

Št. leto 2012/2013

Materiali in tehnologije

(3)

KOVINSKI MATERIALI

Delitev materialov po električni prevodnosti: **prevodniki, polprevodniki in izolatorji.**

Prevodniki - specifična električna upornost do $10 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Polprevodniki - specifična upornost med 10 in $10^{12} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$,

Izolatorji – specifična upornost je višja od $10^{12} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Od trdnih snovi so kovine in njihove zlitine **najpomembnejši prevodniki v elektrotehniki.**

Skoraj vse kovine, ki se pojavljajo v naravi samorodne, kristalizirajo po **kubičnem sistemu**. Njihove kemične vezi so **kovinske**.

Nekatere kovine **lahko kristalizirajo** v različnih vrstah kristalnih mrež. Pravimo, da so **take kovine polimorfne**, kristalne oblike pa imenujemo **modifikacije**, ki jih označimo z grškimi črkami $\alpha, \beta, \gamma, \dots$

*Prehajanje ene kristalne strukture v drugo imenujemo **premena ali prekristalizacija**.*

Najbolj pogosti razlog za premeno je temperatura.

Dobra toplotna in električna prevodnost sta lastnosti, ki sta pri teh materialih medsebojno povezani.

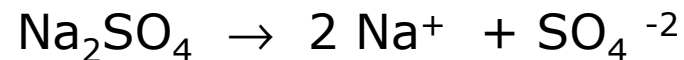
Elektroliza

ELEKTROLIZA je proces, pri katerem pride do kemičnih reakcij pod vplivom električnega toka.”

Ionizacija kemijskih spojin – **disociacija** (poteka brez zunanjega vpliva in brez električnega toka!

Dobimo **elektrolit**

Kaj so ioni? To so električno nabiti atomi ali atomske skupine, ki omogočajo prehod električnega naboja skozi elektrolit.

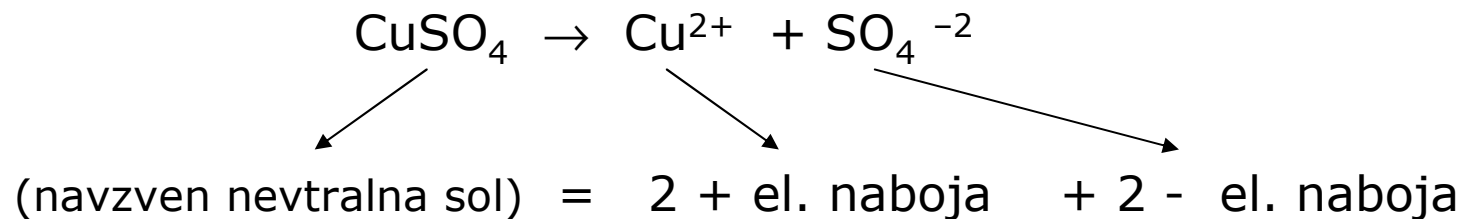


Elektroliza (I)

Primer: CuSO_4 raztopimo v vodi

Dobimo enako število pozitivno nabitih ionov Cu^{2+} in negativno nabitih ionov SO_4^{2-} .

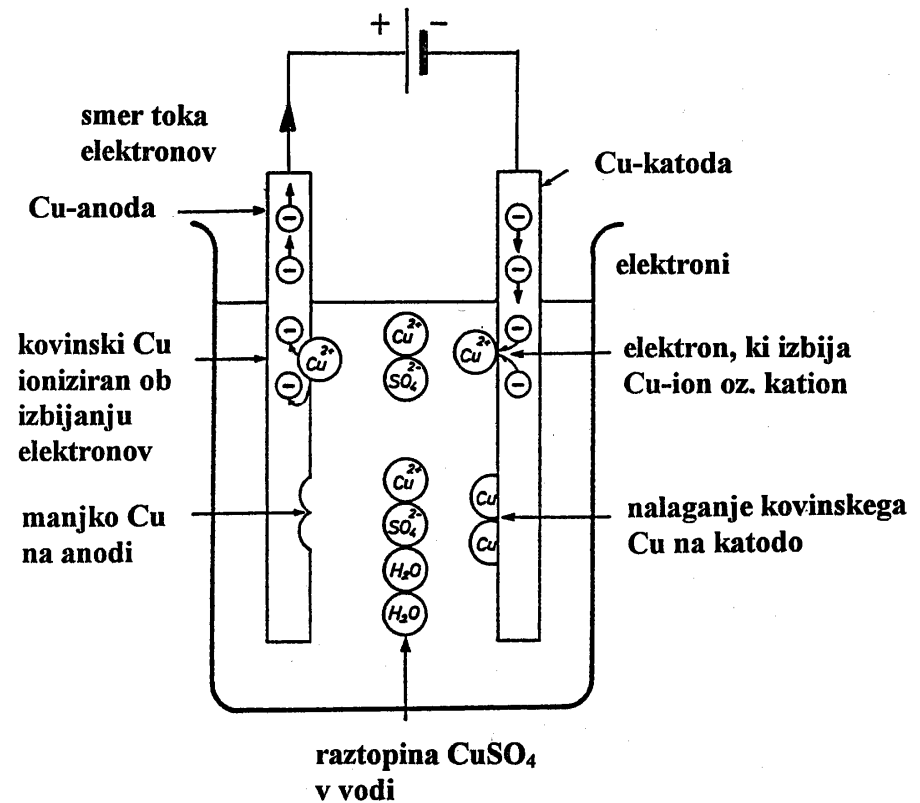
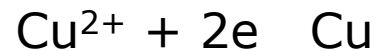
Oba iona (Cu^{2+} in SO_4^{2-}) morata imeti enako število električnih nabojev



Elektroliza (II)

Pri elektrolizi raztopine CuSO_4
negativna elektroda - **katoda**
privlači pozitivne ione Cu^{2+}

Na površini katode se odvija
katodna reakcija oz. vrši
redukcija Cu^{2+} ionov:



Elektroliza (III)

Obe elektrodi sta iz Cu.

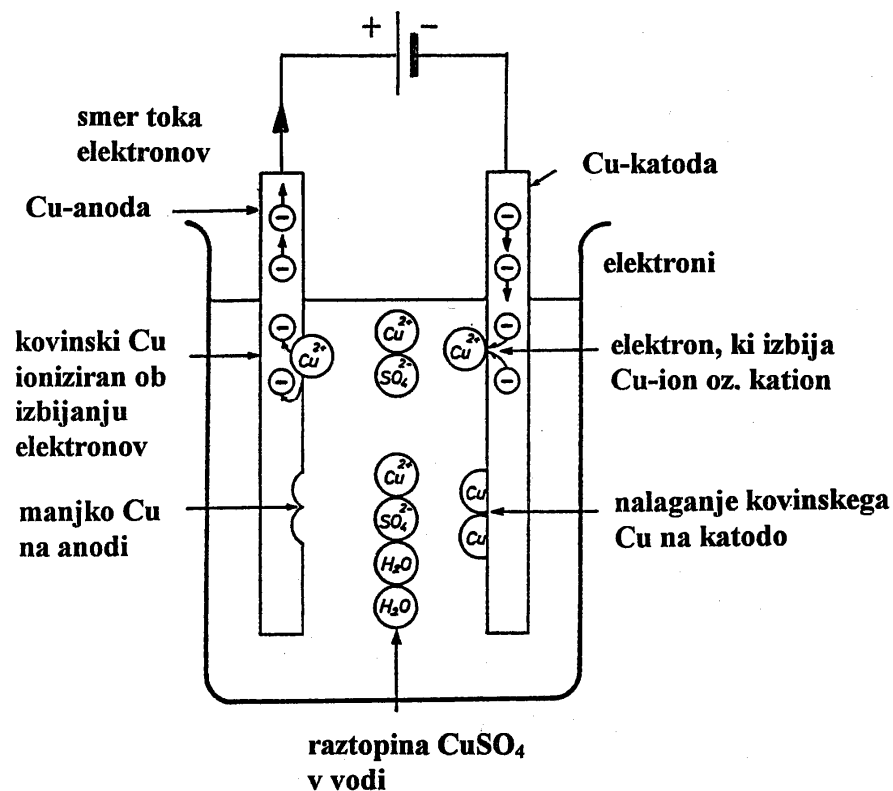
Kaj se dogaja na anodi?

Dobimo elektrone z ionizacijo Cu iz Cu-anode.

Ta proces se imenuje **anodna reakcija** in jo zapišemo:



Na anodi poteka **oksidacija**



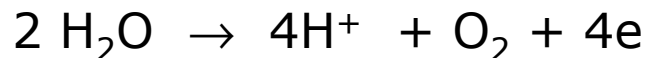
Elektroliza (IV)

Kaj se zgodi, če anodo iz bakra nadomestimo s platino?

- Pt se ne raztaplja,
- Cu^{2+} ioni se izločajo iz raztopine,

Produkti te elektrolizne reakcije na anodi pa je kisik v obliki mehurčkov, ki izhajajo ob anodi in H-ioni, ki povzročajo kislost anolita.

Anodni proces lahko zapišemo kot:



Iz zapisane reakcije se vidi, da gre v anodnem procesu za razkroj vode.

pH faktor

Zakaj povzročajo H-ioni kislost elektrolita?

Tvori se žveplena kislina!

Kako merimo kislost ali bazičnost raztopine?

pH faktor je določen na osnovi količine vodika v raztopini

Voda je deloma disocirana, t.j. razpade v H^+ in OH^- vendar v izredno majhni meri. V 1 l vode je

10^{-7} g H -ionov in

10^{-6} g OH (hidroksidnih) ionov

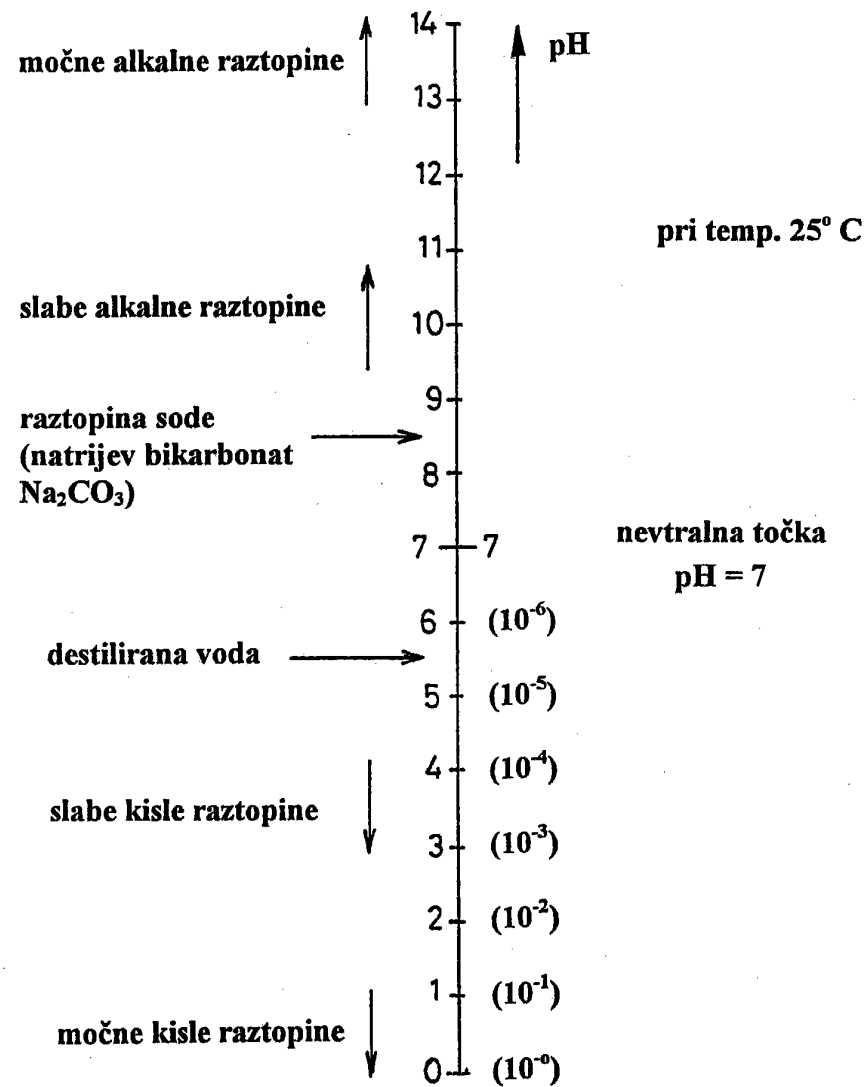
pH faktor

Če je v 1 l vode 10^{-7} ionov vodika H, pravimo, da je ta nevtralna

$$\text{pH} = 7$$

1l H ₂ O vsebuje 1g	H-ionov = $10^0 \rightarrow \text{pH} = 0$
1l H ₂ O vsebuje 0,1g	H-ionov = $10^{-1} \rightarrow \text{pH} = 1$
1l H ₂ O vsebuje 0,01g	H-ionov = $10^{-2} \rightarrow \text{pH} = 2$
1l H ₂ O vsebuje 0,001g	H-ionov = $10^{-3} \rightarrow \text{pH} = 3$
1l H ₂ O vsebuje 0,0001g	H-ionov = $10^{-4} \rightarrow \text{pH} = 4$
1l H ₂ O vsebuje 0,00001g	H-ionov = $10^{-5} \rightarrow \text{pH} = 5$
1l H ₂ O vsebuje 0,000001g	H-ionov = $10^{-6} \rightarrow \text{pH} = 6$
1l H ₂ O vsebuje 0,0000001g	H-ionov = $10^{-7} \rightarrow \text{pH} = 7$

pH faktor



Masa izločene snovi

Vsi ioni nimajo enakih električnih nabojev.

N.pr. H-ion ima le en + naboj, Cu-ion pa dva naboja.

Množina izločene snovi je odvisna od števila električnih nabojev.

Število električnih nabojev pa je odvisno od valenčnega števila kemijskih elementov.

Iz obojega sledi logični zaključek:

Iz spojine, ki jo tvori enovalentna kovina se izloči večja količina, kot iz spojine, ki jo tvori dvovalentna kovina.

Elektrokemijski ekvivalent

Če je količina izločene snovi odvisna od števila električnih nabojev, je dejansko odvisna od množine električnega toka.

Definirajmo novo veličino: **elektrokemijski ekvivalent**

To je množina snovi v g, ki jo izloči tok 1 A v 1 uri.

Elektrokemijski ekvivalent

TABELA 1

ELEKTROKEMIČNI EKVIVALENTI - USPEH IZLOČANJA

Kovina	Kem. znak	Spec. teža γ/cm^3	Valenca	α g/Ah	η % kopeli	dm ² tehta pri debelini 0,01 mm gramov
Antimon	Sb	6,69	3	1,514	99	0,669
Baker (ciankal.)	Cu	8,9	1	2,372	98	0,89
Baker (kisli)	Cu	8,9	2	1,186	85	0,89
Cink	Zn	7,14	2	1,2195	99	0,714
Krom	Cr	7,14	6	0,323	10—25	0,714
Kositer (kisli)	Sn	7,31	2	2,214	90	0,731
Kositer (alkal.)	Sn	7,31	4	1,107	60	0,731
Kobalt	Co	8,9	2	1,099	98	0,89
Kadmij	Cd	8,65	2	2,097	95	0,865
Medenina	Cu + Zn.	8,5		1,200	70	0,85
Nikelj	Ni	8,9	2	1,095	98	0,89
Srebro	Ag	10,5	1	4,025	98	0,105
Svinec	Pb	11,34	2	3,865	99	1,134
Železo (feri) kis.	Fe	7,8	3	0,694	98	0,78
Železo (fero) alk.	Fe	7,8	2	1,042	95	0,78
Zlato (auri) kis.	Au	19,3	3	2,452	98	1,93
Zlato (auro) alk.	Au	19,3	1	7,367	90	1,93

II. Faraday-ev zakon

Količina izločene snovi je neposredno odvisna od jakosti toka, časa in od elektrokemičnega ekvivalenta izločene snovi.

$$m = \alpha \cdot I \cdot t$$

α ... el. kem. ekvivalent v g/Ah

I ... el. tok v A

t ... čas v h

I. Faraday-ev zakon

Količina izločene snovi z elektrolizo je proporcionalna električnemu naboju.

Realne razmere

Upoštevati je treba izkoristek elektrolizne celice.

- Del električne energije izgubimo v dovodih in odvodih.
- Ohmske izgube galvanske kopeli, ki so odvisne od ohmske upornosti elektrolitov.
- Tudi električni tok se v celoti ne porabi pri elektrolizi za izločanje kovinske prevleke, saj se ga nekaj porabi tudi za elektrolizo prisotne vode v elektrolitu.

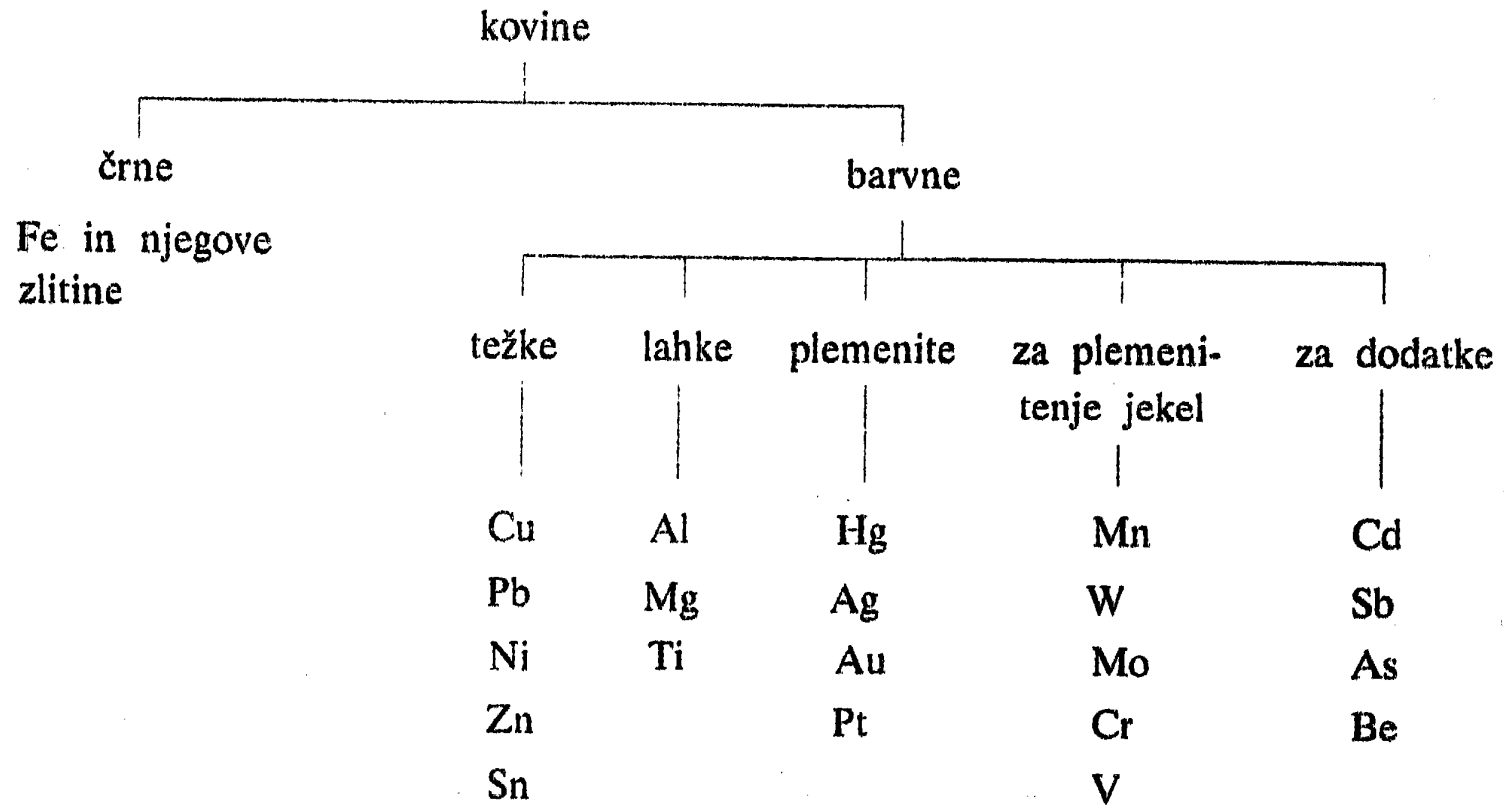
Z upoštevanjem izkoristka se modificirani Faradayev zakon glasi:

$$m = \alpha \cdot I \cdot t \cdot \eta$$

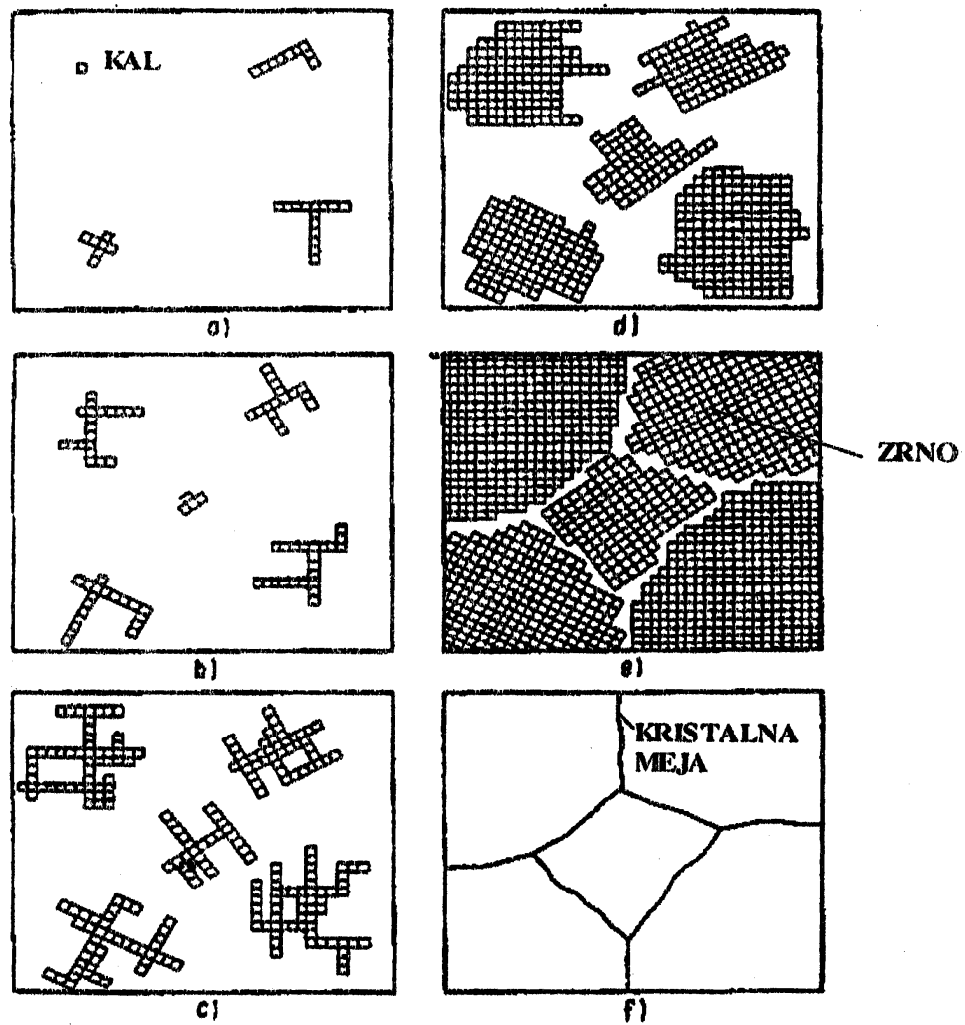
Razdelitev kovin

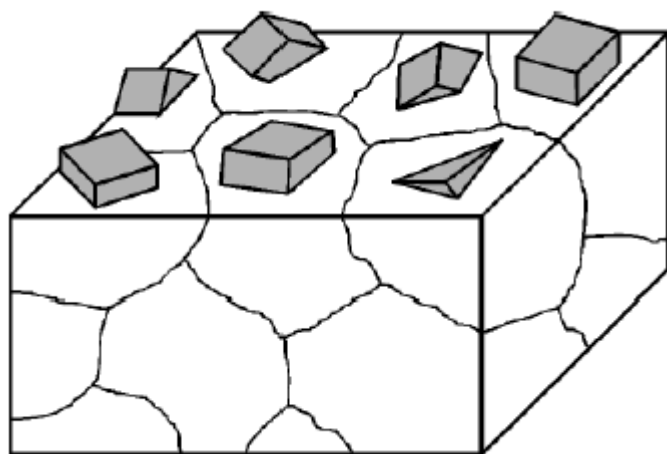
Lahko uporabimo periodni sistem, v katerem jih delimo v štiri skupine:

- prva glavna skupina (Li, Na, K, Rb, Cs in Fr),
- druga glavna skupina (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra),
- tretja skupina (Al, Sc, Y, La in lantanidi),
- redke zemlje.

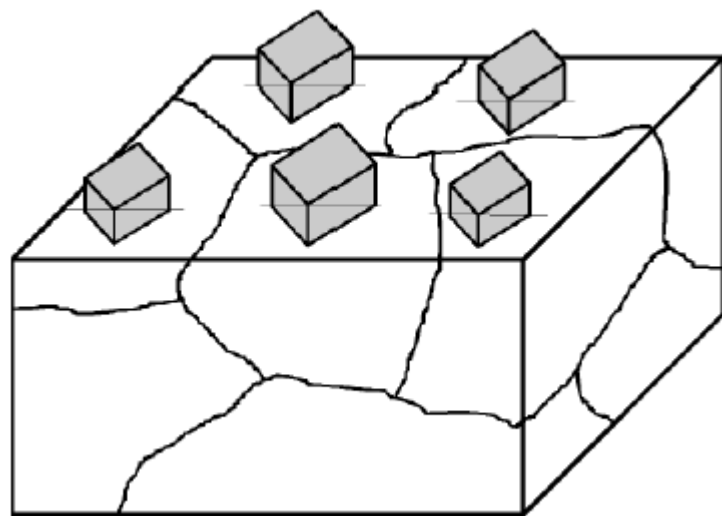


Nastanek kovinskih kristalov



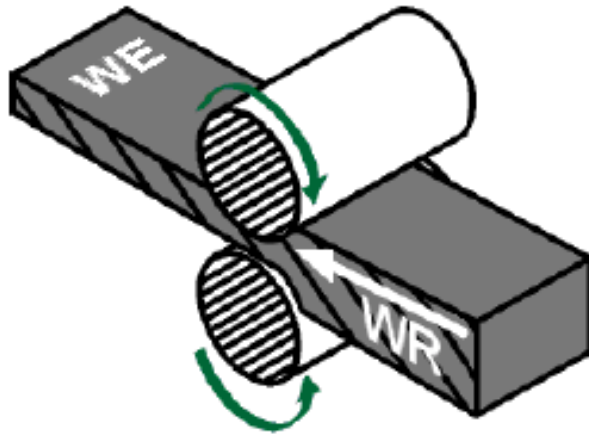


Slika 1: Izotropni material

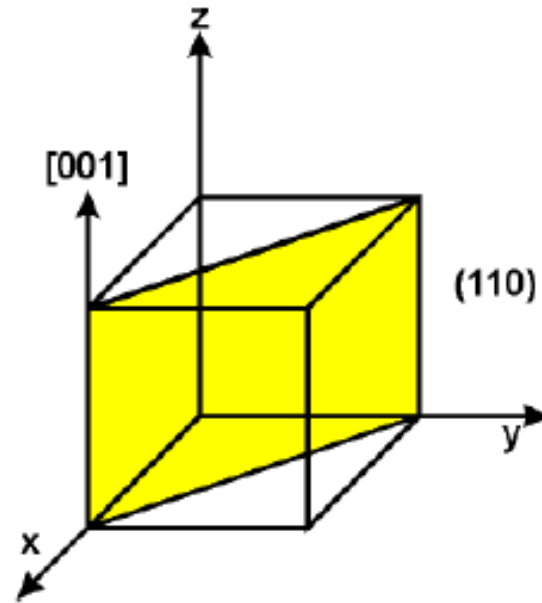


Slika 2: Material s teksturo

Ravnina valjanja (WE)



Smer valjanja (WR)



Slika 3

(h, k, l) - mrežna ravnina, ki je vzporedna ravnini valjanja
 $[u, v, l]$ - kristalna smer, ki sovpada s smerjo valjanja

V splošnem hladna plastična deformacija kovine spremeni njene lastnosti:

- **jo utrdi (trdi baker, trdi aluminij)**
- **poveča njeno električno upornost, kemično reaktivnost in energijo kristalne mreže.**

Poprava kristala

Rekristalizacija

Pri močno hladno preoblikovanih materialih nastopijo porušitve kristalov.

Z dodajanjem energije (segrevanje), ne nastopi samo vračanje v prvotne oblike celih kristalov, ampak dobijo drobci razdrobljenih kristalov vlogo kristalizacijskih kali, ki omogočajo rast novih kristalov.

Čim večje so bile deformacije pri hladnem preoblikovanju, toliko bolj fino zrnato strukturo dobimo.

Proces nastanka novih kristalov pri isti vrsti mreže imenujemo rekristalizacija.

Kovina	Temperatura prežarjenja [°C]
W	1100
Mo	1000
Ti	800
Ni	660
Fe, Pt	450
Cu, Ag, Au	150 – 200
Al, Mg	150 – 200
Zn, Cd, Pb, Sn	pod 20

Lastnosti kovine je možno s hladnim preoblikovanjem spremeniti le takrat, kadar ima material tekom hladnega preoblikovanja nižjo temperaturo, kot je temperatura rekristalizacije.

Sestavljeni materiali, zlitine

Zlitine so zmesi najmanj dveh kovin ali kovin in nekovin v trdnem stanju.

Sestavine zlitine imenujemo **komponente**.

Skupnost vseh komponent v zlitini imenujemo sistem.

(dvojni ali binarni sistem, trojni sistem, večkomponentni sistemi

Razmerja mešanja komponent A : B imenujemo koncentracija.

Npr. koncentracija zlitine Sn – Pb, 60/40 pomeni: v 100 g te zlitine je 60 g Pb in 40 g Sn.

Zlitine imajo drugačne lastnosti kot čiste kovine; imajo drugo trdoto, raztezke, trdnost, električno in toplotno prevodnost.

Ker so lastnosti zlitin odvisne od vrste in količine komponent, lahko naredimo kovinske materiale s povsem določenimi lastnostmi, kot npr. nerjavna ali nemagnetna jekla.

Sestavljeni materiali, zlitine (2)

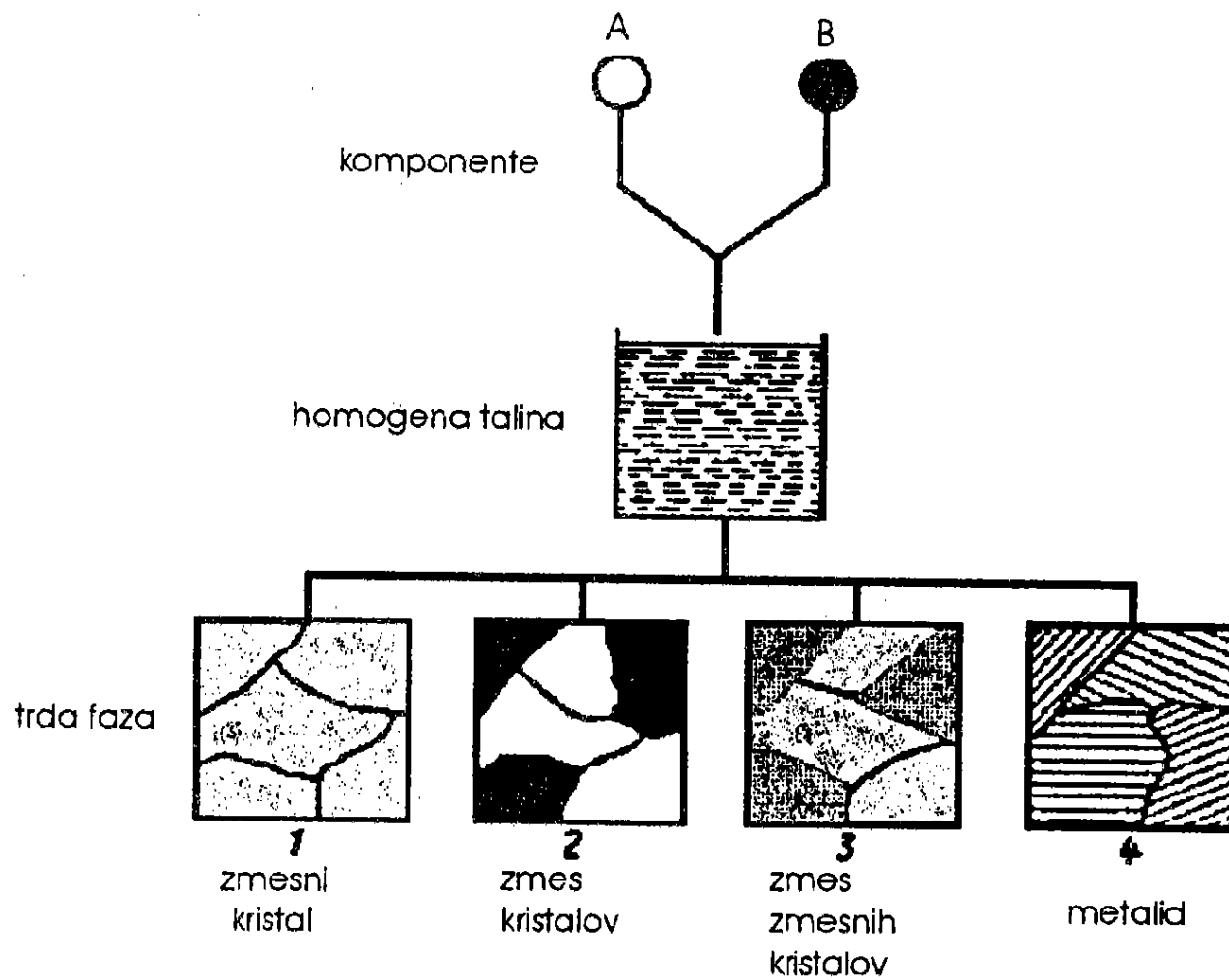
Topnost komponent

Popolna topnost. Komponente gradijo pri strjevanju iz taline skupno kristalno mrežo; torej se v osnovni (elementarni) celici nahajajo atomi ene in druge komponente. Zlitina tvori homogene kristale trdne raztopine – zmesne kristale (α je trdna raztopina komponente B v A, β je trdna raztopina komponente A v B).

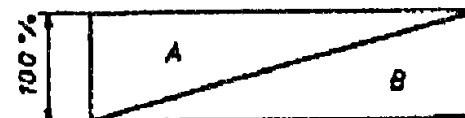
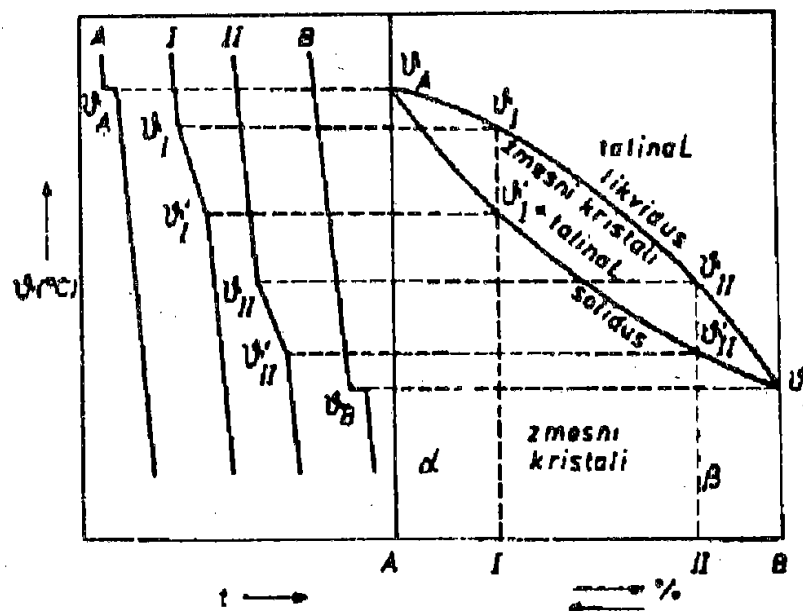
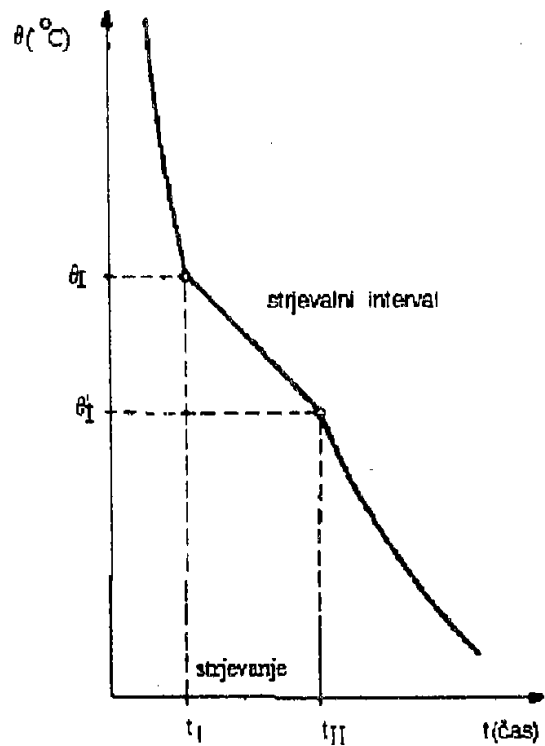
Popolna netopnost. Vsaka komponenta gradi svoje kristale, ki se jih da razdvojiti. V vsaki elementarni celici imamo predstavnika le ene kovine. Komponente so v trdnem stanju popolnoma netopne – dobimo mehansko zmes kristalov obeh komponent

Talina se topi delno; t. j. komponente so v trdnem stanju med seboj delno ali omejeno topne. V odvisnosti od koncentracije dobimo v trdnem stanju samo zmesne kristale pomešane med seboj.

*Komponente lahko tvorijo tudi kemične spojine, imenovane **intermetalne (medkovinske) spojine, metalide**. Te spojine imajo komplicirane kristalne mreže, ki se razlikujejo od mrež komponent. Metalidi so zelo trdi in krhki, imajo malo kovinskih lastnosti, zaradi tega se slabo oblikujejo in so zato največkrat nezaželeni. V to skupino spadajo npr. karbidi, nitridi, oksidi itd.*

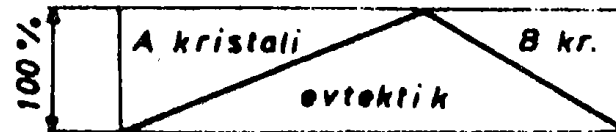
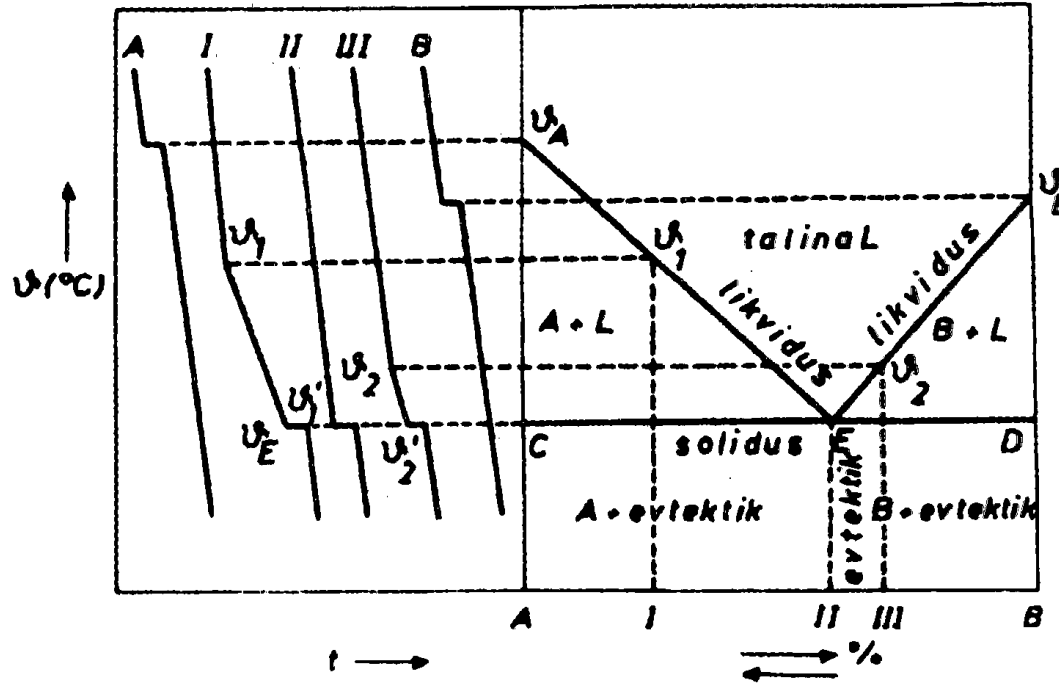


Produkti homogene taline

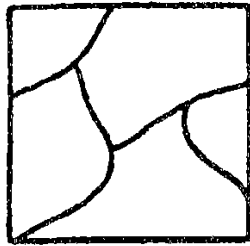


Popolna topnost komponent v trdnem stanju

Popolna netopnost v trdnem staju



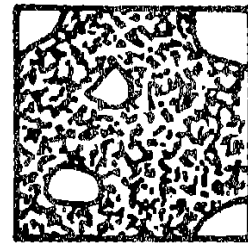
Fazni diagram sistema pri popolni netopnosti



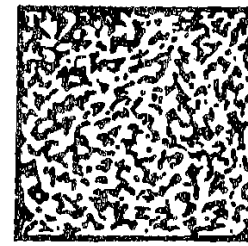
Komp. A



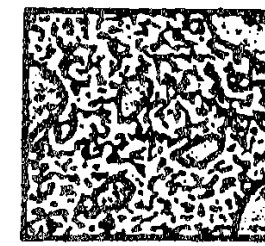
Komp. B



Podvtektična
zlitina

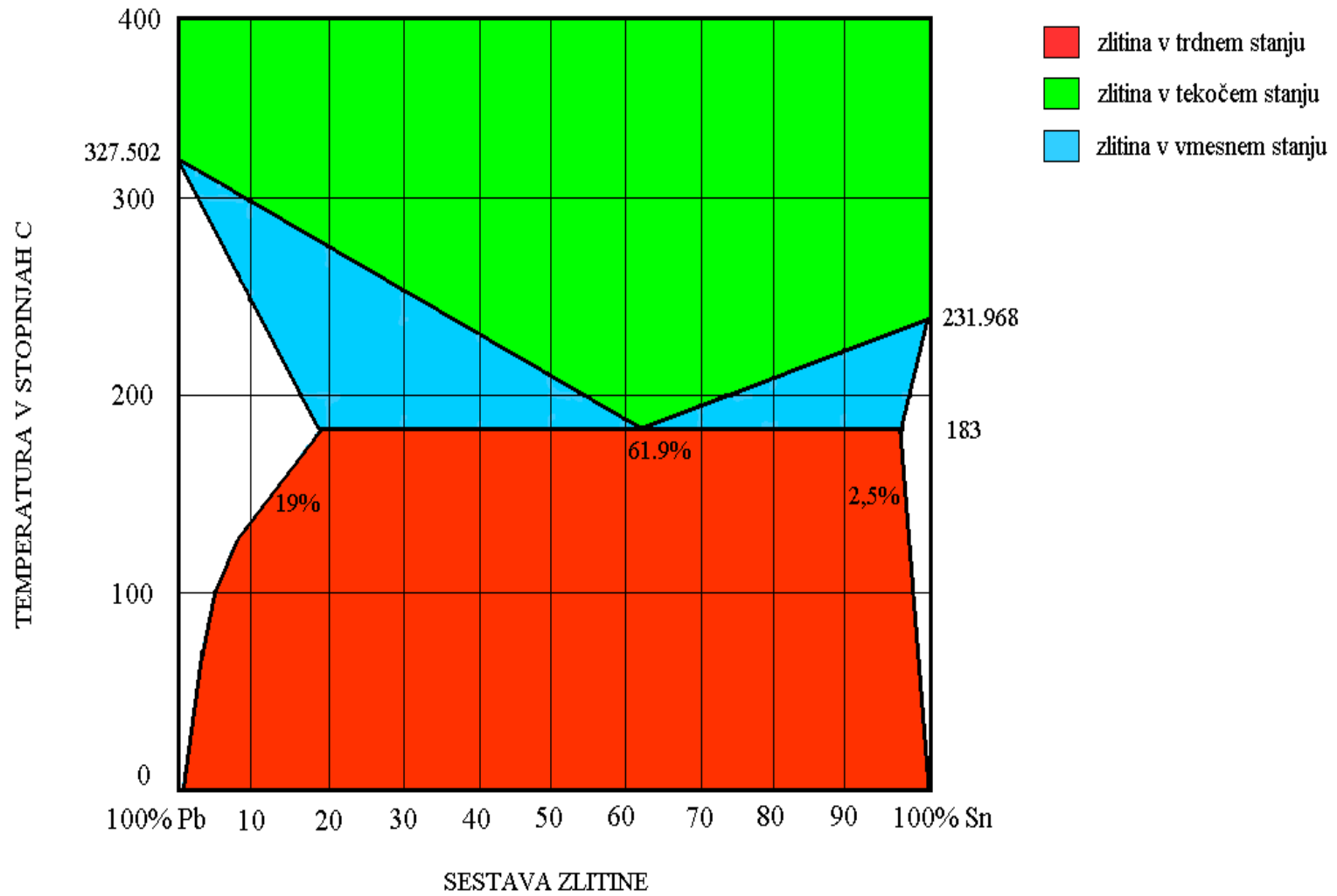


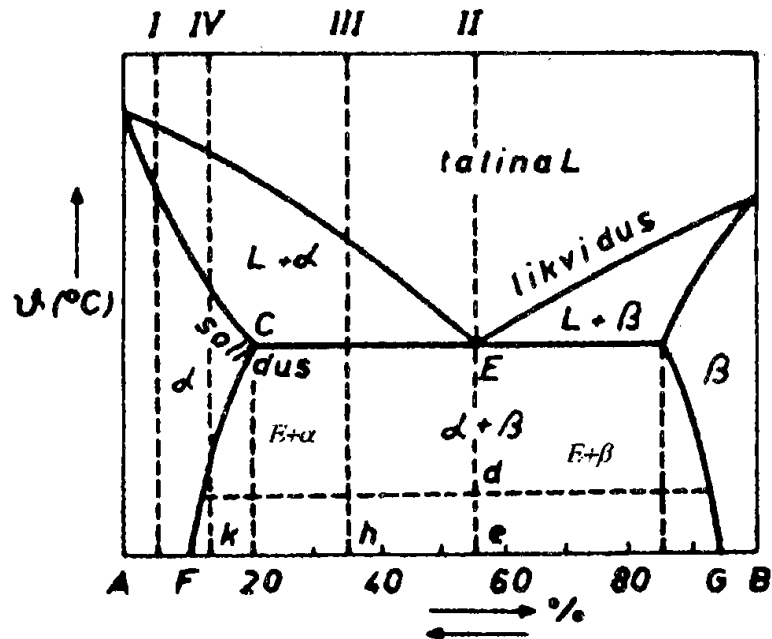
Evtektik



Nadvtektična
zlitina

Prerez kristalnih zrn pri popolni netopnosti kovin v trdnem stanju





Razlaga:

α ... trdna raztopina B v A
(enako kot pri popolni topnosti)

β ... trdna raztopina A v B
(popolna topnost)

E ... evtektik = $\alpha + \beta$

Opis zlitin:

- I popolna topnost (α kristali),
- II čisti evtektik (zmes zmesnih kristalov α in β),
- III zmes kristalov faze $\alpha + E$ (netopnost),
- IV vidimo kako se koncentracija spreminja s temperaturo (nasičenje).

Posebne lastnosti binarnih sistemov

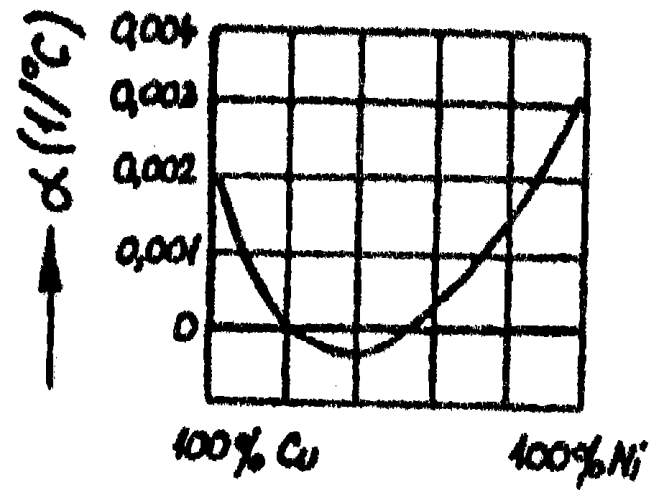
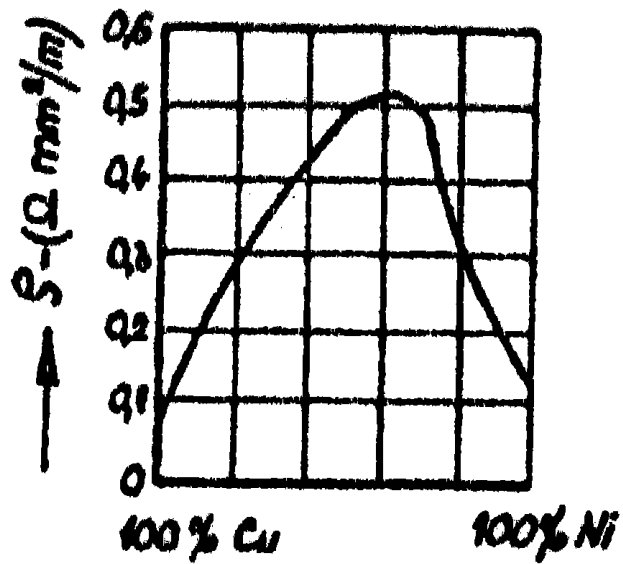
1. Pri dvokomponentnih zlitinah se specifična prostornina zlitin spreminja med specifično prostornino komponente A in komponente B.
2. Glede trdote velja, da lahko ustvarimo takšne zlitine, ki so trše od obeh komponent brez hladnega oblikovanja.
3. Običajno se tej lastnosti pridruži še povišana temperatura rekristalizacije (to s pridom izkoriščamo pri uporovnih materialih za grela).
4. Korozijska obstojnost nekaterih zmesnih kristalov je večja.
5. Tudi povečana električna upornost nam lahko koristi pri uporovnih materialih.
6. Z različnimi koncentracijami komponent v zlitini lahko dosežemo manjši ali večji temperaturni koeficient upornosti.
7. Temperaturni koeficient raztezka.

Materiali za električne vodnike

Pomembne lastnosti kovinskih materialov:

- specifična električna upornost,
- temperaturni koeficient specifične upornosti,
- toplotna prevodnost,
- trdnost in dolžinski raztezek pri vleku.

Kovina	Specifična električna upornost [Ω mm ² /m]	Temperaturni koeficient upornosti [1/°C]
Srebro, Ag	0,0149	0,0041
Baker, Cu	0,0172	0,0043
Zlato, Au	0,0210	0,0040
Aluminij, Al	0,0264	0,0047
Molibden, Mo	0,0500	0,0047
Wolfram, W	0,0549	0,0048
Nikelj, Ni	0,0689	0,0067
Železo, Fe	0,0978	0,0046
Platina, Pt	0,0980	0,0039
Živo srebro, Hg	0,941	0,0009



Potek upornosti pri različnih koncentracijah komponent v zlitini a),

Potek temperaturnega koeficienta upornosti v odvisnosti od koncentracije komponent v zlitini b)

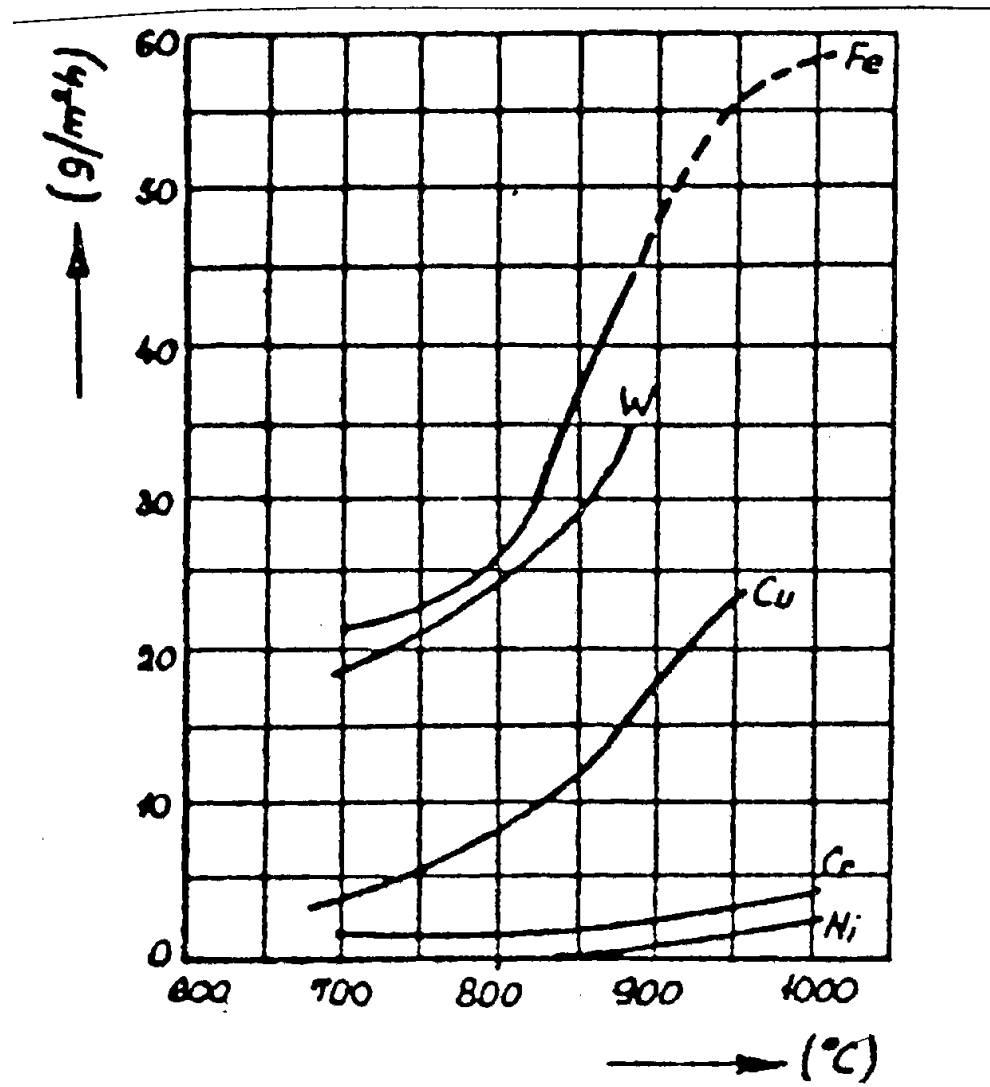
Hg	Cu	Ag	Al	Sn	Zn
3,2	2,07	1,9	1,64	2,10	2,09

Razmerja med upornostmi kovin v raztaljenem stanju in upornostmi v trdnem stanju

Materiali z visoko specifično prevodnostjo

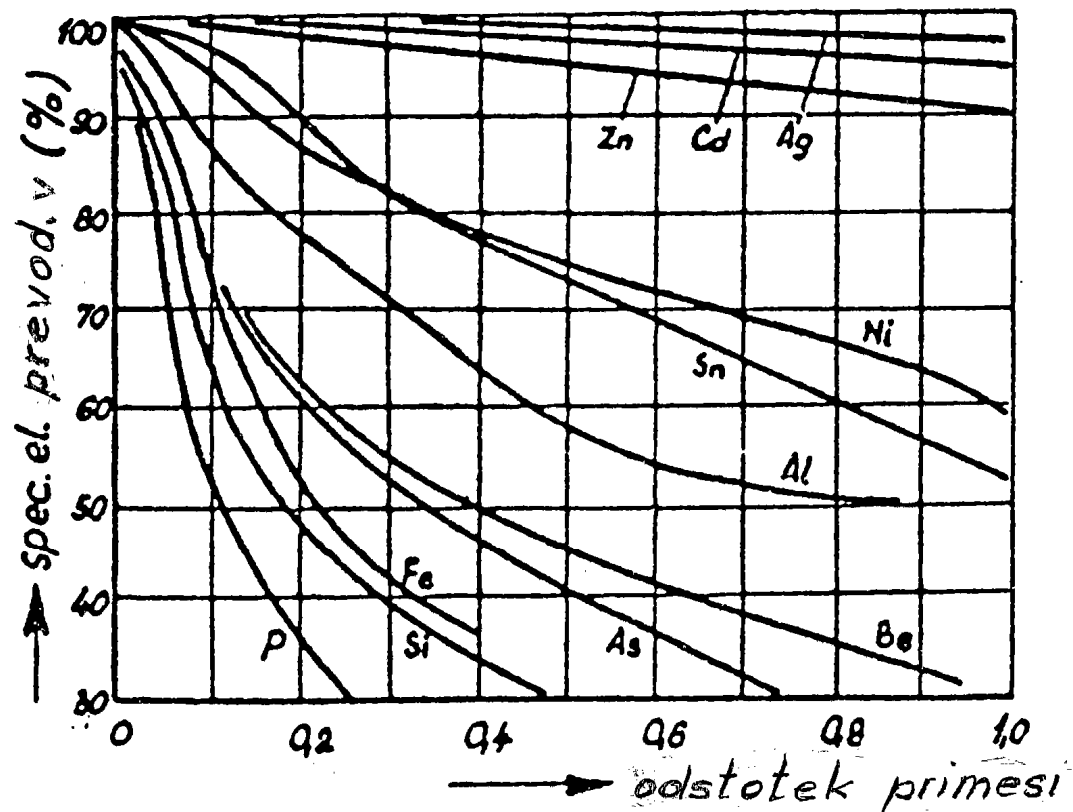
Baker

- Majhna specifična upornost (le srebro ima še nižjo specifično upornost, vendar je bistveno dražje).
- Ima dokaj dobre mehanske lastnosti.
- Ima zadovoljivo odpornost proti koroziji. (baker oksidira na zraku tudi pri visoki vlagi počasneje kot železo. Intenzivna oksidacija se začne pri bistveno višji temperaturi).



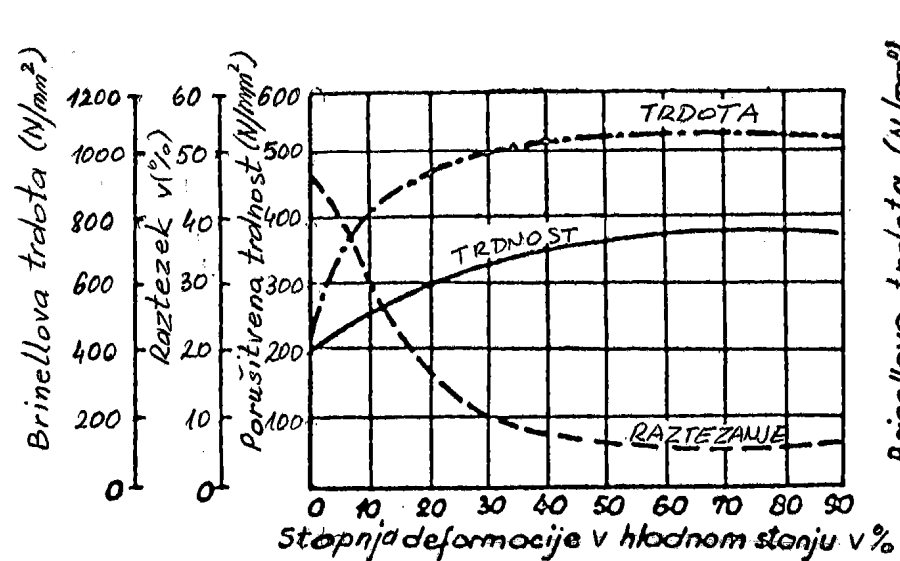
Oksidacija kovin v odvisnosti od temperature

Vpliv nečistoč

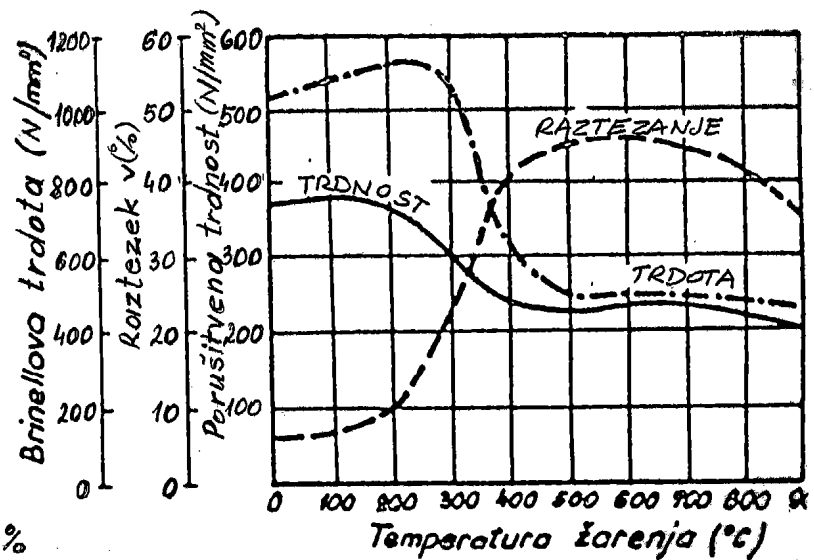


Vpliv primesi na specifično prevodnost bakra

Mehanske lastnosti bakra

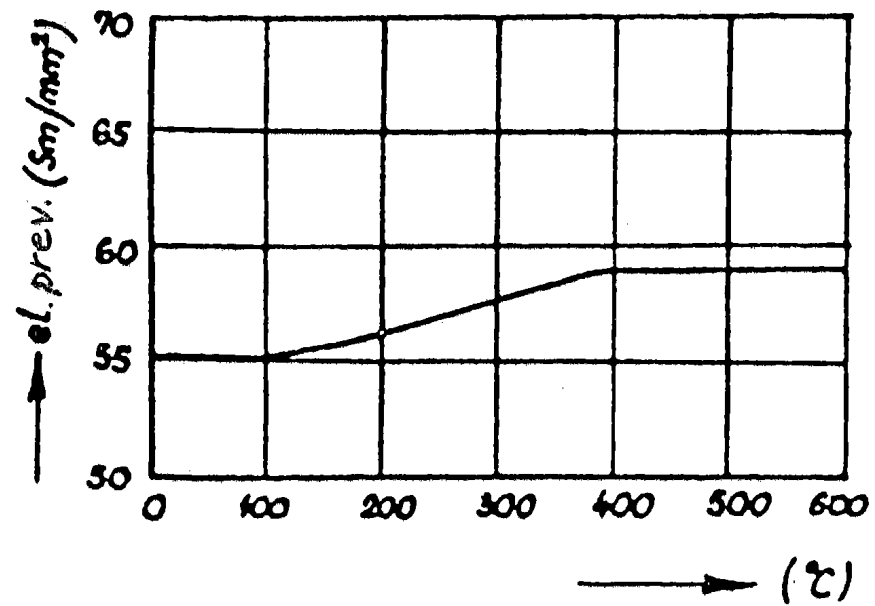


a)



b)

Vpliv hladne obdelave na mehanske lastnosti bakra a) in vpliv toplotne obdelave b)



Vpliv toplotne obdelave bakra na specifično električno prevodnost

Ime	Oznaka	Trdnost [N/mm ²]	Trdota po Brinellu [N/mm ²]	Sp. prevodnost [Sm/mm ²]	
				okrogli	dr. profili
Posebno mehak	E-Cu F20	200-250	400-650	57	56
Mehak	E-Cu F25	250-300	600-800	57	56
Poltrdi	E-Cu F30	300-370	750-950	d < 1mm 55	d < 1mm 54
Trdi	E-Cu- F37	370-450	850	d > 1mm 56	d > 1mm 55
Posebno trdi	E-Cu-F45	450	-	56	55

Baker v zlitinah z drugimi kovinami

Broni - dvojna zlitina bakra in kositra

Oznaka	Poružitvena trdnost [N/mm ²]	Specifična el. prevodnost [Sm/mm ²]	Sestava
Bz I	500	48	0,1 % Mn, ostalo Cu
Bz II	600	36	0,5-0,8 % Mn, ostalo Cu ali 1% Sn, 1 % Cd, ostalo Cu
Bz III	700	18	2,4 % Sn, ostalo Cu ali 1,2 % Sn, 1,2 % Zn, ostalo Cu

Poznamo tudi bron, ki je trojna zlitina, kjer je tretja komponenta P, Si, Mn, Zn, Al, Ni ali Cd.

Cd - bron

Delež kadmija se giblje med 0,6 in 1 %. Zlitina ima 85 % standardne prevodnosti bakra in ima za 50 % večjo natezno trdnost kot čisti baker. Uporablja se za kontaktne konice, posebne kolektorske lamele, elektrode pri točkovnem varjenju, vzmeti ipd.

Si - bron

Za zračne vode v telefoniji se uporablja tudi Si- bron, ki ima dobre mehanske lastnosti. Njegova sestava je npr. 85 % Cu, 8 % Sn, 4 % Si s primesmi Zn in P. Porušitvena trdnost znaša 700 N/mm², prevodnost pa okrog 40 Sm/mm².

P - bron

Običajno je sestavljen iz 6-9 % Sn in do 0,3 % P, ostalo pa je Cu.

- dobra obdelovalnost (valjanje, kovanje v hladnem stanju).
- visoka elastičnost,
- dober električni prevodnik

Za rabo v elektrotehniko je optimalen P - bron. (7 % Sn, 0,1 % P) s prevodnostjo 5,5 do 8 Sm/mm² in s porušitveno trdnostjo do 1050 N/mm².

Al - bron

Al - bron nastopa kot dvojna zlitina z dodatkom do 10 % Al, ali pa kot večkratna zlitina Al, Fe, Ni ali Mn in ima dobre lastnosti. Je odporna proti koroziji. Uporablja se tudi za obroče kratkostičnih rotorjev električnih strojev.

Cr - bron

Optimum mehanskih in električnih lastnosti dobimo z dodatkom Cr. Njegov delež v zlitini se giblje od 0,5 do 3 %. Specifična električna prevodnost je od 80 do 90 SPB oziroma do 46 Sm/mm². Uporablja se za sklopke, za drsne obroče strojev ipd.

Be - bron

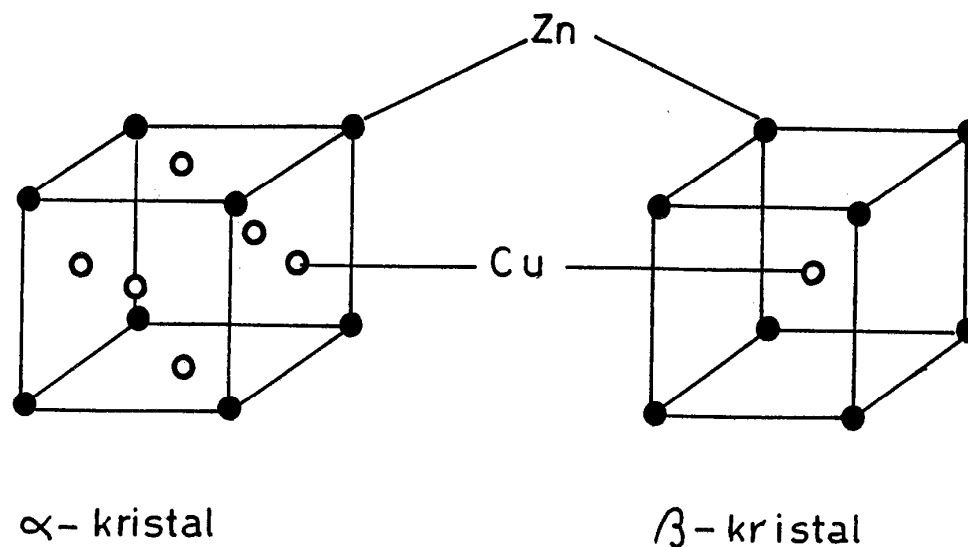
Be - bron je prav tako material z odličnimi mehanskimi lastnostmi. Pri večji vsebnosti Be prevodnost hitro pada. Zlitina z 2,5 % Be lahko ob ustrezni toplotni obdelavi doseže trdnost do 1220 N/mm² in trdoto 350 po Brinellu. Ker ne oksidira, se ga uporablja kot kontaktni material. Odporen je proti pri električnemu obloku. Njegova prevodnost doseže 33 % SPB. Uporabljamo ga za vzmeti pri kontaktih ščetk, za sklopke ipd.

Ag - bron

Delež srebra je od 2 do 6 %, ki se mu dodaja še 0 - 15 % Cd. Njegova prevodnost doseže tudi 83 % SPB. Pri tem bronu je zanimivo to, da se z dodatkom 0,1 do 0,7 % srebra njegova prevodnost ne zmanjša, zviša pa se temperatura rekristalizacije.

Medenina

Zlitina bakra in cinka



V tehničnem smislu so pomembne le zlitine, kjer je bakra več kot 50 %. V obsegu od 50 % do 100 % bakra dobimo dve vrsti mešanih kristalov: **alfa in beta kristale**.

V zlitinah z več kot 65 % bakra so le alfa kristali, pod 54 % bakra pa le beta kristali. Med 54 % in 65 % pa sta prisotna oba tipa kristalov.

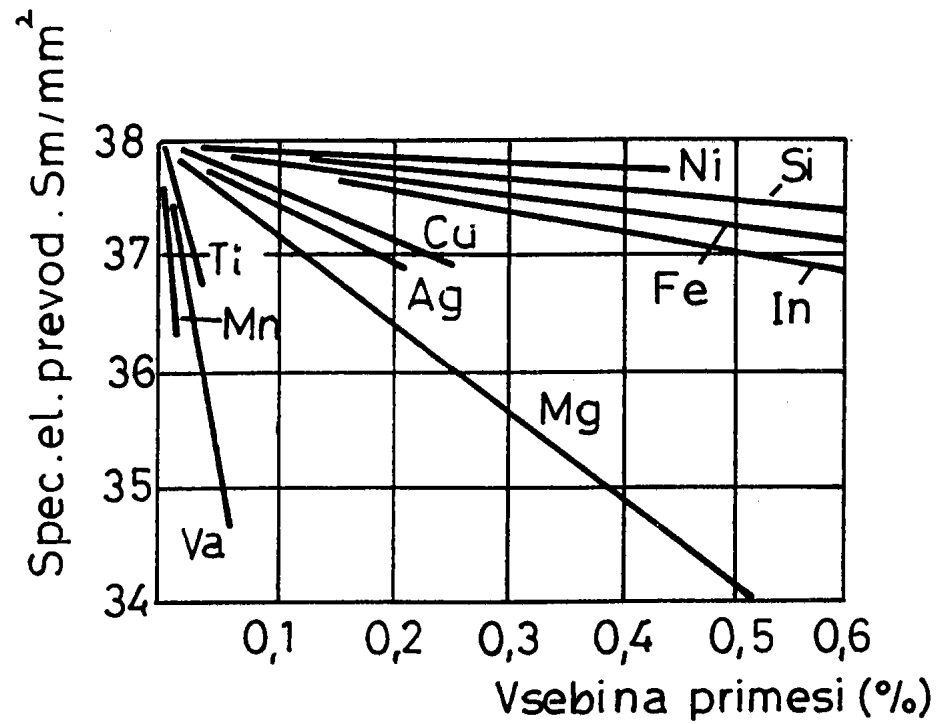
Ime	Porušitvena trdnost [N/mm ²]	Raztezek [%]	Možnost obdelovanja	Uporaba
Ms 58	370 - 610	25 - 5	struženje, kovanje, mehko prešanje	palice za vijake, profili za elektrotehniko
Ms 60	340 - 600	45 - 5	struženje, kovanje, mehko prešanje, zmerno zvijanje	palice, žice, profili, vlečene cevi
Ms 63	290 - 700	60 - 2	vlečenje, kovanje, trdo lotanje	palice, profili, vlečene cevi, kondenzatorske cevi, pločevina
Ms 67	300 - 450	66 - 20	globoko vlečenje, hladni gnetenje, trdo lotanje	pločevina, cevi, palice, profili, žice, vzmeti
Ms 72	250 - 680	35 - 5	vlečenje, gnetenje, hladno kovanje	žice, pločevina
Ms 80 - 90	/	/	hladna obdelava	pločevina, tanka čica (sita, filtri)

Aluminij

Za pridobitev 1 kg aluminija je potrebno od 13 do 30 kWh električne energije.

Pomembnejše lastnosti:

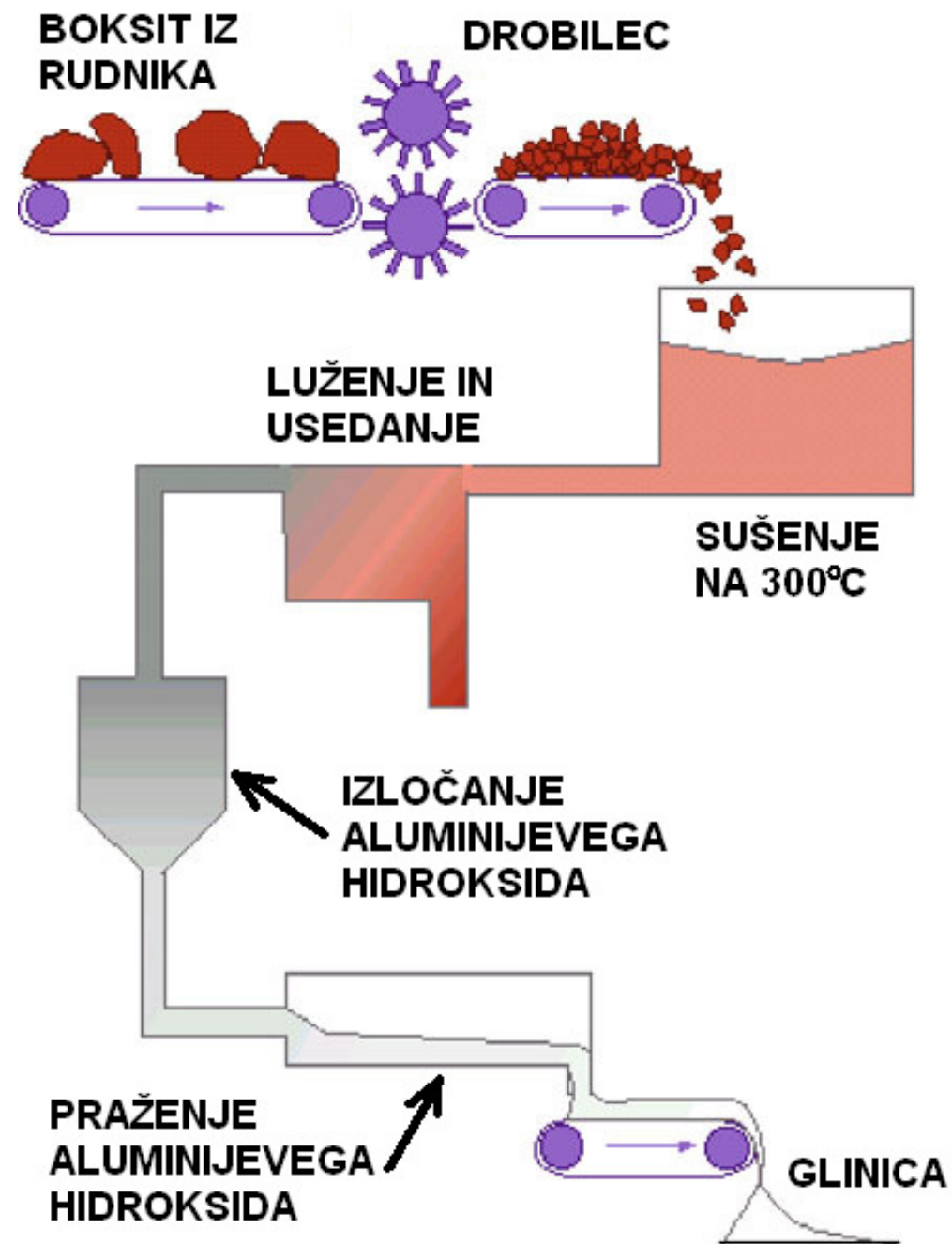
- Sorazmerno majhna specifična električna upornost,
- Majhna gostota,
- Dobra kemična obstojnost,
- Enostavna obdelava kot npr. valjanje, stiskanje, vlečenje, vlivanje ipd.

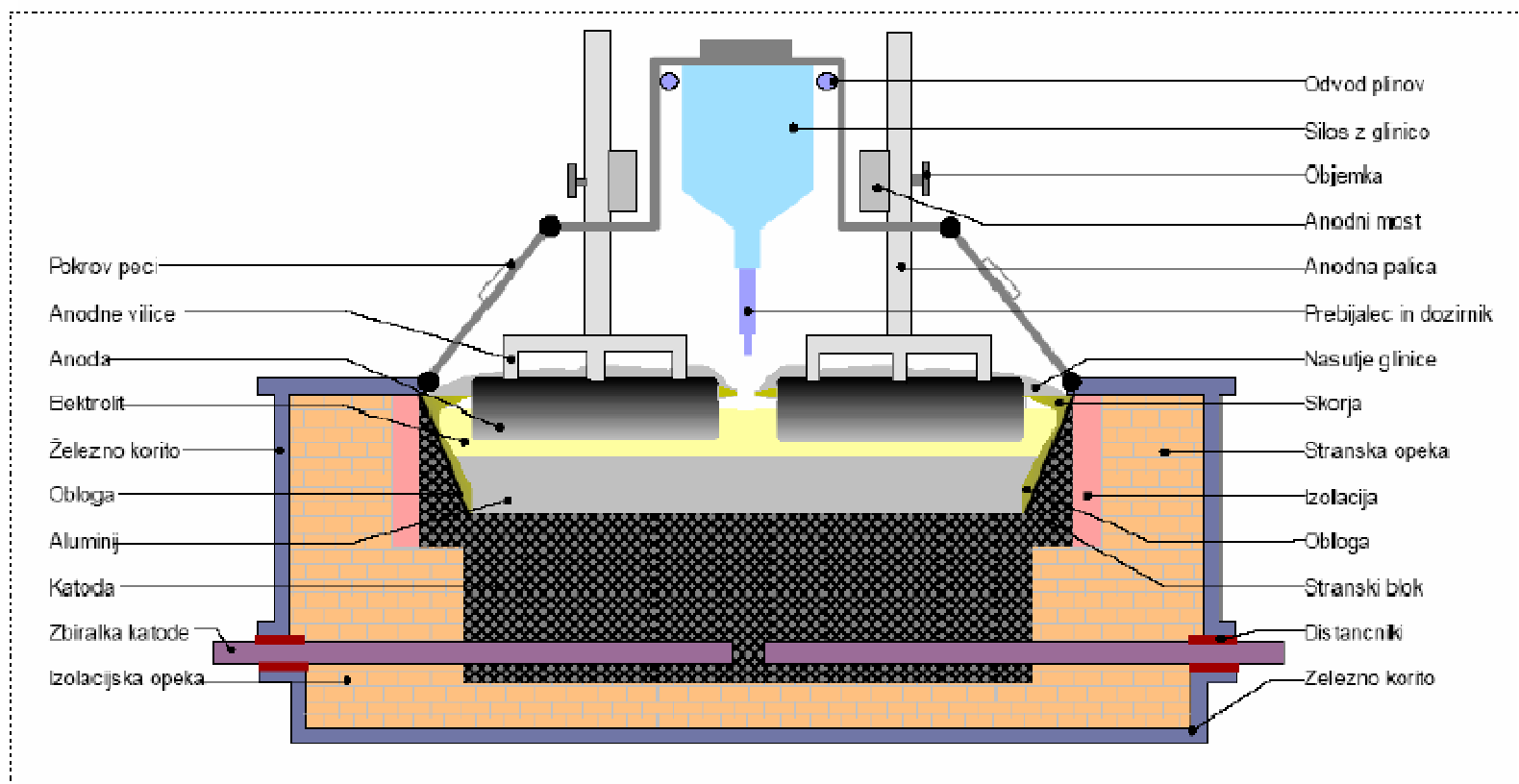
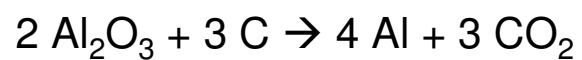


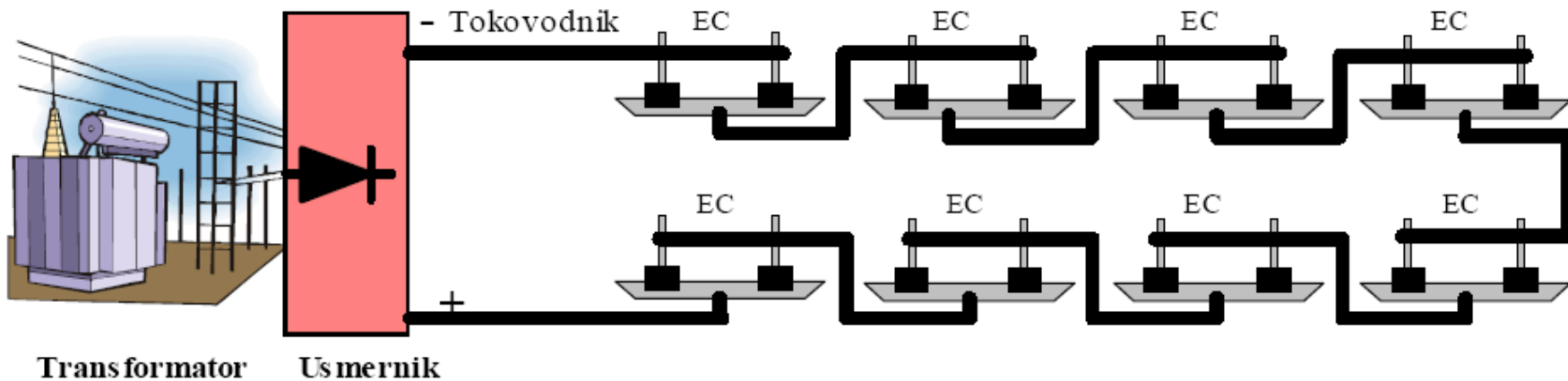
Vpliv primesi na specifično prevodnost aluminija

Oznaka	Porušitvena trdnost [N/mm ²]	Trdota po Brinellu [N/mm ²]	Specifična električna upornost [Ω·mm ² /m]	
			Žica in okrogli	Profili
E-Al F7	65 - 100	200 - 300	1/36	1/35,4
E-Al F10	100 - 140	280 - 380	1/35,4	1/34,8
E-Al F13	130 - 170	320 - 480	1/35,1	1/34,5
E-Al F16	160 in več	> 400	1/34,8	1/34,2

Nekatere standardizirane vrste aluminija



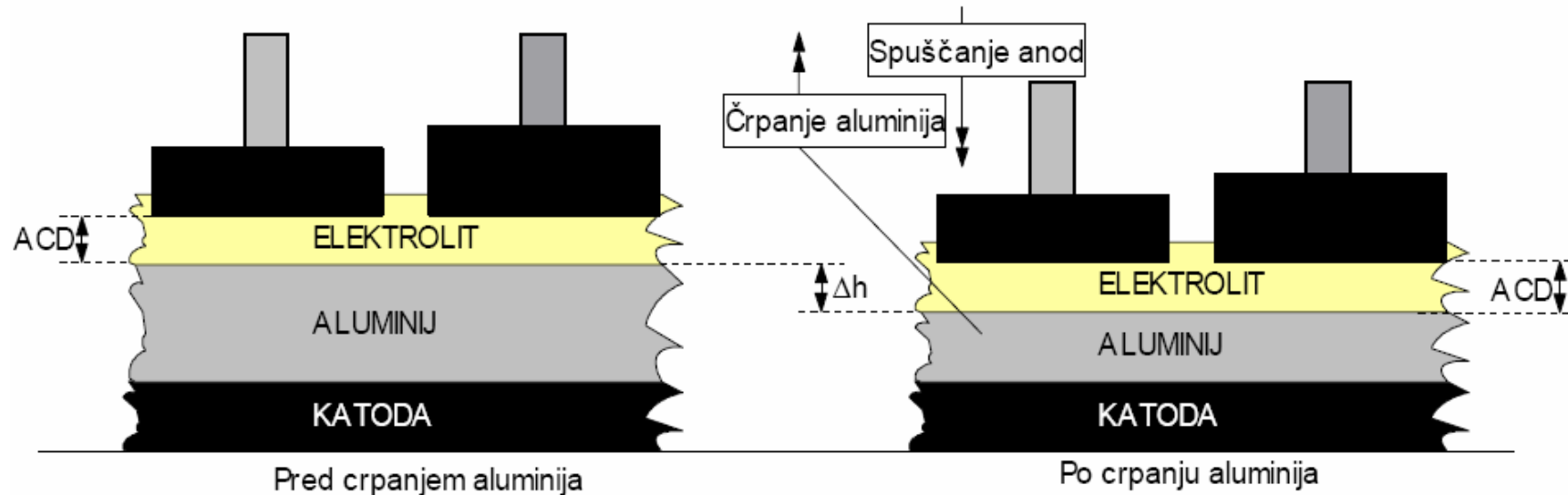




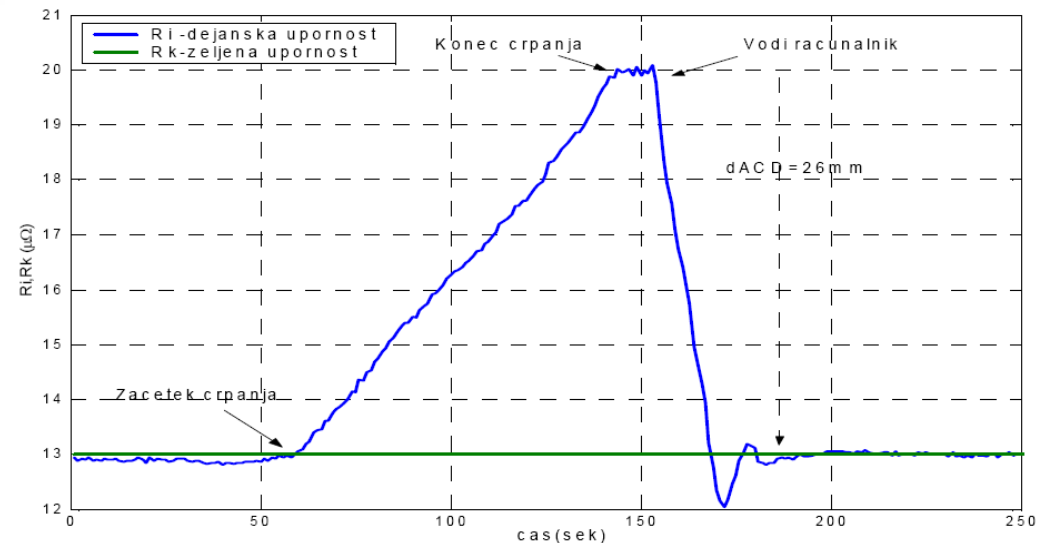
- V elektrolizni dvorani je ponavadi nameščeno več sto elektroliznih celic, ki so vezane zaporedno
- Napetost na eni elektrolizni celici je 4,2 V medtem ko je napetost na “sponkah” elektrolizne dvorane med 700 in 1000 V
- Skozi elektrolizne celice teče konstanten enosmerni električni tok (40-360 kA), ki ga dobimo s pomočjo usmerniškega sistema
- Posledica velikih tokov so močna enosmerna magnetna polja, ki povzročajo motnje v procesu in imajo vpliv na delavce v tovarni



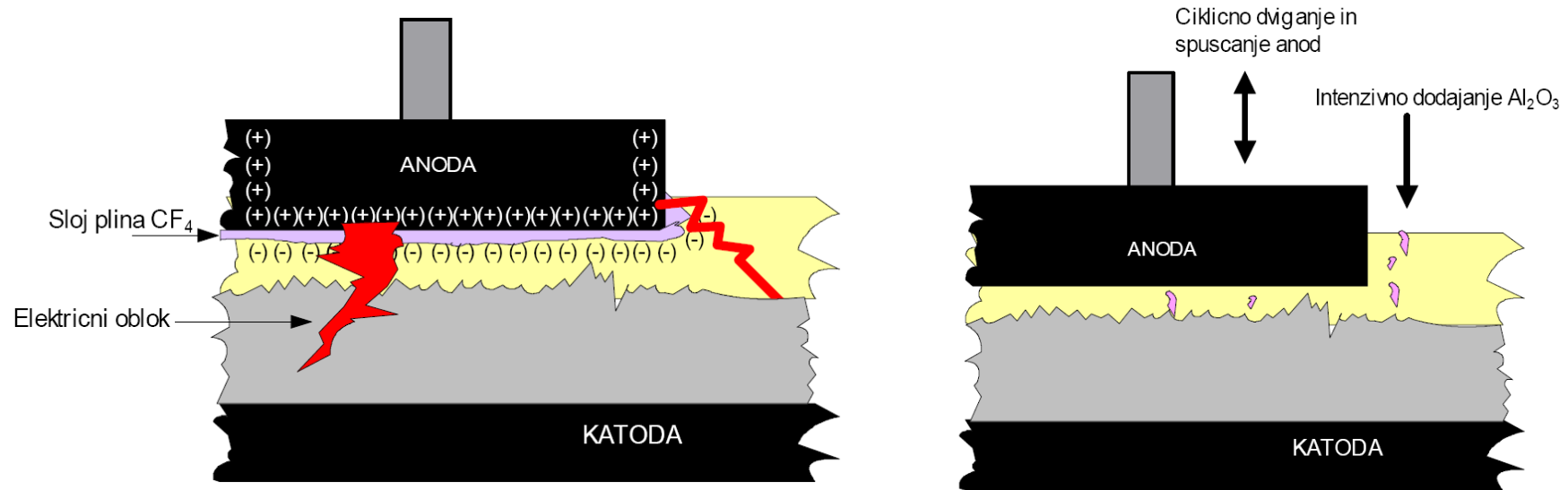
ČRPANJE ALUMINIJA IZ ELEKTROLIZNE CELICE IN SPREMEMBA UPORNOSTI



Primer črpanja aluminija iz EC s spuščanjem anod. V tem primeru je bilo v 80 sekundah izčrpano 1950 kg aluminija, kar ima za posledico dvig upornosti za $7 \mu\Omega$

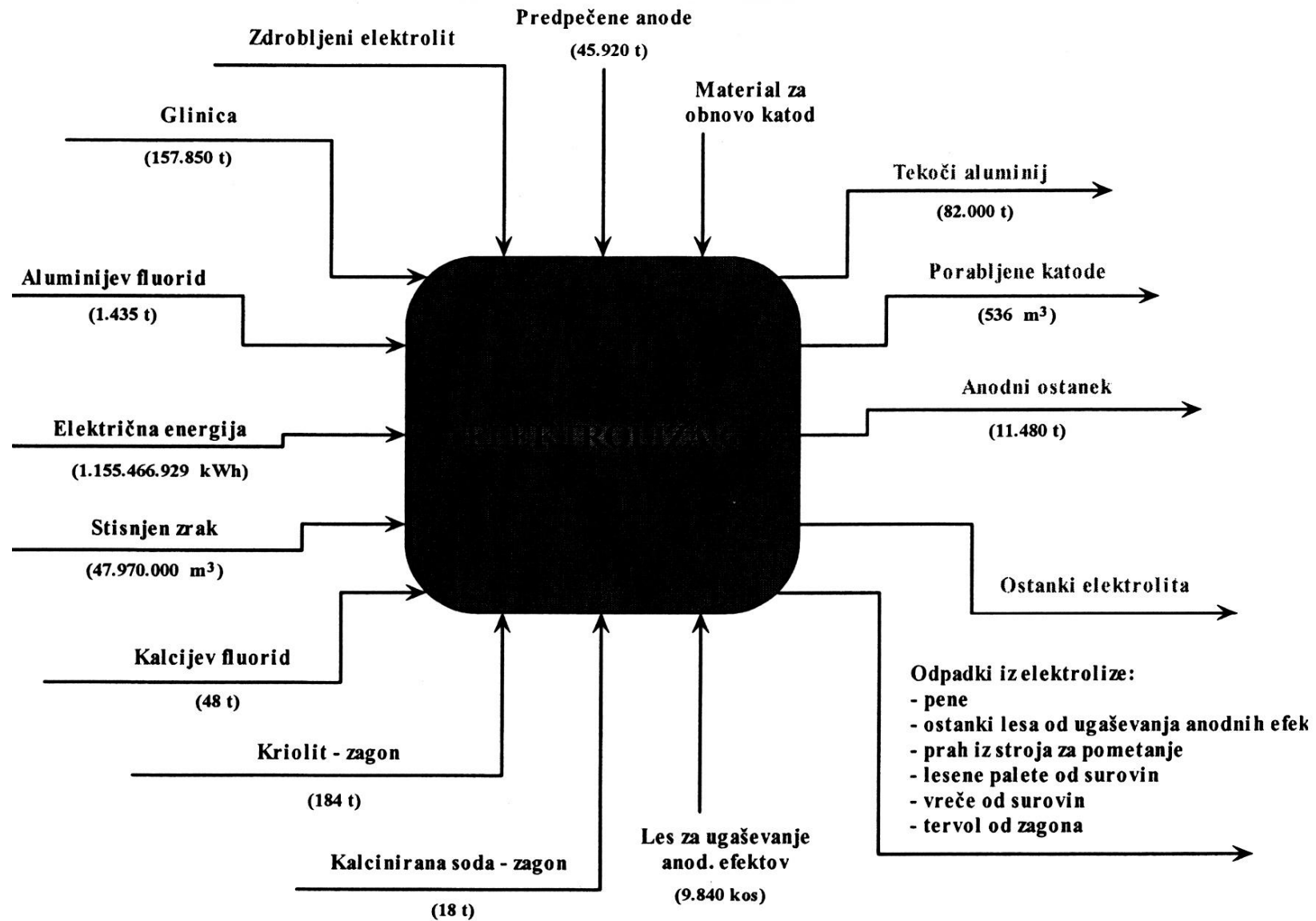


NASTANEK IN ODPRAVLJANJE ANODNEGA EFEKTA

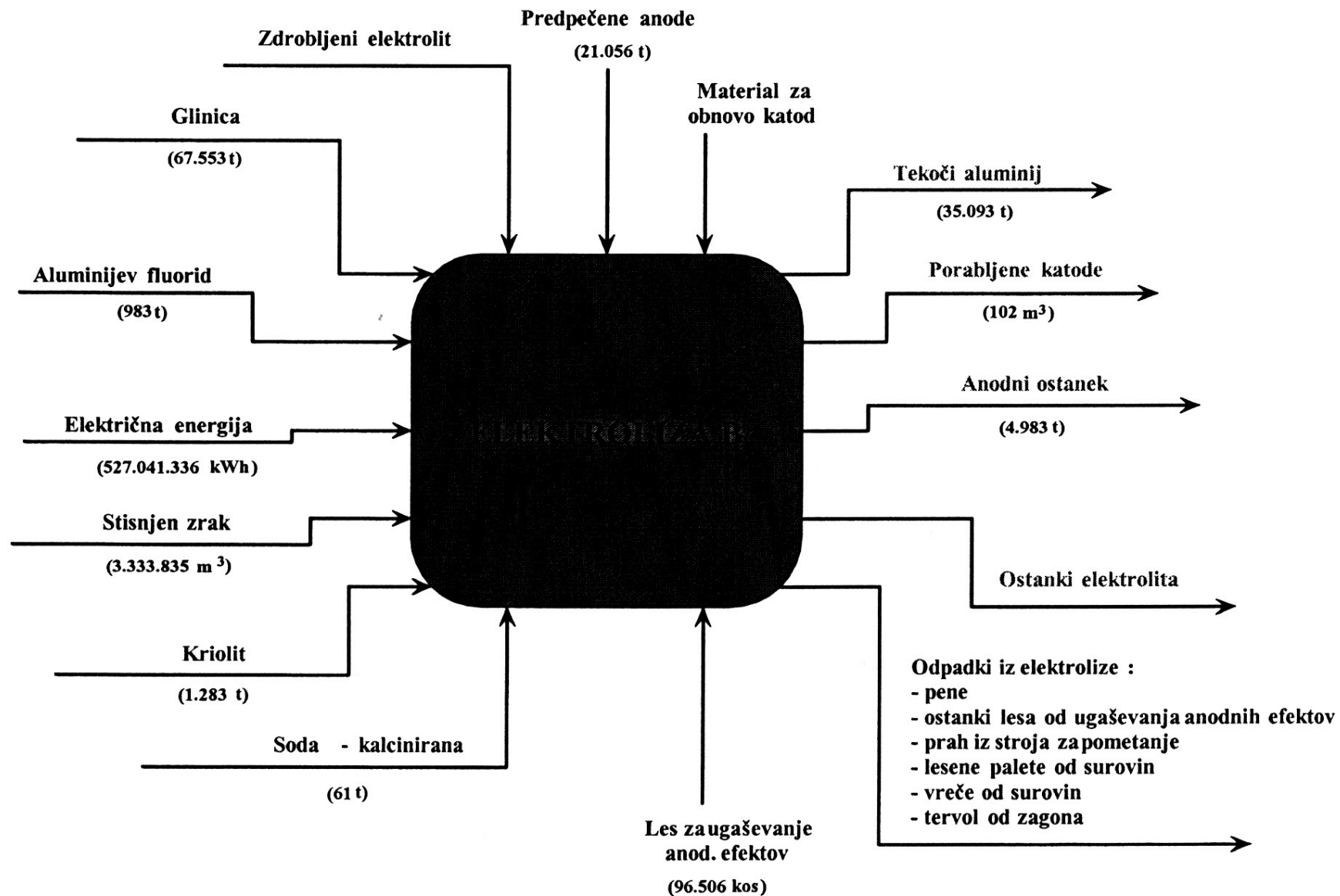


- Zaradi pomanjkanja glinice na površini anode, pride do zvišanja anodne napetosti. Zaradi tega se na anodi nabirajo fluorove spojine, ki poslabšujejo stik med anodo in elektrolitom
- Električni tok nato steče preko obloka, kar povzroči naglo naraščanje napetosti
- Sorazmerno z zvišanjem napetosti se poveča moč v celici, kar ima za posledico dvig temperature za 30 °C in več
- Odpravljanje anodnega efekta se izvaja z intenzivnim dodajanjem glinice, ter cikličnim dviganjem in spusčanjem anod

Elektroliza C



Elektroliza B



Srebro - Ag

Mehanske lastnosti srebra - Ag:

Gostota	10,5 kg/dm ³
Spec. teža	103 N/dm ³
Temperatura tališča	960,8 °C
Vrelišče	1980 °C
Spec. tal. toplota	105 kJ/kg
Spec. toplota	0,23 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient	19,7 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	423 W/m °C
Temp. prežarevanja	500 - 700 °C
Nat. trdnost (hladno valjano)	28 - 40 N/mm ²
Nat. trdnost (prežarjen)	13 - 16 N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	59

Električne lastnosti srebra - Ag:

Specifična električna upornost	0,0163 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	67,1 MS/m
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	4,1 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Zlato Au

Mehanske lastnosti zlata - Au:

Gostota	19,32 kg/dm ³
Spec. teža	189,5 N/dm ³
Temperatura tališča	1063 °C
Vrelišče	2700 °C
Spec. tal. toplota	63 kJ/kg
Spec. toplota	0,13 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	14,3 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	295 W/m °C
Temp. prežarevanja	500 °C
Nat. trdnost	20 - 23 N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	59

Električne lastnosti zlata - Au:

Specifična električna upornost	0,0244 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	47,6 MS/m
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	3,4 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Platina - Pt

Mehanske lastnosti platine - Pt:

Gostota	21,37 kg/dm ³
Spec. teža	209,93 N/dm ³
Temperatura tališča	1769 °C
Vrelišče	3800 °C
Spec. tal. toplota	100 kJ/kg
Spec. toplota	0,134 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	9 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	70 W/m °C
Nat. trdnost (hladno valjano)	340 - 370 N/mm ²
Nat. trdnost (prežarjen)	177 - 235 N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	50 - 53

Električne lastnosti platine - Pt:

Specifična električna upornost	0,1 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	10,2 MS/m
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	3,9 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Tantal - Ta

Mehanske lastnosti tantala - Ta

Gostota	16,6 kg/dm ³
Spec. teža	162,8 N/dm ³
Temperatura tališča	2850 °C
Vrelišče	4100 °C
Spec. tal. toplota	172 kJ/kg
Spec. toplota	0,138 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	6,5 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	54 W/m °C
Temp. prežarevanja	_____ °C
Nat. trdnost (hladno valjano)	do 1170 N/mm ²
Nat. trdnost (prežarjen)	345 N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	Od 45 do 450 (odvisno od načina sintranja)

Električne lastnosti tantala - Ta:

Specifična električna upornost	0,155 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ 11,15 % s.p.b.
Specifična električna prevodnost λ_V	7,14 MS/m
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	3,5 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Volfram - W

Mehanske lastnosti volframa - W:

Gostota	19,3 kg/dm ³
Spec. teža	190 N/dm ³
Temperatura tališča	3410 °C
Vrelišče	4727 °C
Spec. tal. toplota	193 kJ/kg
Spec. toplota	0,143 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	4,5 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	197 W/m °C
Temp. prežarevanja	_____ °C
Nat. trdnost (hladno valjano)	do 4000 N/mm ²
Nat. trdnost (prežarjen)	_____ N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	0d 290 do 350

Električne lastnosti volframa - W:

Specifična električna upornost	0,055 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	18,2 MS/m 31,4 % s.p.b.
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	4,8 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Molibden - Mo

Mehanske lastnosti molibdena - Mo:

Gostota	10,2 kg/dm ³
Spec. teža	100 N/dm ³
Temperatura tališča	2620 °C
Vrelišče	5550 °C
Spec. tal. toplota	273 kJ/kg
Spec. toplota	0,270 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	5 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	145 W/m °C
Temp. prežarevanja	_____ °C
Nat. trdnost	od 340 do 2450 N/mm ² odvisno od sintranja
Trdota (po Brinellu)	147 do 200

Električne lastnosti molibdena Mo:

Specifična električna upornost	0,048 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	20 MS/m 30,1 % s.p.b.
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	4,57 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Nikelj - Ni

Mehanske lastnosti niklja - Ni:

Gostota	8,9 kg/dm ³
Spec. teža	87,55 N/dm ³
Temperatura tališča	1452 °C
Vrelišče	3075 °C
Spec. tal. toplota	301 kJ/kg
Spec. toplota	0,441 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	13 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	90 W/m °C
Nat. trdnost prežarjenega	310 - 440 N/mm ²
Nat. trdnost trdo valjanega	680 - 780 N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	150 - 220

Električne lastnosti niklja - Ni:

Specifična električna upornost	0,048 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	20 MS/m 18,15 % s.p.b.
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	4,57 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Cink - Zn

Mehanske lastnosti cinka - Zn:

Gostota	7,13 kg/dm ³
Spec. teža	69,7 N/dm ³
Temperatura tališča	419,5 °C
Vrelišče	906 °C
Spec. tal. toplota	100 kJ/kg
Spec. toplota	0,395 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	29 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	108 W/m °C
Temp. prežarevanja	_____ °C
Nat. trdnost valjanega cinka	165 N/mm ²
Nat. trdnost litega cinka	62 N/mm ²
Trdota (po Brinellu)	30 mehki 45 trdi

Električne lastnosti cinka - Zn:

Specifična električna upornost	0,0575 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	17,6 MS/m 30 % s.p.b.
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	4,2 $10^{-3}/^\circ\text{C}$

Kositer - Sn

Mehanske lastnosti kositra - Sn:

Gostota	7,29 kg/dm ³
Spec. teža	71,59 N/dm ³
Temperatura tališča	232 °C
Vrelišče	2360 °C
Spec. tal. toplota	59 kJ/kg
Spec. toplota	0,228 kJ/kg °C
Dolžinski razt. koeficient (0 - 100°C)	27 10 ⁻⁶ /°C
Topl. prevodnost	63 W/m °C
Nat. trdnost valjanega kositra	49 N/mm ²

Električne lastnosti kositra - Sn:

Specifična električna upornost	$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Specifična električna prevodnost λ_v	8,7 MS/m 15,5 % s.p.b.
Temp. koef. specifične upornosti α_{20}	$4,6 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$