij-ionske, NiMH, olovno-kiselinske
- Prema elektro-kemijskom sastavu:
 - Litij-ionske (Li-ion)
 - Nikl-kadmij (NiCd) Olovno-kiselinske
 - Natrij-ionske (razvojne)
 - Čvrsto-elektrolitske (solid-state)
- Prema primjeni:
 - Potrošačka elektronika
 - Električna vozila (EV)
 - Industrijske aplikacije
 - Stacionarno skladištenje energije

Types of Batteries

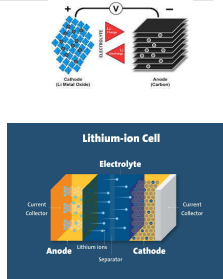


123

123

Li baterije- Uvod

- Litij baterije – skupina baterija koje koriste litij (Li) kao aktivni materijal
- Visoka energijska gustoća, dug životni vijek, niska samoispraznost
- Ključna tehnologija u modernoj prijenosnoj elektronici i električnim vozilima
- Uporaba od 1991. (komercijalizacija od strane Sony)



124

124

Li baterije- Tehnologija proizvodnje

- **Katodni materijali**
 - LiCoO₂ (LCO), LiFePO₄ (LFP), LiNiMnCoO₂ (NMC), LiNiCoAlO₂ (NCA), itd.
- **Anodni materijali**
- Grafit (najčešći), silicij-grafit, litij-metal (u razvoju)
- **Elektrolit**
 - Organski tekući (klasičan), polimerni, čvrsti (solid-state)
 - Separatori
 - Polimerni materijali (npr. polietilen, polipropilen)
- **Procesi:** Premazivanje → sušenje → valjanje → presavijanje → pakiranje → formiranje

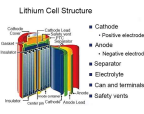



125

125

Li baterije- Značaj

- Osnovna komponenta za energetska tranziciju i dekarbonizaciju
- Omogućuju mobilnost bez emisija
- Potpora za obnovljive izvore – pohrana energije
- Globalna strateška sirovina: litij, kobalt, nikal → geopolitički značaj

126

126

Li baterije- Primjena

- Elektronički uređaji: pametni telefoni, prijenosna računala, tableti
- Električna vozila (EV): automobili, autobusi, skuteri
- Skladištenje energije: kućne baterije (npr. Tesla Powerwall), mrežni sustavi
- Zrakoplovstvo i vojna primjena
- Medicinski uređaji: defibrilatori, prijenosni aparati



127

127

Li baterije- razvoj i inovacije

- **Litij-metal baterije** – veća gustoća, niža težina
- **Solid-state baterije** – veća sigurnost, bolja stabilnost
- **Natrij-ionske baterije** – alternativa zbog ograničenja u dostupnosti litija
- **Reciklirani materijali u novim ćelijama**
- **Upravljanje baterijama (BMS)** – optimizacija trajnosti i sigurnosti



128

128

Li baterije – recikliranje i održivost

- Cilj: smanjenje sirovinskog pritiska, emisija i otpada
- Mehaničke metode: drobljenje, separacija
- Hidrometalurške metode: otapanje metala kiselinama
- Pirometalurške metode: toplinska obrada
- **EU regulativa** – obavezna stopa recikliranja, strategije kružnog gospodarstva
- ¹²⁹ Razvoj „design-for-recycling“ pristupa

129

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

- Radioaktivni materijali su tvari koje spontano emitiraju zračenje zbog nestabilnosti u atomskoj jezgri.
- Postoje prirodno prisutni radioaktivni elementi (poput urana i torija) i oni proizvedeni ljudskim djelovanjem.
- Radioaktivnost se dijeli na **alfa, beta i gama zračenje**, ovisno o vrsti emitiranih čestica ili zraka.
- Nuklearna energija proizlazi iz procesa koji uključuju atomske jezgre, najčešće **fisiju (cijepanje jezgre)** te potencijalno **fuziju (spajanje jezgri)**.
- Nuklearna energija koristi se primarno za proizvodnju električne energije, ali i u medicini, industriji i znanosti.

130

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

- Nuklearni reaktori su sustavi koji kontrolirano provode nuklearnu fisiju kako bi proizveli toplinu, koja se potom koristi za proizvodnju električne energije.
- Glavne vrste reaktora su:
 - PWR (tlakovodni reaktor)
 - BWR (reaktor s kipućom vodom)
 - **CANDU (kanadski reaktor s tečkom vodom)**
- Gorivo se obogaćuje uranom-235 i pakira u gorivne šipke. Reaktor koristi sustav hlađenja (najčešće voda) i zaštitne barijere za sprječavanje curenja zračenja. Reakcija se regulira kontrolnim šipkama koje apsorbiraju neutrone.

131

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

CANDU reactor

BOILING WATER REACTOR (BWR)

132

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

The diagram on the left illustrates the PWR cycle, showing the primary loop (reactor, steam generator, condenser, pump) and the secondary loop (steam generator, turbine, condenser, pump). Labels include: 'Pressurized Water Reactor (PWR)', 'Steam generator', 'Turbine generator', 'Condenser', 'Pump', 'Reactor', 'Primary loop', 'Secondary loop', 'Steam generator', 'Turbine generator', 'Condenser', 'Pump', 'Reactor', 'Primary loop', 'Secondary loop'. The photograph on the right shows a reactor core with numerous fuel rods.

133

133

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

- Nuklearna energija ima značajnu ulogu u globalnoj proizvodnji električne energije
- Osigurava stabilan i kontinuiran izvor energije
- **Nema emisije stakleničkih plinova tijekom rada**
- Povećava energetska neovisnost zemalja
- Ključna je u borbi protiv klimatskih promjena
- Osim toga, nuklearna tehnologija koristi se u medicini (radioterapija, dijagnostika), industriji (npr. nestruktivna ispitivanja) i istraživanjima.

134

134

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

- Nuklearno gorivo: najčešće se koristi **uran-235 i plutonij-239**
- Poluvrijeme raspada: ključno za planiranje skladištenja otpada
- Poznati incidenti: Černobilska nesreća (1986.), Fukushima (2011.)
- Nadzor: Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) prati civilnu upotrebu
- Razlika civilne i vojne upotrebe: razorni potencijal nuklearnog oružja

135

135

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

- Od prve nuklearne elektrane u Obninsku (1954.), nuklearna tehnologija se stalno razvijala
- Različite generacije reaktora (I do IV)
- Novi koncepti: brzi reaktori, torijski reaktori
- Fuzijska energija (ITER projekt) kao dugoročna nada
- Mali modularni reaktori (SMR) za decentraliziranu proizvodnju

136

136

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija – Torijski reaktori

Energy Extraction Comparison

Uranium-fueled light-water reactor: 35 GW_{th}/MT of natural uranium

233 MT of natural U ₂₃₅ (248 MT U)	333 MT of natural U ₂₃₅ (347 MT U)	33 MT of enriched U ₂₃₅ (117.6 U ₂₃₅ , 105 MT U)	3000 MW _{th} yr of thermal energy	2000 MW _{el} yr of electricity
---	---	--	--	---

Thorium-fueled liquid fluoride reactor: 11,000 GW_{th}/MT of natural thorium

0.3 MT of natural ThO ₂	0.3 MT of thorium metal	0.3 MT of ²³² Th burned to produce 1000 MW _{th} for 1 yr	100,000 MW _{th} reactor (1000 MW _{th} per 1000 MW _{el})	100,000 MW _{th} yr of thermal energy	1000 MW _{el} yr of electricity
------------------------------------	-------------------------	--	---	---	---

137

137

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija – Fuzijski reaktori

138

138

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

- **Nuklearni otpad dijeli se prema razini radioaktivnosti**
- Niskoaktivni: rukavice, alati
- Srednjeaktivni: komponente reaktora
- Visokoaktivni: istrošeno gorivo
- **Načini gospodarenja**
- Privremeno i dugoročno skladištenje (suho ili mokro)
- Geološki depoziti za trajno zbrinjavanje
- Recikliranje istrošenog goriva (npr. MOX gorivo)
- Važno je osigurati sigurnost, javnu prihvaćenost i međunarodnu suradnju u gospodarenju nuklearnim materijalima.

139

139

Radioaktivni materijali/Nuklearna energija

Nuclear Power

Pros		Cons
No greenhouse gas emissions	Fuel-efficient	Accidents could emit radioactive materials
Resilient in times of extreme weather	Job-intensive	No good solution for disposing of radioactive waste
Low operating costs	the balance	Not a renewable fuel source

140

140

Solarne ćelije – Povijesni pregled

- 1839. - **A. B. Becquerel: fotoelektrični efekt**
- 1883. - Charles Fritts: prva solarna ćelija, poluvodič selen
- 1888. - Aleksandr Stoletov: prva fotoelektrična ćelija
- 1905. - Albert Einstein je objasnio fotoelektrični efekt zbog čega je dobio i Nobelovu nagradu iz fizike 1921.
- 1941. - Russell Ohl je patentirao modernu poluvodičku solarnu ćeliju koja je otkrivena tijekom rada na unapređenjima u izradi tranzistora
- 1954. - Bellov laboratorij: prva moderna fotonaponska ćelija, p-n spoj difundiranog silicija. Efikasnost uređaja – oko 6%.
- 1960. - Elliot Berman: nova metoda za proizvodnju silicijske sirovine u vrpčanom procesu (eng. ribbon process)

141

141

Solarne ćelije – Solarni panel

How solar panels are made

142

142

Solarne ćelije – Solarni panel

- Kristalinična tehnologija predstavlja najveći dio tržišta panela danas, a dijeli se na mono i polikristalne panele.
- Mono ćelije: odrezani rubove (zbog specifičnosti procesa proizvodnje), crne boje
- Poli ćelije: pravilan četvrtasti oblik, plave
- Razlika u mono-poli panelu svodi se na snagu, učinkovitost te primjenjivost u pojedinim slučajevima. Mono je skuplji pa ga upotrebljavamo kada želimo maksimizirati količinu energije zbog ograničene površine krova. U teoriji, monopanel bolje proizvodi u uvjetima difuznog svjetla dok poli panel ima bolji temperaturni koeficijent, što znači da bi u uvjetima toplijeg podneblja proizvodio bolje.

MONOCRYSTALLINE	POLYCRYSTALLINE	THIN FILM
17% - 20%	12% - 16%	4% - 12%
30°C - 40°C	30°C - 40°C	30°C - 40°C
75% - 85%	75% - 85%	85% - 95%
3000 Pa - 4000 Pa	4000 Pa - 5000 Pa	NA

143

143

Solarne ćelije – podjelasolarnih panela

P-TYPE SOLAR CELLS

BASIC DIAGRAM OF SOLAR CELL CONSTRUCTION

144

144

Solarne ćelije – podjela solarnih panela

N-TYPE SOLAR CELLS

145

145

Solarne ćelije – podjela solarnih panela

- Obzirom na izvedbu: Integrirana

146

146

Solarne ćelije – podjela solarnih panela

- Neintegrirana: na zemlji

147

147

Solarne ćelije – podjela solarnih panela

- Neintegrirana: na vodi

148

148

Solarne ćelije – podjela solarnih panela

- Prema načinu rada:
 - MREŽNI FOTONAPONSKI SUSTAV
 - izravno se energija isporučuje u postojeću elektrodistributivnu mrežu
 - OTOČNI FOTONAPONSKI SUSTAV
 - sadrži bateriju koja se puni te koristi po potrebi

149

149

Solarne ćelije – podjela solarnih panela

150

150

Solarne ćelije – nove generacije

- Tradicionalne solarne ćelije dominantno koriste kristalni silicij
- Iako su učinkovite i dostupne, postoje ograničenja (cijena, krutost, zahtjevna proizvodnja)
- Potreba za fleksibilnijim, jeftinijim i održivijim alternativama
- Tanko filmne ćelije (Thin-film)**
- Materijali: CdTe (kadmij telurid), CIGS (bakar indij galij selenid)
- Prednosti: fleksibilne, lagane, jeftina proizvodnja
- Nedostaci: niža efikasnost u usporedbi sa Si, toksičnost (Cd), rijetki elementi
- Primjena: fasade, prijenosni uređaji, integracija u arhitekturu

151

151

Solarne ćelije – nove generacije

Perovskite solarne ćelije

- Novi tip s izuzetnim napretkom u kratkom vremenu
- Učinkovitost u laboratorijima > 25%
- Prednosti: jeftina proizvodnja, lagani i fleksibilni materijali
- Izazovi: stabilnost, degradacija pod UV svjetlom i vlagom, upotreba olova
- Aktivna istraživanja u smjeru stabilnosti i zamjene olova

152

152

Solarne ćelije – nove generacije

Organske solarne ćelije (OPV)

- Bazirane na organskim polimerima ili molekulama
- Vrlo tanke, fleksibilne, poluprozirne – estetski privlačne
- Prednosti: jeftina masovna proizvodnja (rolna po rolna), mogućnost ispisa
- Nedostaci: niska učinkovitost (~10%), kratak vijek trajanja
- Potencijal: pametna odjeća, prozori, senzori

153

153

Solarne ćelije – nove generacije

Kvantne točke (Quantum Dots)

- Nanomaterijali koji apsorbiraju i emitiraju svjetlost
- Moguće fino podešavanje spektra apsorpcije
- Veliki potencijal za tandem ćelije i fleksibilne aplikacije
- Izazovi: toksičnost nekih materijala (npr. kadmij), niza efikasnost

154

154

Solarne ćelije – nove generacije

Tandem ćelije i hibridne tehnologije

- Kombinacija više materijala/ćelija za viši učinak (npr. Perovskit + Si)
- Omogućuju bolje iskorištenje solarnog spektra
- Rekordne učinkovitosti >30% u laboratorijima
- Budućnost industrije: sinergija tehnologija za maksimalnu učinkovitost

155

155

Solarne ćelije – nove generacije

Tehnologija	Učinkovitost	Cijena	Fleksibilnost	Stabilnost
Si ćelije	18–22%	Srednja	Niska	Visoka
Perovskiti	20–25%	Niska	Visoka	Niska
OPV	5–13%	Vrlo niska	Vrlo visoka	Niska
CIGS	13–20%	Srednja	Visoka	Srednja
Tandem	25–32%	Visoka	Varira	Visoka

156

156

Solarne ćelije - nove generacije

- Nove generacije solarnih ćelija donose raznolikost u primjeni
- Fokus na fleksibilnost, održivost i visoku učinkovitost
- Izazovi u stabilnosti, dostupnosti materijala i skaliranju
- Očekuje se integracija više tehnologija za rješenja budućnosti



157

157

SOLARNE ĆELIJE - RECIKLIRANJE

Zašto reciklirati?

- ✓ Vrijedni materijali
- ✓ Ekološki razlozi
- ✓ Održivost

Proces recikliranja


1. Demontaža
2. Termička obrada
3. Drobljenje
4. Ekstrakcija

Izazovi budućnost

- Trošak i tehnologija
- Bolji dizajn
- Zakonodavstvo

Izazovost

- Staklo: 95%
- Aluminij: 100%
- Silicij: 85%




158

158

SENZORI

- pretvornik ili mjerno osjetilo
- „sensus“ - „osjet“ ili „osjećanje“
- predstavlja dio mjernog sustava, a dovodi se u vezu sa mjerenom veličinom i pruža izlazni signal
- mjerena veličina je fizikalna veličina iz prirode npr. temperatura, vlažnost zraka ili tlak
- izlazni signal - električni signal



159

159

SENZORI

- ključna ulogu u modernoj tehnologiji i imaju značajan utjecaj na različite aspekte života i industrije
- ZDRAVSTVO – praćenje pacijenata, nosivi uređaji, implantanti
- INDUSTRIJA – automatizacija, prediktivno održavanje, kontrola kvalitete
- SIGURNOST – sigurnosni sustavi, sustavi za prevenciju nesreća
- OKOLIŠ – praćenje kvalitete zraka i vode, meteorološki senzori
- TRANSPORT – pametni transportni sustavi
- DNEVNI ŽIVOT – pametni domovi, potrošačka elektronika
- INTERNET OF THINGS TEHNOLOGIJA (IoT) – povezanost uređaja

160

160

SENZORI - SPECIFIKACIJE

1. OSJETLJIVOST
2. RASPON MJERENJA
3. PRECIZNOST
4. TOČNOST
5. REZOLUCIJA
6. BRZINA ODZIVA
7. LINEARNOST
8. HISTEREZA
9. TEMPERATURNI STABILNOST
10. ROBUSNOST
11. POTROŠNJA BATERIJE
12. VELIČINA I TEŽINA

161

SENZORI

KLASIFIKACIJA SENZORA

- AKTIVNI I PASIVNI SENZORI**
 - **AKTIVNI** – potreban vanjski uzbudni signal ili signal napajanja
 - **PASIVNI** – direktno generiraju izlazni odziv
- SREDSTVA ZA OTKRIVANJE SENZORA**
 - identifikacija i analiziranje senzora u različitim sustavima: fotoelektrični, termoelektrični, elektrokemijski, elektromagnetski, termooptički
- ANALOGNI I DIGITALNI SENZORI**
 - **ANALOGNI** - proizvode analogni izlaz (kontinuirani izlazni signal)
 - **DIGITALNI**- rade s digitalnim podacima

162

SENZORI - Razvoj

- dubok utjecaj na različite znanstvene i industrijske discipline
- ključni trenutci u razvoju su otkrića u fizici, kemiji te tehnološki napredak

POVJESNI TRENUTCI U RAZVOJU SENZORA:

1. Termometar (17. st.)
2. Barometar (17. st.)
3. Galvanometar (19. st.)
4. Fotometar (19. st.)
5. Seizmograf (19. st.)
6. Kvarcni kristalni oscilator (20. st.)
7. Mjerilo deformacija (20. st.)
8. Poluvodički senzori (20. st.)
9. Senzori za plin (20. st.)

- izumom ovih senzora postavljeni su temelji za razvoj suvremene tehnologije senzora

163

SENZORI - Podjela

- **VRSTA MJERNE VELIČINE**
- **FIZIČKI SENZORI** – temperaturni senzori, senzori za tlak, senzori za vlagu, senzori za brzinu, senzori za svjetlost
- **KEMIJSKI SENZORI** – pH senzori, senzori za plinove
- **BIOLOŠKI SENZORI** – biosenzori, senzori za vitalne znakove

164





SENZORI - Podjela

- OPTIČKI SENZORI
- ELEKTRIČNI SENZORI
- PIEZOELEKTRIČNI SENZORI
- KAPACITIVNI SENZORI
- INDUKTIVNI SENZORI
- TERMOELEKTRIČNI SENZORI

165

165



SENZORI - Tehnologija proizvodnje



- niz naprednih tehnika i pristupa koje omogućavaju stvaranje naprednih i pouzdanih senzora

1. Odabir materijala
2. Fotolitografija
3. Kemijsko graviranje
4. Depozicija tankog filma
5. 3D tiskanje
6. Nanofabrikacija
7. MEMS tehnologija
8. Pakiranje i enkapsulacija
9. Kalibracija i testiranje
10. Bežična komunikacija

- kombinacijom ovih tehnologija razvijaju se napredni senzori koji su minijaturni, energetski učinkoviti

166

166



SENZORI - Suvremeni senzori

- dinamičko i interdisciplinirano područje koje kombinira napredne tehnologije i materijale za stvaranje visoko učinkovitih senzora
- napredak u mnogim industrijama i u svakodnevnom životu
- SENZORI ZA Internet of Things tehnologiju (IoT) - INDUSTRIJA 4.0
- AUTOMOBILSKI SENZORI
- PAMETNI SENZORI
- MEDICINSKI SENZORI
- OPTIČKI SENZORI
- KEMIJSKI SENZORI
- SENZORI ZA OKOLIŠ
- FLEKSIBILNI SENZORI

167

167



SENZORI - Suvremeni senzori

- prvi suvremeni senzor - senzor koji se koristio kao protuprovalni alarm sredinom 20. st. (Samuel Bagno)
- senzor za pokret - koristio se za vrijeme Drugog svjetskog rata, a kasnije u svrhu zabave (Nintendo Wii - kombinacija daljinskog i joystick upravljača - senzori ubrzanja i senzor za infracrveno orijentiranje)




168

168

SENZORI – Automobilska industrija

- **lamda sonda** - senzor čiji je zadatak prosljeđivanje informacija o tome koliki se postotak kisika nalazi u ispušnim plinovima automobila
- **prve lamda sonde** – Robert Bosch, 1970. za primjenu na Volvu- pri zagrijavanju lamda sonde na radnu temperaturu računalo automobila ne bi imalo povratne informacije – to je bio problem
- rješenje problema- ugrađivanje keramičkog grijača u centar lamda sonde
- **danas** - preko 20 senzora kao što su senzori brzine vožnje, senzori detekcije tlaka u gumama, senzor parkiranja, senzor za zračne jastuke



169

169

SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)

- omogućuje stvaranje pametnih sustava i infrastrukture koja poboljšava učinkovitost, produktivnost i udobnost u različitim područjima
- senzori detektiraju događaj od interesa te se podatak o detektiranom događaju šalje u mrežni poslužitelj
- važno je odabrati komunikacijsku tehnologiju (Zigbee, LoRa, NFC, LTE)




170

170

SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)

- ovaj koncept omogućuje upravljanje na daljinu s ciljem povezivanja svakodnevnih fizičkih uređaja na Internet čime se omogućuje razmjena podataka u bilo kojem trenutku
- rad osnovan na konceptu umreženosti
- IoT se koristi u industriji, kućnoj automatizaciji, medicini, trgovini, transportu



Korisnička elektronika -povezani uređaji -nosivi uređaji -robotika	Prigovor -pametni prigovor -autonomna vozila	Prodaja i bankarstvo -mreža plaćanja -prodaja	Okoliš -otlak voda -rijetni klima -zaka -zagađenje	Infrastruktura -zgrade i kuće -resur -sigurnost
Komunalne usluge -pametna mreža -opravljanje vodom -gariva -oborivizivori	Zdravstvo -gledanje na daljinu -spet. films -operacije	"pametni grad" -mator -javna sigurnost -komunikacije	Industrija -robotika -grobnoizidja -automatizacija	Agrikultura -zemljišta -sijilja

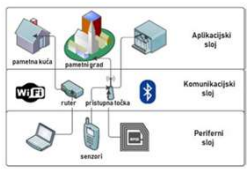
171

171

SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)


- **sastoji se od 3 glavna tehnološka sloja**

1. sloj percepcije (hardverski sloj) – čipovi, senzori
2. komunikacijski sloj – bežične mreže, žičane mreže, Internet
3. aplikacijski sloj (softverski sloj)




172

172

 SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)

- **PREDNOSTI IoT**
 - učinkovito raspolaganje resursima
 - smanjen ljudski napor
 - štednja vremena
 - automatsko prikupljanje podataka
 - poboljšani rad međusobnom komunikacijom fizičkih uređaja
- **NEDOSTACI IoT**
 - smanjena sigurnost
 - velik broj izloženih osobnih podataka
 - složenost i trošak izgradnje



173

173

 SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)

- Industrijski IoT / Industrija 4.0
- industrijska revolucija u kojoj se koriste umreženi uređaji u razne svrhe
- inteligentno umrežavanje uređaja naprednim informacijsko-komunikacijskim tehnologijama i naprednim senzorima
- poboljšanje proizvodnje, smanjenje trajanja proizvodnje, poboljšanje kvalitete proizvoda



174


174

 SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)

- Primjeri 4.0:
 - Amazon koristi robote u skladištu čime se smanjuju troškovi, a omogućuje se bolje korištenje prostora
 - Kuka, europski proizvođač opreme nudi autonomne robote koji mogu međusobno komunicirati
 - ABB koristi robote koji su posebno dizajnirani da sklappaju proizvode
 - Phillips u svojoj tvornici ima 128 robota za proizvodnju električnih brijaa i samo 9 ljudi za osiguravanje kvalitete
 - zrakoplovne tvrtke koriste aditivnu proizvodnju za primjenu novog dizajna koji smanjuje težinu aviona i time smanjuje troškove skupih sirovina (titan)
 - medicinski implantati po mjeri – pomoću aditivne tehnologije se izrađuju individualne proteze
 - američki nogomet – nakon 3D skana radi se kaciga koja odgovara individualnim mjerama

175

175

 SENZORI – Internet of Things tehnologija (IoT)

- **PREDNOSTI INDUSTRIJE 4.0**
 - moguća obrada individualnih zahtjeva kupaca – kako bi se povećalo zadovoljstvo korisnika
 - smanjen pritisak na radnike – poboljšana kvaliteta rada
 - umreženost uređaja povećava konkurentnost, produktivnost i efikasnost industrijskih grana
 - smanjeni troškovi proizvodnje
 - virtualizacija – odskakanje 4.0 od ostalih industrija
- **MANE INDUSTRIJE 4.0**
 - manjak zaštite podataka
 - povezanost na Internet
 - nabavka po potrebi- zastoju u vremenu nabavke
 - izazov zaposlenicima
 - skupo održavanje procesa, dok implementacija infrastrukture nije toliko skupa

176

176

  SENZORI – Pametni senzori



- pametna kuća
- nosive stvari
- pametni gradovi
- pametne mreže
- pametni automobili
- pametno zdravstvo

Smart Sensor




177

177


  SENZORI – Pametni grad

- glavnu ulogu imaju pametni senzori i komunikacijske tehnologije
- oslonac su senzori koji mogu osjetiti parametre iz okoliša, pratiti javnu infrastrukturu, zgrade, ceste, mostove
- napredni grad mora imati milijune senzora i senzorskih čvorova koji moraju biti raspoređeni po teritoriju kako bi mogli prikupljene podatke poslati u središnji informacijski sustav
- milijuni senzora i čvorova međusobno su povezani WSN mrežama
- svaki uređaj mora imati IP kako bi se povezoao na WSN mrežu



178

178

  SENZORI – Recikliranje

- ključna komponenta održivog upravljanja otpadom
- smanjenje ekološkog otiska, očuvanje resursa, zaštita okoliša

1. **PRIKUPLJANJE I RAZVRSTAVANJE** – prema vrsti i materijalu jer različite vrste senzora zahtijevaju različite postupke recikliranja
2. **DEKONTAMINACIJA** - uklanjanje bioloških, kemijskih i radioaktivnih kontaminanata
3. **DEMONTAŽA** – razdvajanje senzora na metalne dijelove, plastična kućišta, staklene elemente i elektroničke komponente
4. **OBRADA MATERIJALA** – metalni dijelovi (bakar, aluminij, čelik) se mogu ponovno upotrijebiti; plastični dijelovi se usitnjavaju i obrađuju kako bi se mogli koristiti kao sirovina za proizvodnju novih plastičnih proizvoda; stakleni dijelovi se koriste ponovno u proizvodnji staklenih proizvoda
5. **OBRADA ELEKTRONIČKIH KOMPONENTI** – ekstrakcija dragocijenih metala; obrada silicija;

179

179

  SENZORI – Tehnologije za recikliranje

1. **MEHANIČKA RECIKLAŽA** – fizičko odvajanje komponenti (mljevenje, drobljenje i sortiranje)
2. **KEMIJSKA RECIKLAŽA** - korištenje kiselina i lužina za otapanje metala
3. **TERMALNA RECIKLAŽA** - upotreba visoke temperature za spaljivanje organskih spojeva i topljenje metala

PROBLEMI: mali dijelovi, opasni materijali, složeni materijali

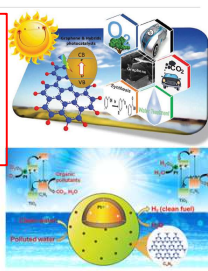


180

180

FOTOKATALIZA

- Fotokataliza -> foto (grč. phos: svjetlo) i kataliza (grč. katalyo: rastaviti)
- = proces u kojim se koristi svjetlost kako bi se aktivirao fotokatalizator koji mijenja brzinu kemijske reakcije bez da sudjeluje u njoj
- = kombinacija kemijskih i katalitičkih reakcija u prisustvu svjetla
- 1960. znanstvenik Fujishima

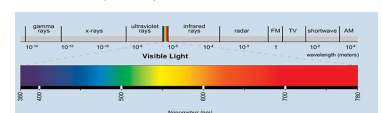


181

181

FOTOKATALIZA

- korištenje UV ili VIS (vidljive) svjetlosti



UV SVJETLOST

- dio elektromagnetskog spektra
- 100-400 nm
- Visoka energija
- 10% prirodnog sunčevog svjetla

VIS SVJETLOST

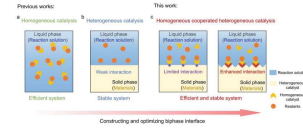
- 400-700 nm
- veći dio sunčevog spektra
- iskorištavanje solarne energije za fotokatalitičke procese

182

182

PODJELA FOTOKATALITIČKIH REAKCIJA

- Homogena fotokataliza** -> fotokatalizatori i reaktanti u istoj fazi
- primjer: reakcije hidrolize u prisutnosti kiselina ili baza koje su katalizatori



- Heterogena fotokataliza** -> fotokatalizatori u jednoj, a reaktanti u drugoj fazi
- primjer: plinovite reakcije na čvrstim metalnim i drugim površinama

183

183



FOTOKATALIZATOR

- Kemijski spoj koji ubrzava kemijsku reakciju kad je izložen svjetlu
- Razgradnja organskih tvari koji se nalaze na njegovoj površini jer uzrokuje oksidativnu razgradnju
- Inhibicija rasta mikroba
- Djelovanje proporcionalno količini svjetlosti i površini koja je izložena svjetlosti

TEMELJNA RAZLIKA	
OBIČAN KATALIZATOR	FOTOKATALIZATOR
o Aktivacija toplinom	o ApSORPCIJA fotona odgovarajuće energije

184



184

  **FOTOKATALIZATOR**

- Primjena ovisi o: veličini čestica fotokatalizatora, energiji zabranjene zone, aktivnoj površini te njegovim fizikalnim i kemijskim značajkama
- Poželjna svojstva:
 1. Fotoaktivnost
 2. Biološka i kemijska inertnost
 3. Stabilnost
 4. Senzitivitet na vidljivi i UV dio spektra
 5. Netoksičnost
 6. Prihvatljivost za okoliš
 7. Niska cijena

185

185

  **FOTOKATALIZATOR**

- Po prirodi su poluvodiči
- Njihovu elektronsku strukturu čine:
 - a) najviše popunjena valentna vrpca (VB)
 - b) najniža prazna vodljiva vrpca (CB)
 } odvojene energetskim nivoima
 -njihova razlika u energiji:
 energija zabranjene zone (Eg)

Energija fotona ($h\nu$) \geq energija zabranjene zone = pobuđivanje elektrona (eCB-) iz valentne u vodljivu vrpca \rightarrow Nastaje par elektron-šupljina (eCB- h+ VB)

186

186

  **TiO₂ KAO FOTOKATALIZATOR**



- Najčešće korišteni fotokatalizator
- U mraku stabilan
- Aktivan postaje pri izloženosti UV zračenju $\lambda > 390$ nm
- Ne adsorbira u vidljivom dijelu spektra
- Kemijski i biološki stabilan
- Niska toksičnost i cijena

$$(TiO_2) \xrightarrow{h\nu} e^-_{cb}(TiO_2) + h^+_{vb}(TiO_2)$$

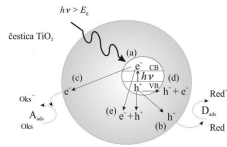


187

187

  **TiO₂ KAO FOTOKATALIZATOR**

- Glavni procesi u čestici poluvodiča TiO₂:
 - a) nastajanje para elektron-šupljina
 - b) oksidacija adsorbirane molekule D
 - c) redukcija adsorbirane molekule A
 - d) rekombinacija na površini čestice
 - e) rekombinacija u unutrašnjosti čestice



188

188

OSTALI FOTOKATALIZATORI

FOTOKATALIZATOR	NEDOSTATAK
ZnO	Nestabilan u mnogim otopinama, fotokorozija
WO ₃	Niska fotokatalitička aktivnost
GdS	Nestabilan, otrovan
PbS	Nestabilan, otrovan
Plemeniti metali	Podložni deaktivaciji
Fe ₂ O ₃	Nepouzdana učinkovitost

189

IZVEDBA FOTOKATALIZATORA

- U suspenziji, imobiliziran na čvrstim nosačima ili kao fluidiziran sloj
- U SUSPENZIJI
 - napredni oksidacijski procesi
 - velika površina
 - nedostatak: potreba za filtracijom
- NA NOSAČIMA
 - imobilizira se u tankim slojevima
 - nosači: SiO₂, staklo, polimeri, keramika, vlakna, aktivni ugljen itd.

190

PROIZVODNJA FOTOKATALIZATORA

191

SINTEZA FOTOKATALIZATORA

- SOL-GEL METODA
- Hidroliza prekursora -> koloidna suspenzija
- Formiranje gela (kondenzacija)
- Sušenje gela
- Kalcinacija gela (visoke temp.)
- > dobivanje kristalnog fotokatalizatora

PREDNOSTI	NEDOSTACI
➢ Mogućnost kontrole veličine čestica i morfologije	➢ Dugotrajan proces
➢ Visoka homogenost proizvoda	➢ Potreba za visokim temperaturama

192

SINTEZA FOTOKATALIZATORA

- **HIDROTERMALNA SINTEZA**
- uključuje kemijske reakcije u vodenoj otopini pod visokim tlakom i temperaturom u zatvorenim posudama (autoklavima).
- Priprema otopine: Prekursori se otapaju u vodi
- Reakcija pod visokim tlakom: Otopina se prenosi u autoklav i zagrijava na visoke temperature pod visokim tlakom
- Hlađenje i skupljanje: autoklav se hladi, a nastali fotokatalizator se prikuplja, pere i suši

FREDNOSTI	NEDOSTACI
➢ sinteza nanokristala s kontroliranom veličinom i morfologijom	➢ Potreba za specijaliziranom opremom (autoklavi)
➢ Relativno jednostavna metoda	➢ Ograničena veličina proizvodne serije

193

SINTEZA FOTOKATALIZATORA

- **SOLVOTERMALNA SINTEZA**
- Slična hidrotermalnoj osim što se umjesto vode koriste organska otapala
- **MEHANOKEMIJSKA SINTEZA**
- Uključuje mljevenje i miješanje čvrstih reaktanata u kugličnim mlinovima ili drugim uređajima za mehaničku aktivaciju

FREDNOSTI	NEDOSTACI
➢ Brz i jednostavan postupak	➢ Ograničena kontrola nad veličinom i oblikom čestica
➢ Niska energetska potrošnja	➢ Potreba za daljnjom obradom za poboljšanje svojstava materijala

194

193

194

MODIFIKACIJE FOTOKATALIZATORA

- S ciljem poboljšanja: fotokatalitičke aktivnosti, selektivnosti, stabilnosti i reaktivnosti

1. Dopiranje
2. Impregnacija
3. Kombiniranje s drugim materijalima
4. Nanostrukturiranje

195

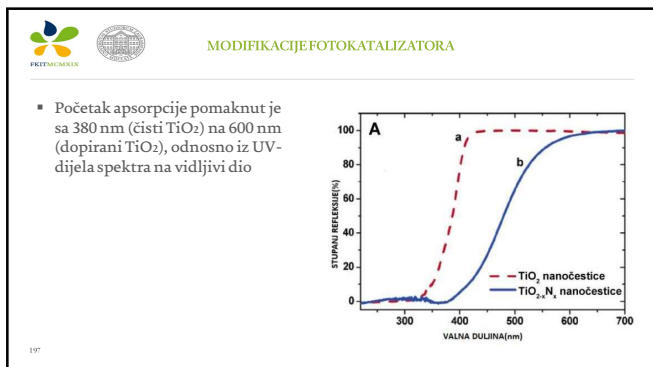
MODIFIKACIJE FOTOKATALIZATORA

- **DOPIRANJE**
- uvođenje stranih atoma u kristalnu rešetku fotokatalizatora radi poboljšanja njegovih fotokatalitičkih svojstava
- Primjeri:
 - N-dopiranje TiO₂: uvođenje dušika u kristalnu rešetku TiO₂ -> povećanje apsorpcije svjetlosti u vidljivom području te poboljšanje fotokatalitičke aktivnosti
 - M-dopiranje ZnO: dodavanje metalnih iona (npr. Fe, Mn) u kristalnu rešetku ZnO -> utjecaj na energijski nivo valentne trake te poboljšanje apsorpcije svjetlosti i fotokatalitičke aktivnosti

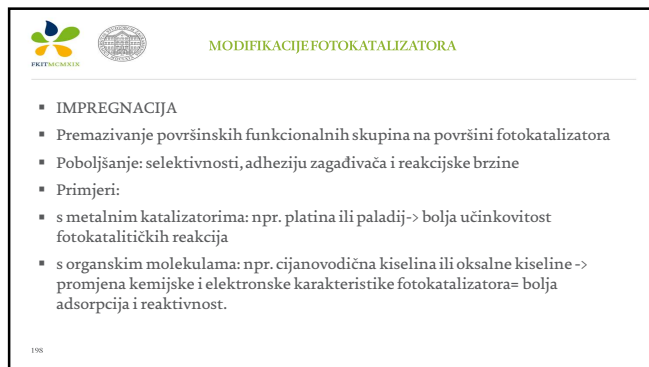
196

195

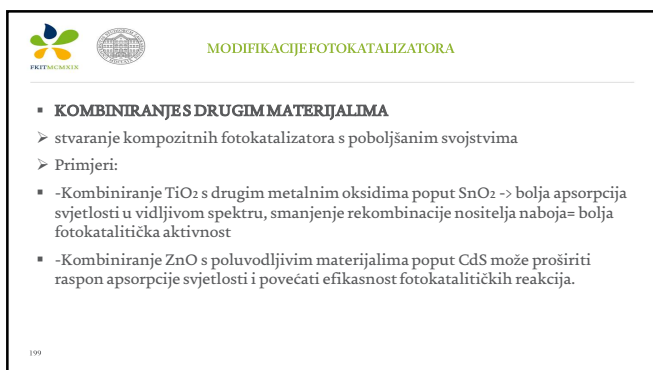
196



197



198



199



200



KARAKTERIZACIJA FOTOKATALIZATORA

- Određivanje strukture, morfologije, veličine čestica i fotokatalitičke aktivnosti
- rendgenska difrakcija: određivanje kristalne strukture
- skenirajuća i transmisijska elektronska mikroskopija: analiza morfologije i veličine čestica
- UV-Vis spektroskopija: određivanje apsorpcijskih svojstava i energetske širine zabranjenog zone
- FTIR : identifikacija kemijskih funkcionalnih skupina na površini fotokatalizatora.

201

201



PRIMJENA FOTOKATALIZATORA

NAMENA FOTOKATALIZE	KATEGORIJA	PRIMJENA
OBRAĐA ONEČIŠĆENOG ZRAKA	ZATVORENI PROSTOR	pročišćavači za sobe, pročišćivači za bačvice, kominski uređaji za ugostiteljski i općinski sustave
	OTVORENI PROSTOR	vanjski pročišćivači za ceste, tunele, izlaze iz grada
OBRAĐA VODE	VODA ZA PICE	priprema vode za piće iz rijeka, potopne vode, pitna i sportska voda
	OSTALO	obrada otpadne za ribu, industrijske vode i dječje vode
SAMO-ČIŠĆENJE	MATERIJALI ZA UREDE	plastične površine, papirne lampone, kuhinjski i kupatelski namještaj
	UNUTARNJE I VANJSKE LAMPE	prozorski papir za lampe, staklo za vanjske lampe, prozorske na fluorescentnim lampama
	PROJEKT	lunarni brodovi, svemirski prometnici, sateliti i reflektori
	OSTALO	vožnje i bojičke odnosa, sprazni za auto
	BOJENICA	podnosi i zidovi operacijskih jela, bojičke odnosa, prozor za operacije
STERILIZACIJA	OSTALO	jevi tuneli, kupanke i sobe za ugošćenje stolica
AKTIVNOSNA AKTIVNOST	TERAPIJA ZA RAK	endokapsni instrumenti

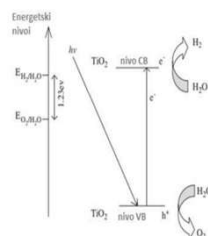
202

202



PRIMJENA FOTOKATALIZATORA

- ZA PROIZVODNJU ENERGIJE- vodika
- fotokatalitičkim razdvajanjem vode u foto-elektroćeliji
- =proces umjetne fotosinteze za disocijaciju vode na vodik i kisik korištenjem prirodnog ili umjetnog svjetla
- prednost ove tehnologije je jednostavnost njene izvedbe
- TiO₂ je najčešće korišteni poluvodič



203

203




RECIKLIRANJE FOTOKATALIZATORA

- REGENERACIJA
- Kemijska regeneracija- tretiranje kemijskim tretmanima
- Npr. ispiranje s otapalima, tretiranje s kiselinama ili bazama
- Termalna regeneracija- zagrijavanje na visoke temperature
- -> uklanjanje adsorbiranih tvari i obnova površinske aktivnosti

204


204


RECIKLIRANJE FOTOKATALIZATORA

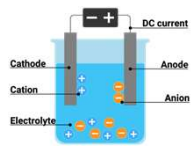
- REKRISTALIZACIJA
- Obnavljanje kristalne strukture i poboljšanje učinkovitosti
- MEHANIČKA OBRADA
- Brušenje i mljevenje
- Uklanjanje površinske nečistoće i stvaranje nove aktivne površine
- ZAMJENA I RECIKLAŽA KOMPONENTI
- Fotokatalizatori koji sadrže rijetke ili skupe metale
- Izdvajanje i recikliranje metala za ponovnu upotrebu

205

205



ELEKTROLIZA

- Elektrokemijska reakcija primjene istosmjerne električne struje za pokretanje nespontanih kemijskih reakcija—pretvaranje električne u kemijsku energiju
- Potencijal raspadanja—minimalan potencijal potreban za odvijanje elektrolize.
- Za odvijanje elektrolize potrebne su tri ključne komponente:**
 - elektrolit**,
 - elektrode**
 - vanjski izvor struje**,
 - + razne pregrade.
- Ionske vrste kreću se prema obrnuto nabijenoj elektrodi:
 - kationi prema negativnoj katodi (redukcija) i
 - anioni prema pozitivnoj anodi (oksidacija).

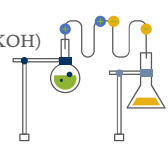


206

206



PRIMJENA ELEKTROLIZE

- Izdvajanje metala iz ruda (boksit Al, Hall-Héroultov proces)
- Elektroplatanje—proces oblaganja površine metala s tankim slojem drugog metala (Au, Ag, Pt)
- Proizvodnja H_2 i O_2 —najčešća primjena
- Pročišćavanje metalama (Cu)
- Industrijska proizvodnja kemikalija (Cl_2 , NaOH, KOH)

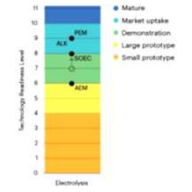


207

207


ELEKTROLIZERI

- Elektrokemijski članak u kojem se odvija elektroliza, razlikuju se prema načinu izvedbe i primjeni
- Tehnologije elektrolize H_2O :**
 - Alkalni elektrolizeri
 - Polimerni-membranski elektrolizeri (PEM)
 - Elektrolizeri s čvrstim oksidima (SOEC)
 - Anionski izmjenjivački membranski elektrolizer (AEM)
 - Mikrofluidički elektrolizer
- Hall-Héroultov proces—proizvodnja Al
- Tehnologije klor-alkalnog postupka—proizvodnja Cl_2 i NaOH:**
 - Membranska elektroliza
 - Dijafrazmatska elektroliza



208

208

ALKALNI ELEKTROLIZERI

- Nosioč naboja: OH⁻
- Elektrolit je otopina KOH ili NaOH (w = 20%-30%)
- Membrana je propusna za OH⁻ ione, ali nepropusna za H₂ i O₂
- Današnje membrane tipa Zifron UTP 500 (hidrofilan polifenilen sulfidni materijala obložen slojem polimera i cirkonovog oksida) i membrane na temelju kompozita (polisulfoni s mineralnim punilima).
- Katalitičko djelovanje elektroda (Ni, Ni-Fe, Ru na nosaču od Ce-Ni)

Operating Temperature [°C]	Operating Pressure [Bar]	Cathode Gas	Membrane and Electrolyte	Anode Gas
80-220	<10	H ₂ , H ₂ O	KOH Electrolyte	O ₂ , H ₂ O

$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ $2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$

209

209

ALKALNI ELEKTROLIZERI

- Najbitnija modifikacija je razvoj "Zero gap cell"
- nema razmaka između membrane i elektroda.

- Uz samu elektrolitičku ćeliju na shemi su vidljive ostale komponente potrebne pri proizvodnji vodika i kisika.
- Pretvornici izmjenične struje, separacijske sustave za odvajanje i odvođenje dobivenih produkata od elektrolit, sustave za hlađenje elektrolizera, sustave za sušenje dobivenog plina na izlazu iz postrojenja.

210

210

Polimerni membranski elektrolizeri (PEM)

- 1/5 globalnog kapaciteta proizvodnje H₂
- Nosioč naboja: H⁺
- Membrana/elektrolit je čvrsti polimerni materijal—najčešće se koristi nafion odnosno perfluorosulfonska kiselina (PSFA)
- Elektrode moraju biti otporne na koroziju i dobri katalizatori (platiranje sa Au, Ti i elektrode od Pt, Ir, Ru)—skuplja izvedba

Operating Temperature [°C]	Operating Pressure [Bar]	Cathode Gas	Membrane and Electrolyte	Anode Gas
60-80	<10	H ₂	Polimer Electrolyte Membrane (PEM)	O ₂ , H ₂ O

$2H_2 + 2e^- \rightarrow H_2 + 2H^+$ $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$

Nafion

211

211

Elektrolizeri s čvrstim oksidima (SOEC)

- Nosioč naboja: O²⁻
- Membrana je čvrsti oksid (npr. ZrO₂, stabiliziran Y)
- Moguć je rad pri vrlo visokim temperaturama i tlakovima te ima izrazito dobru efikasnost
- Nije komercijalno razvijen

Operating Temperature [°C]	Operating Pressure [Bar]	Cathode Gas	Membrane and Electrolyte	Anode Gas
600-1000	<10	H ₂ , H ₂ O	ZrO ₂ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , Y ₂ O ₃	O ₂

$H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O^{2-}$ $O^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$

212

212

Anionski izmjenjivački membranski elektrolizeri (AEM)

- Tehnologija kombinira prednosti tradicionalnih alkalnih elektrolizera i polimernih membranskih (PEM) elektrolizera.
- Nosiocnaboja: OH⁻**
- Elektrolit je otopina NaOH (w = 1%).
- Elektrode su od Ni—manji trošak
- Korišteni polimer je često polietilenoksim (PEO)
- Visoka efikasnost

213

213

Za što se koristi zeleni H₂

- "zeleni"** naziv vodik dobiva zbog toga što se proizvodi pomoću obnovljivih izvora energije ili procesa koji ne emitiraju CO₂.
- Zeleni vodik se koristi kao čista i održiva alternativa u različitim sektorima industrije kao zamjena za vodik dobiven iz fosilnih goriva.
- Primjena:**
- Gorivne ćelije** može se koristiti kao gorivo za proizvodnju električne energije—proces je čist i učinkovit, a nusprodukt je H₂O.
- Transport** može se koristiti kao gorivo u vodikovim vozilima kao alternativa fosilnim gorivima.
- Industrija** može biti sirovina u kemijskoj industriji za proizvodnju amonijaka, metanola i drugih kemijskih spojeva.
- Skladištenje energije** može se koristiti za pohranu viška električne energije iz obnovljivih izvora poput solarnih i vjetroelektrana.
- Elektroliza za proizvodnju vodika može se koristiti kada postoji višak električne energije.

214

214

Power to Gas

- Pojam podrazumijeva niz koraka koji povezuju obnovljive izvore energije te proizvodnju i iskorištavanje plinskog goriva, koja se inače dobivaju iz neobnovljivih izvora energije.
- 1. korak:** iskoristenje obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije—električna energija se koristi za elektrolizu H₂O—proizvodi se H₂.
- 2. korak:** dobiveni H₂ miješa se sa CO₂ te se procesom metanacije prevodi u CH₄.

215

215

Proizvodnja aluminija

- Hall-Héroultov proces**
- Omogućava masovnu proizvodnju elementarnog Al—prije se Al smatrao rijetkim metalom (pronalazak u obliku rude).
- Danas i dalje glavni način proizvodnje
- Katoda: izrađena od grafitu/ugljika.
- Anoda: izrađena od debelih šipki ugljika—kako bi se spriječilo izgaranje obložene su slojem ugljena što također sprečava gubitak topline iz elektrolita.
- Sirovina: glinica (Al₂O₃) dobivena iz boksita Bayerovim postupkom.
- Elektrolit: kriolit (Na₃AlF₆)—smanjuje talište Al₂O₃ (>2000 960°-990°C).
- Na katodi dolazi do redukcije Al₂O₃ u elementarni Al, koji se skuplja na dnu ćelije. Ugljične anode stvaraju nascentni kisik tijekom procesa i nastaje CO, koji daljnjom oksidacijom prelazi u CO₂ kao nusprodukt.


Katoda: Al³⁺ (molit) + 3e⁻ → Al(l)
 anoda: C(s) + O²⁻ (molit) → CO(g) + 2e⁻
 C(s) + 2O²⁻ (molit) → CO₂(g) + 4e⁻

216

216

Proizvodnja aluminija

- Pošto je proces i dalje primaran u proizvodnji elementarnog Al nastoji se unaprijediti proces.
- Primjeri:
 - Korištenje inertnih elektroda čime bi se smanjilo trošenje anoda i proizvodnja CO₂,
 - modifikacije elektrolita dodatkom aditiva za poboljšanje vodljivosti i razvijanje novih elektrolita za smanjenje radne temperature,
 - korištenje obnovljivih izvora energija,
 - recikliranje CO₂ i Al.

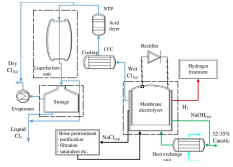


217

217

Proizvodnja Cl₂ i NaOH

- Klor-alkalni postupak
- Proces proizvodnje Cl₂ (primarni produkt), NaOH i H₂ visoke čistoće elektrolizom otopine NaCl.
- Dvije su osnovne tehnologije proizvodnje:
 - Membranske (62 %) i
 - Dijafragmatske (28%).
- Živin/amalgamski proces kao alternativni (<8 %)-koristi živinu katodu
- tijekom procesa se stvara Na-amalgam, koji se reakcijom s H₂O
- raspada na NaOH i H₂ dok na anodi nastaje Cl₂



Shematski prikaz membranskog postupka

218

218

Dijafragmatske i membranske tehnologije

- Koristi poroznu dijafragmu koja djelomično razdvaja anodne i katodne komore, omogućavajući prolaz iona, ali sprječava potpuno miješanje elektrolita.
- Proizvedeni NaOH niže je čistoće.
- Ekološki manje prihvatljiv, jednostavnija izvedba, manji operativni troškovi.
- Ion-selektivna membrana, koja razdvaja anodni i katodni prostor, propušta samo katione (Na⁺ ione) dok sprječava prolaz aniona i miješanje proizvoda elektrolize.
- Proizvedeni NaOH visoke je čistoće.
- Složen je sustav, ali je ekološki prihvatljiviji.

katoda $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$
 anoda $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

219

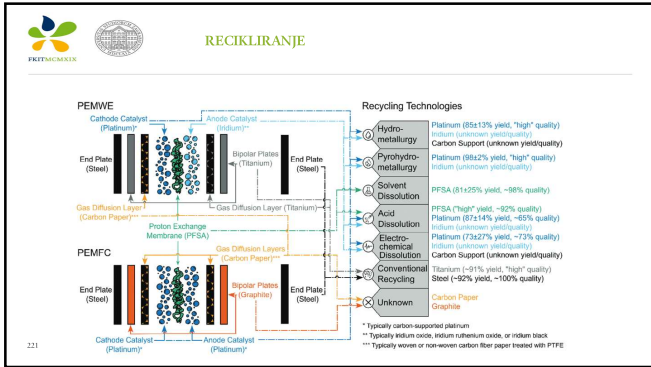
219

REKILIRANJE

- Cirkularna ekonomija implementira se u nekim od obnovljivih izvora energije kao što su fotonaponske ćelije, vjetrenjače, litij-ionske baterije—recikliranje elektrolizerskih članaka je izrazito složeno zbog kompleksne strukture.
- Pr. Polimerni membranski elektrolizeri—sadrže tanke slojeve plemenitih i rijetkih metala na površini elektrode pa se stoga najviše fokusira na njihovo recikliranje.
- Strategije recikliranja, koje su razvijene uključuju:
 - hidrometalurgiju—**izdvajanje vrijednih metala korištenjem otapala,**
 - pirometalurgiju—**izdvajanje vrijednih metala korištenjem visokih temperatura.**
- Ostale strategije uključuju elektrokemijske i kiselinske postupke te korištenje otapala, ali nisu toliko razvijene.

220

220



221

2. KOLOKVIJ

1. lipnja 2026.

222