

# *METALI*

- TEORIJA LEGURA
- GVOŽĐE I NJEGOVE LEGURE
- ALUMINIJUM
- BAKAR
- CINK
- OLOVO
- KOROZIJA METALA

# ***METALI***

## **TEORIJA LEGURA**

- **Uvod**
- **Struktura metala**
- **Dijagrami stanja legura**  
(ne predaje se, osim za leguru Fe C)

# ***METALI***

## **TEORIJA LEGURA**

### **Uvod**

- **Osnovne odlike metala:**
- *Karakterističan metalni sjaj*
- *Sposobnost plastičnog deformisanja*
- *Toplotna i električna provodljivost*

Ova svojstva najtešnje su povezana sa  
*unutrašnjom građom metala* , koju karakterišu  
*metalne molekulske veze*

# ***METALI***

## ***Teorija legura***

### ***Uvod***

#### ■ ***U građevinskoj praksi:***

*Retko se primenjuju čisti metali, već njihove legure (interakcija dva ili više metala, ili metala i nemetala)*

#### ■ ***Legure su, u poređenju sa čistim metalima:***

*Povoljnije u pogledu mehaničkih, tehnoloških i drugih svojstava, kao i u ekonomskom pogledu*

#### ■ ***Metali se najčešće dele na:***

- Crne (gvožđe i njegove legure)*
- Obojene (aluminijum, bakar, cink, olovo i dr.)*

# ***METALI***

## ***Teorija legura***

### **Struktura metala**

Čisti metali, kao i njihove legure, imaju *kristalnu strukturu*:

■ Kubna, zapreminski centrisana rešetka:

(gvožđe, hrom, volfram, molibden),

■ Kubna, površinski centrisana rešetka:

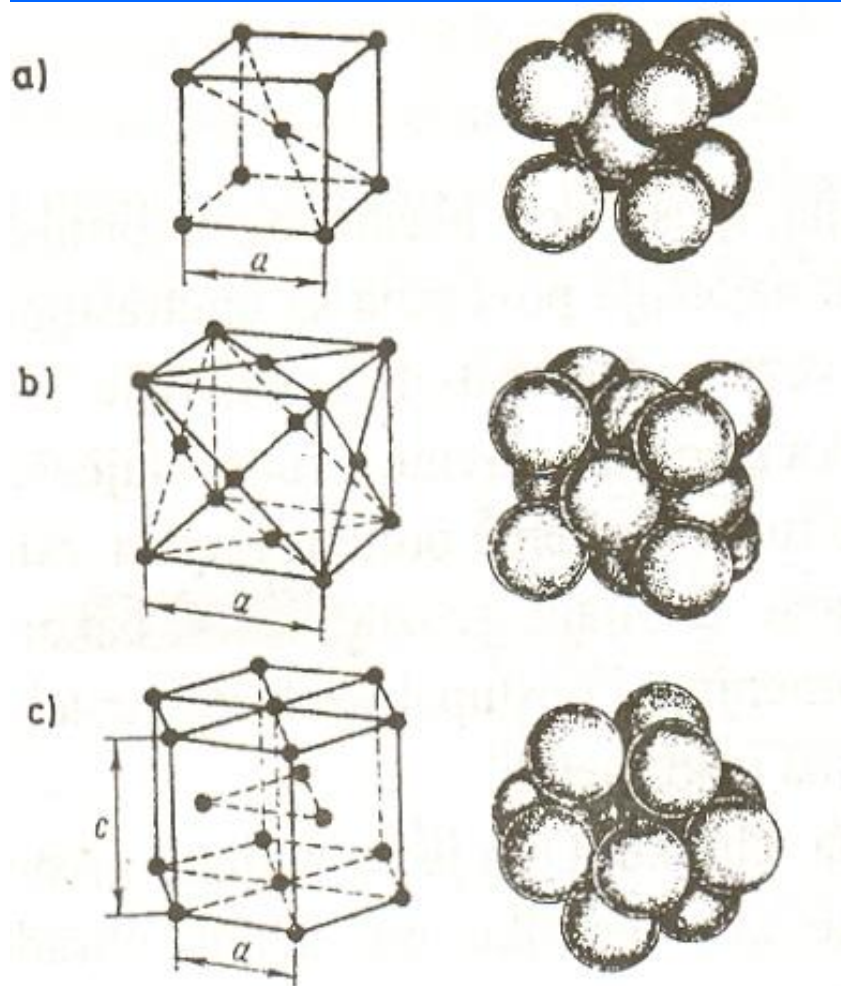
(aluminijum, bakar, nikl, olovo)

■ Heksagonalna rešetka:

(cink, mangan, kadmijum).

# ***METALI***

## *Teorija legura - Struktura metala*



*Sl. 7.1. Oblici kristalne strukture metala*

*a) Kubna, zapreminski centrisana rešetka* (gvožđe, hrom, volfram, molibden),

*b) Kubna, površinski centrisana rešetka* (aluminijum, bakar, nikl, olovo),

*c) Heksagonalna rešetka* (cink, mangan, kadmijum).

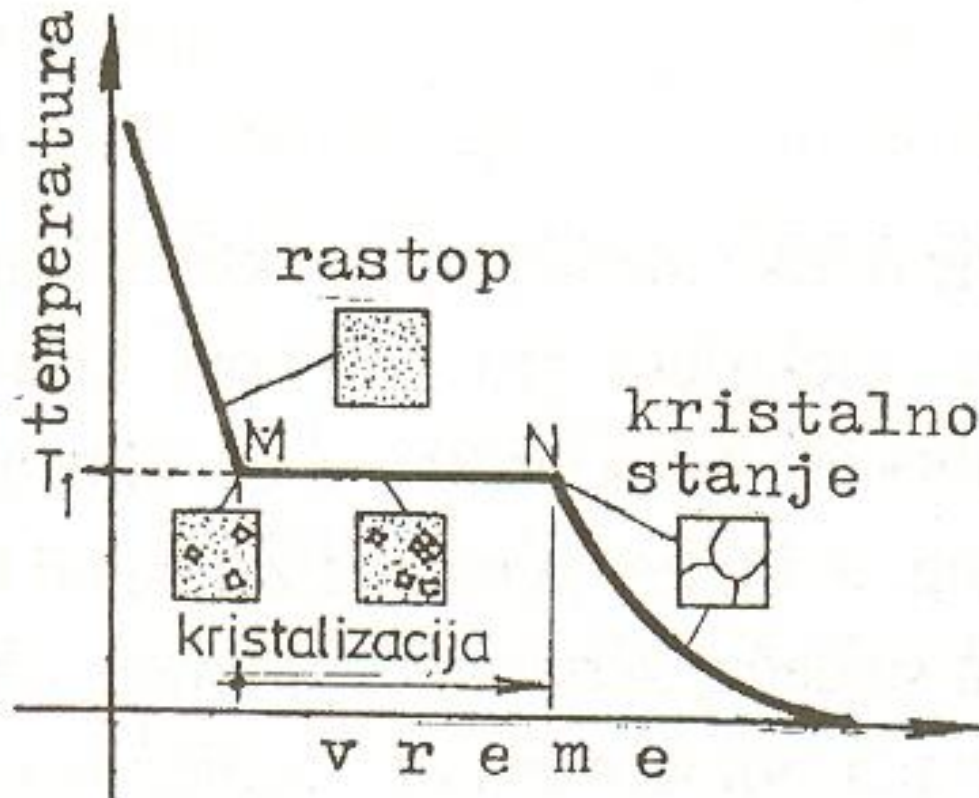
# *METALI*

## *Teorija legura*

- *Kristalna rešetka se formira tokom kristalizacije (procesa obrazovanja kristala iz rastopljenog metala)*
- *Oblik, veličina, kao i orijentacija kristala, izvanredno mnogo utiču na sva svojstva metala, kako čistih, tako i njihovih legura.*
- *Temperature topljenja, koje su jednake temperaturama kristalizacije, variraju u vrlo širokim granicama: od - 38,9 °C (živa), do 3410 °C (volfram)*
- *Pored primarne kristalizacije, moguća je i sekundarna-promena kristalne strukture u čvrstom stanju: alotropske modifikacije – tačke zastoja u hlađenju.*

# ***METALI***

## *Teorija legura*



*Zastoj u hlađenju na temperaturi  $T_1$  (horizontalni deo dijagrama) uslovljen je oslobađanjem skrivene toplote topljenja*

*Sl. 7.2. Kriva hlađenja rastopljenog metala*



# ***METALI***

## *Gvožđe i njegove legure*

- *Uvod*
- *Struktura gvožđa i njegovih legura*
- *Dobijanje čelika*
- *Prerada čelika deformacijom*
- *Liveni čelik (nije od značaja za građevinarstvo)*
- *Termička i termohemijska obrada čelika*
- *Klasifikacija čelika*

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

- *Građevinski čelici*
- *Zavarivanje čelika (ne predaje se)*
- *Fizička svojstva čelika*
- *Mehanička svojstva čelika*
- *Reološka svojstva čelika*
- *Tehnološka svojstva čelika*
- *Metalografska ispitivanja čelika (ne predaje se)*

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

### *Uvod*

#### ■ Elementarno gvožđe:

- nije pogodno za tehničku upotrebu ( $f_z \cong 200 \text{ MPa}$ )

#### ■ Legure gvožđa (čelici):

- daleko pogodnije za tehničku upotrebu  
( $f_z = 400 \text{ MPa} - 2000 \text{ MPa}$ )

#### ■ Elementi za legiranje:

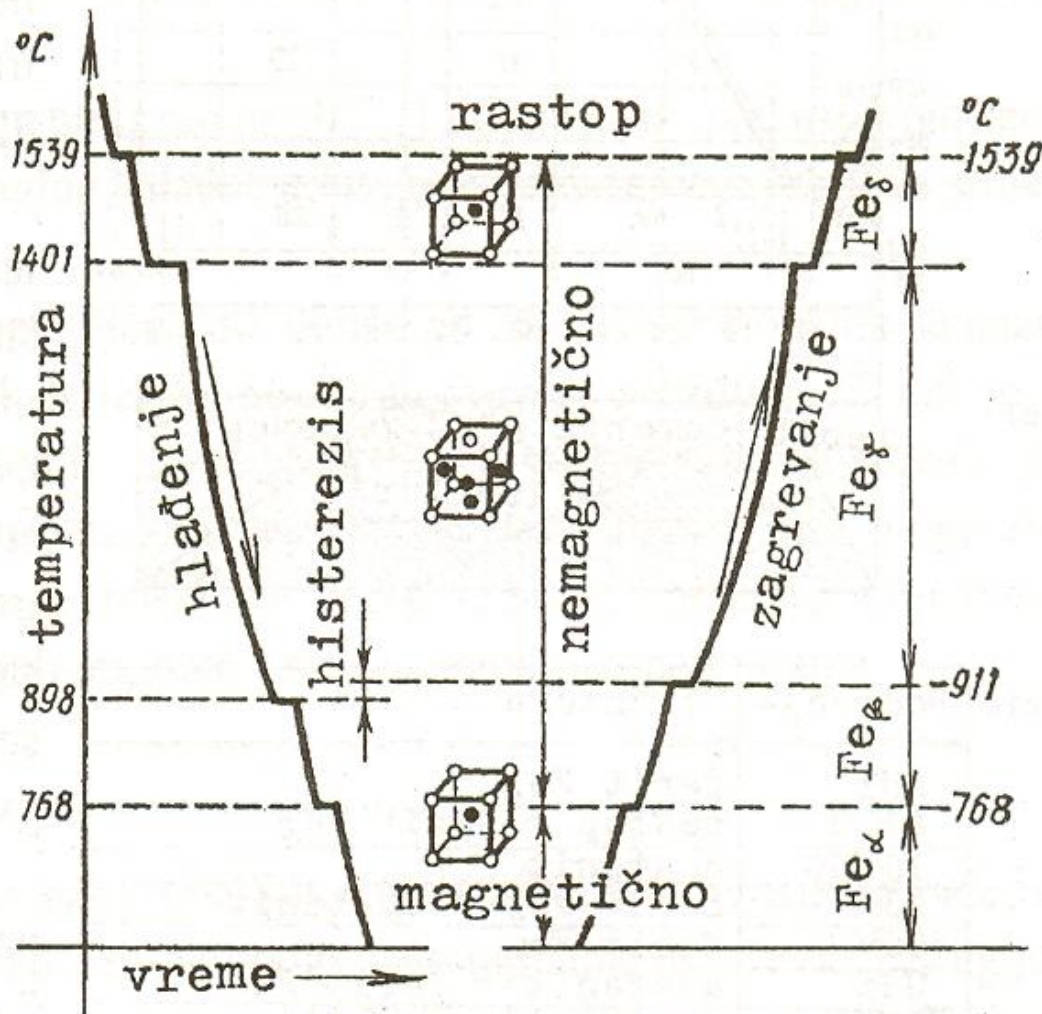
- C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, W i dr.

#### ■ Primeše (štetne):

- S, P, N, O i dr.

# METALI

## Gvožđe i njegove legure:



Sl. 7.10. Dijagram stanja gvožđa

### Struktura gvožđa i njegovih legura

– *Dijagram stanja gvožđa* –

- Iznad temperature od  $1539^{\circ}\text{C}$  gvožđe je u tečnom stanju – u stanju rastopa
- Pri hlađenju, njegovo očvršćavanje će započeti i završiti se na  $T = 1539^{\circ}\text{C}$
- Zastoj na ovoj temperaturi: zbog formiranja prvih čestica – kristala, praćenog oslobađanjem toplote)
- Zastoji u hlađenju na  $1401$ ,  $898$  i  $768^{\circ}\text{C}$ : zbog transformacije kristalne rešetke

# ***METALI***

## ***Gvožđe i njegove legure***

### ***Struktura gvožđa i njegovih legura***

#### ■ ***Gvožđe - 4 alotropske modifikacije:***

- *$Fe_{\alpha}$  - do  $768^{\circ}\text{C}$ : kubna, prostorno orijentisana rešetka,*
- *$Fe_{\beta}$  -  $768^{\circ}\text{C}$  do cca  $911^{\circ}\text{C}$  (pri hlađenju  $898^{\circ}\text{C}$ ): kubna, površinski orijentisana rešetka,*
- *$Fe_{\gamma}$  -  $911^{\circ}\text{C}$  (pri hlađenju  $898^{\circ}\text{C}$ ) do  $1401^{\circ}\text{C}$ : kubna, prostorno orijentisana rešetka,*
- *$Fe_{\delta}$  ( $1401^{\circ}\text{C}$  do  $1539^{\circ}\text{C}$ ): kubna, prostorno orijentisana rešetka,*

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

### *Struktura gvožđa i njegovih legura*

#### ■ *Ugljenik (C)-osnovni legirajući element gvožđa može da bude:*

- *Rastvoren u gvožđu (čvrsti rastvor C u Fe),*
- *U vidu jedinjenja  $Fe_3C$  (karbid gvožđa ili cementit),*
- *Izlučen u obliku grafita, tj. mehanička smeša Fe-C*

#### ■ *Dijagram stanja legure gvožđe – ugljenik:*

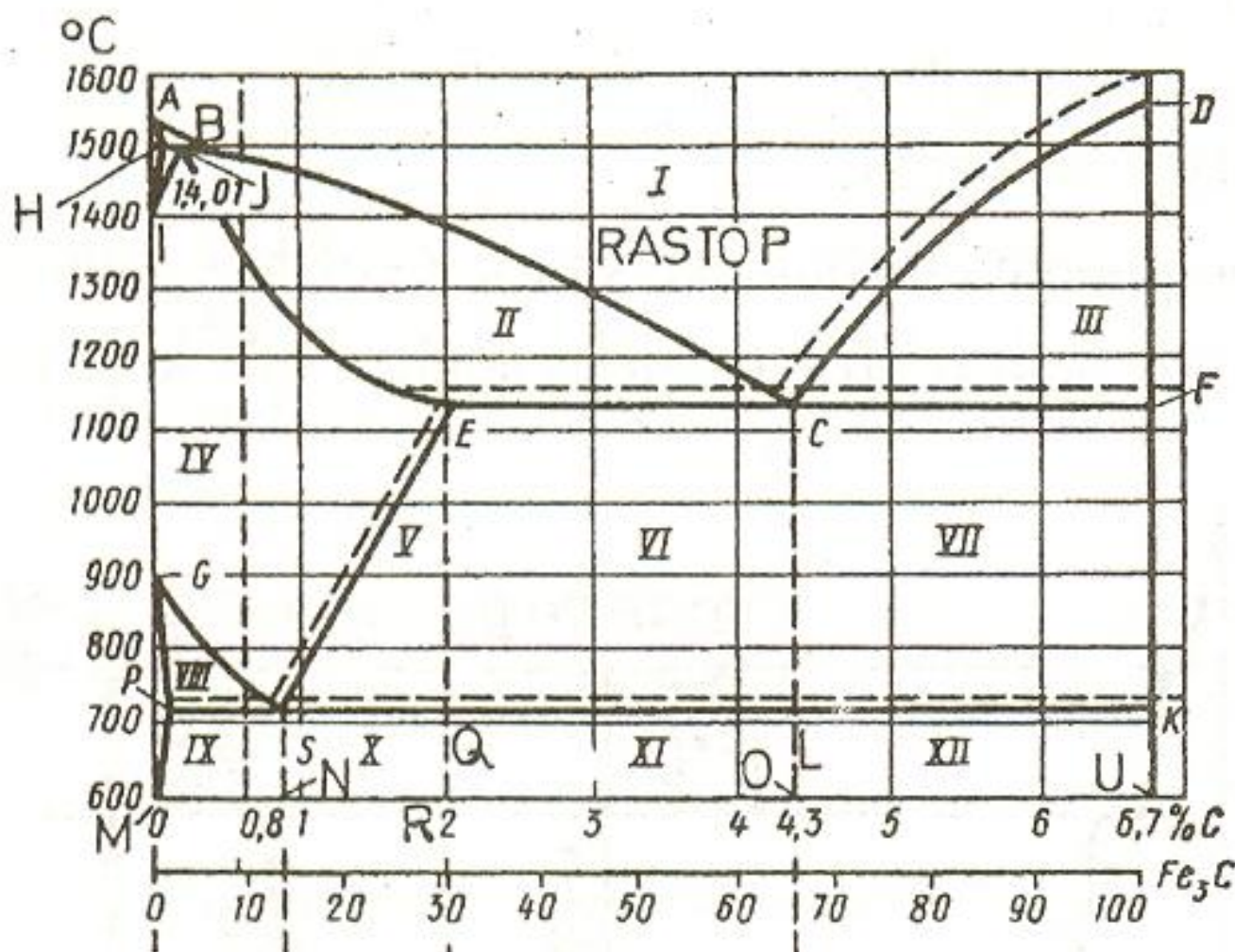
- *Liquidus, solidus linije,*
- *Sadržaj C u čistom cementitu  $Fe_3C$ : 6,67% ,*
- *Austenit (čvrsti rastvor C u  $Fe_\gamma$ ): visoka plastičnost (važno za obradu deformacijom)!*



# METALI

## Gvožđe i njegove legure

### Struktura gvožđa i njegovih legura



### Dijagram stanja legure Fe-C

- U području I-J-E-S-G egzistira čvrsti rastvor ugljenika u modifikaciji  $Fe_\gamma$
- Ova struktura ima posebno ime – austenit
- Za austenit je karakteristična visoka plastičnost
- Mehaničke prerade čelika se obično vrše u stanju austenita)

# METALI

## Gvožđe i njegove legure

### Dobijanje čelika

#### ■ Dvoetažno prečišćavanje (rafinacija) gvozdene rude:

- U I etapi u visokim pećima iz rude se dobija sirovo gvožđe ( $>2\%C$ ),
- U II etapi redukcija do  $<2\% C$  + smanjenje sadržaja S i P.

#### ■ Rafinacija u visokim pećima:

- Koks + topitelji (kreč, pesak i dr.)

##### *Topitelji:*

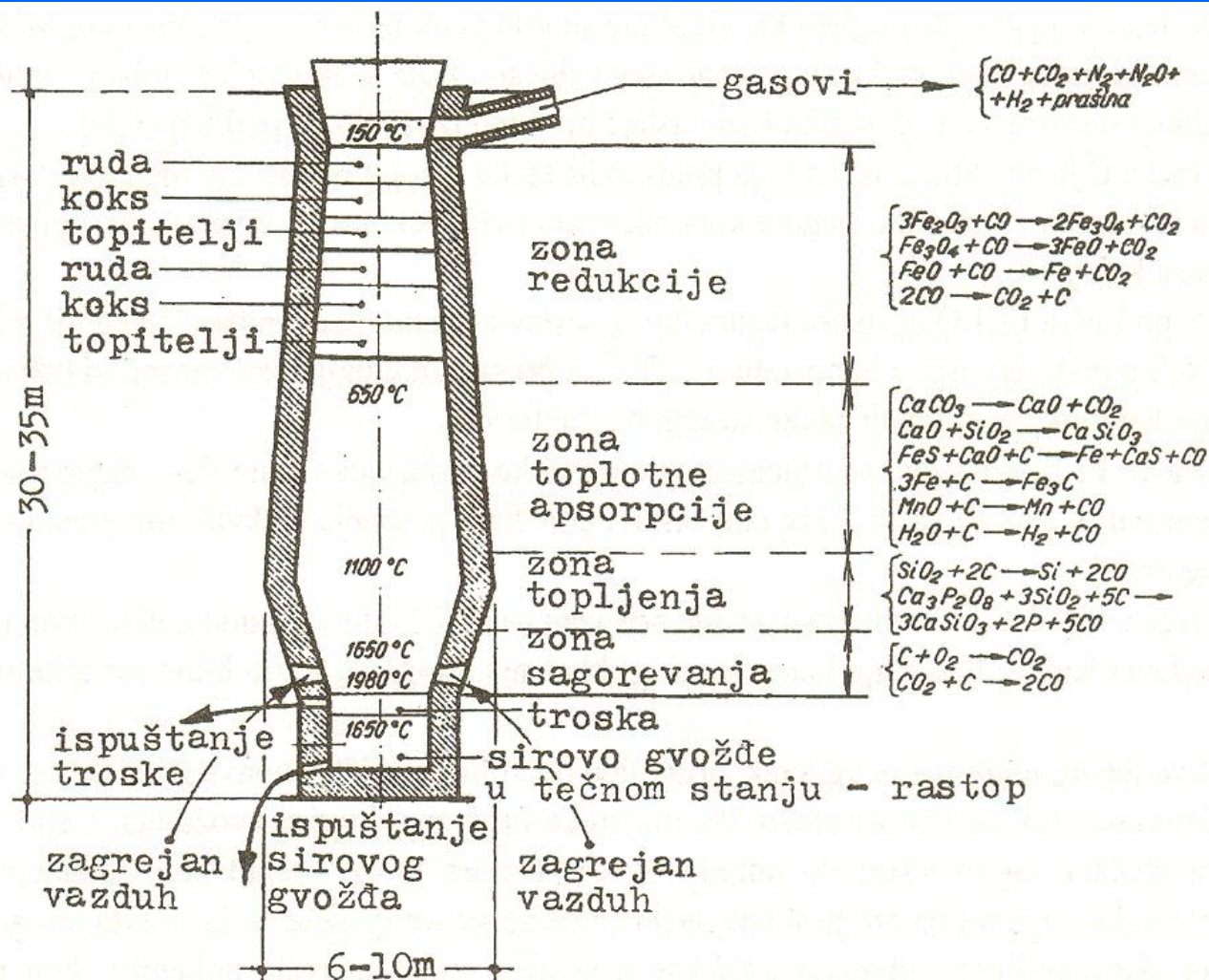
- Snižavaju temperaturu topljenja,
- Vezuju štetne primese (troska ili zgura visokih peći)
- Uduvavanje vazduha zagrejanog na  $600 - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- Temperatura pri dnu peći cca  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$



# METALI

## Gvožđe i njegove legure

### Dobijanje čelika - I etapa



Šematski prikaz  
visoke peći i tehnolo-  
gije redukcije rude  
gvožđa

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

### *Dobijanje čelika – I etapa*



*Ispuštanje  
zgure (troske)  
iz visoke peći*

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

### *Dobijanje čelika*

- *Belo sirovo gvožđe*: *Ugljenik vezan u obliku  $Fe_3C$* 
  - *Služi za dobijanje čelika i proizvoda od čelika*
- *Sivo sirovo gvožđe*: *Ugljenik izlučen u obliku grafita*
  - *Služi za dobijanje livenog gvožđa, od koga se za građevinarstvo proizvode:*
    - *Kanalizacione cevi, poklopci šahtova,*
    - *Vodovodne cevi i vodovodna armatura,*
    - *Radijatori za centralno grejanje i dr.*

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

### *Dobijanje čelika*

#### ■ *Konvertorski postupak:*

- *Besemerov: Kisela obloga (šamot)*  
*Si do 2% i Mn do 1,5 %, min S i P*
- *Tomasov: Bazna obloga (magnezit ili dolomit)*  
*P do 2%, min. sadržaj Si i S*

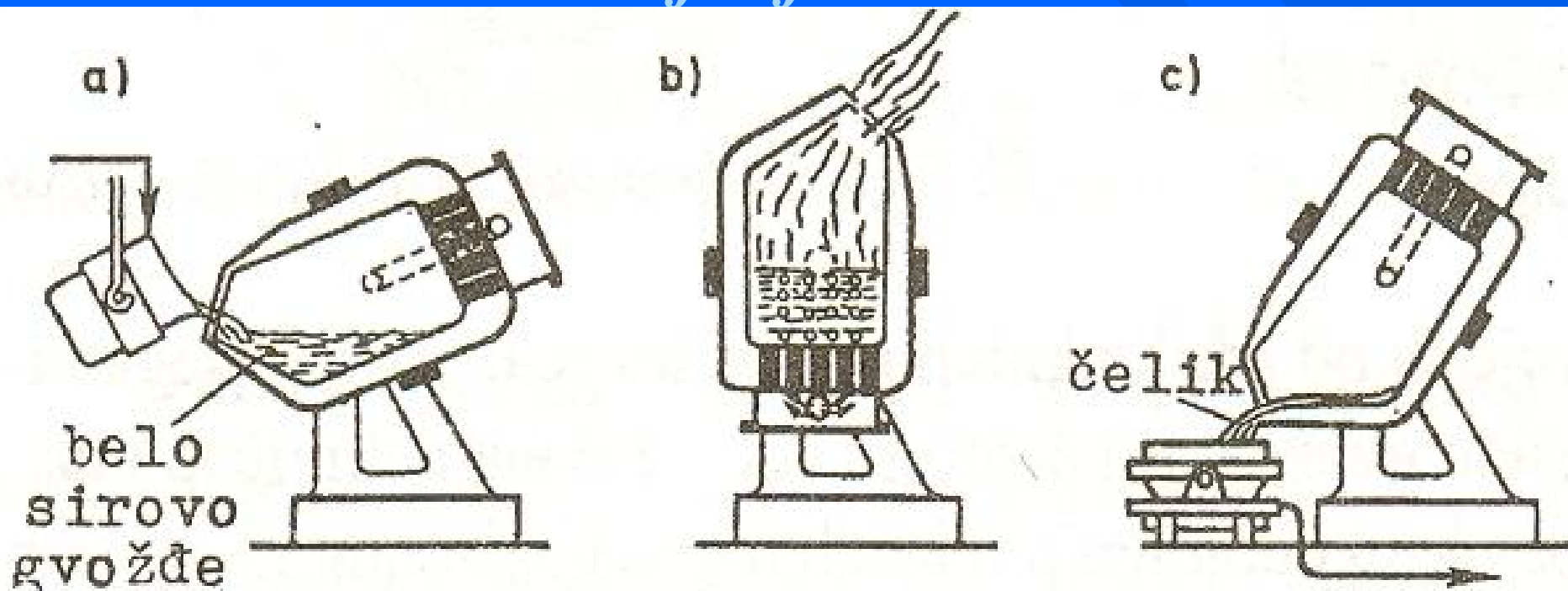
#### ■ *Kiseoničko - konvertorski ili kiseonični postupak*

- *Umesto vazduha uduvava se čist kiseonik (do 3000 °C),  
dobija se kvalitetniji čelik!*

# METALI

## Gvožđe i njegove legure

### Dobijanje čelika



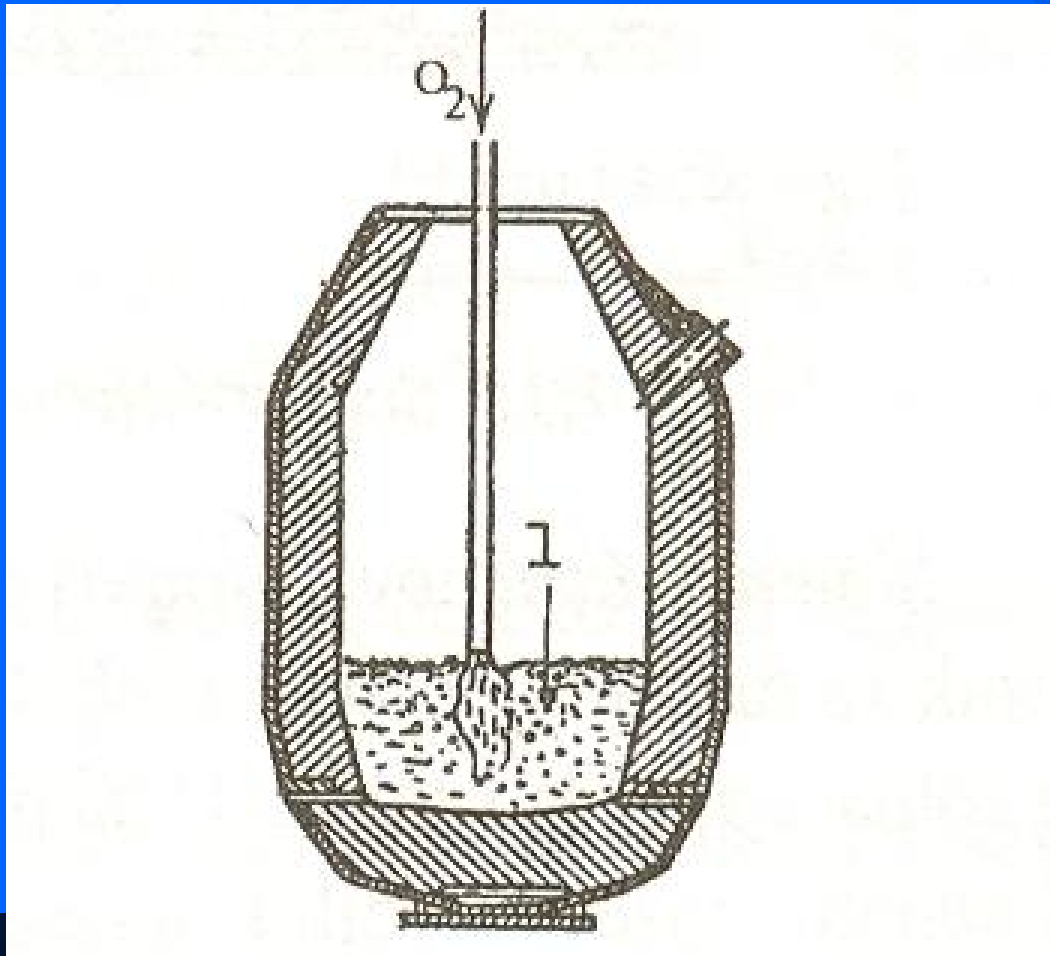
*Konvertorski postupak dobijanja čelika*



# METALI

## Gvožđe i njegove legure

### Dobijanje čelika



- *Vrlo burna oksidacija – temperatura dostiže do  $3000^{\circ}C$*
- *Ovako dobijen čelik je kvalitetniji od Besmerovog i Tomasovog*

*Kiseonično – konvertorski postupak dobijanja čelika*

# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

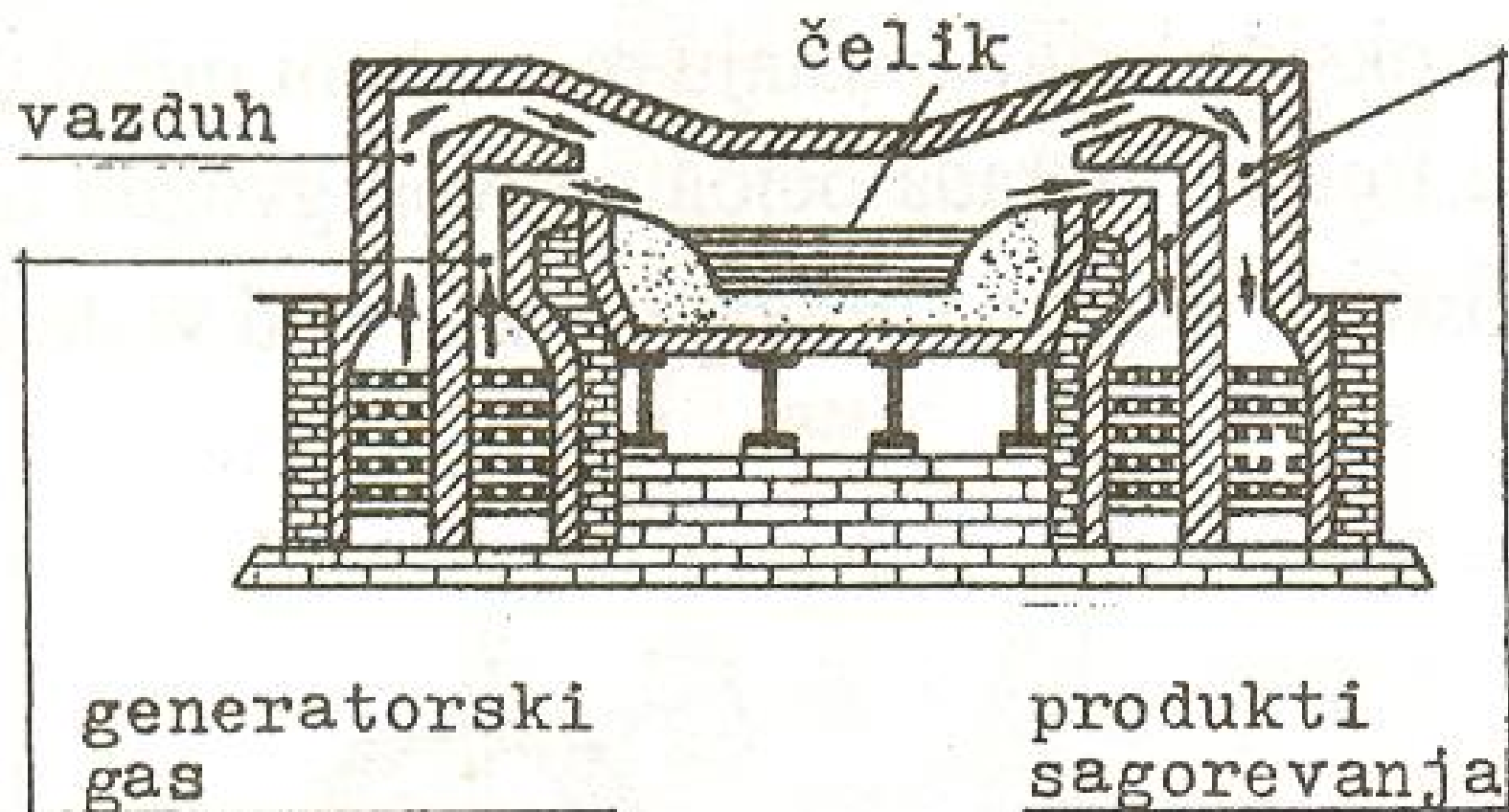
### *Dobijanje čelika*

#### ■ *Simens - Martenov postupak* (v. sledeći slajd)

- *Kiseonik za rafinaciju u obliku oksida gvožđa,*
- *Otpaci gvožđa i čelika,*
- *Dobija se kvalitetan čelik, nezavisno od vrste i sadržaja primesa u sirovom gvožđu (sa visokim sadržajem S i P),*

# ***METALI***

## ***Dobijanje čelika***



***Simens – Martenova peć***



# *METALI*

## *Gvožđe i njegove legure*

### *Dobijanje čelika*

#### ■ *Elektro postupak* (v. sledeći slajd)

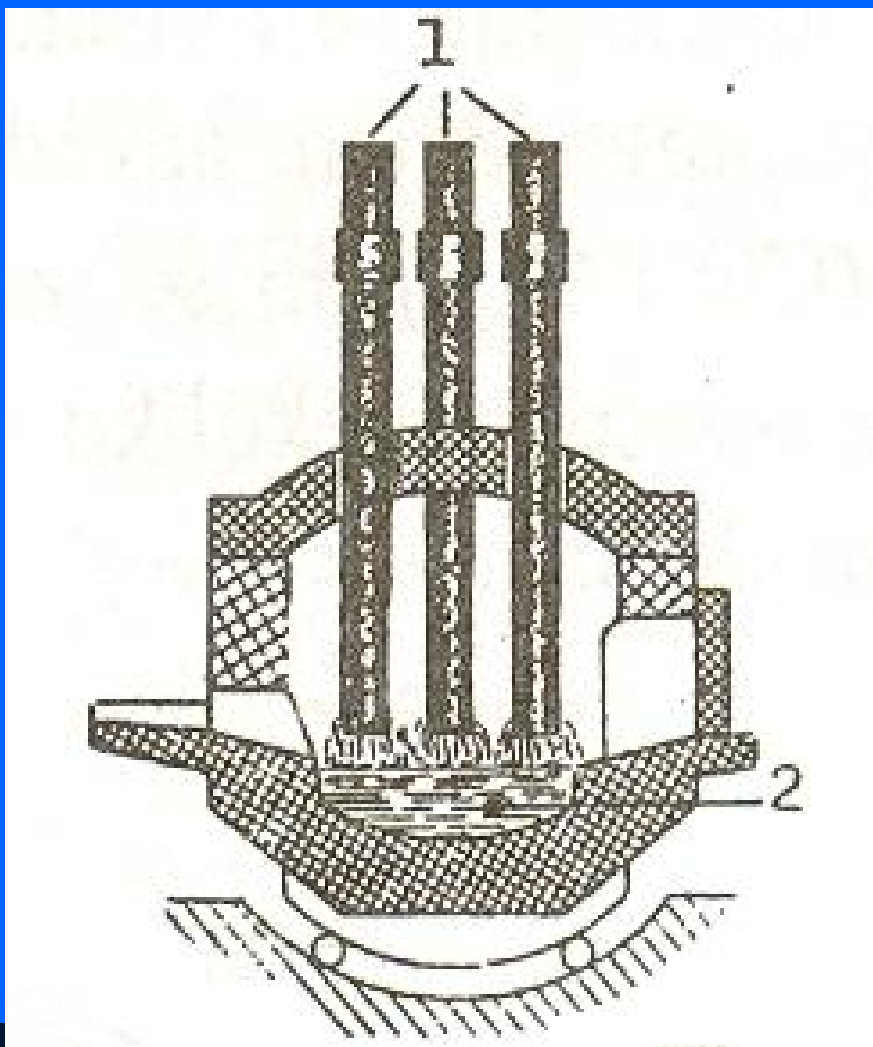
- *Dobija se čelik željenog hemijskog sastava, sa minimalnim sadržajem S, P, O i drugih primesa!*
- *Osnovni nedostatak - skup!*

#### ■ *Duplex postupak*:

- *Najpre: Čelik konvertorskim postupkom, zatim: u elektro-peći do željenog sastava*

# *METALI*

## *Dobijanje čelika*

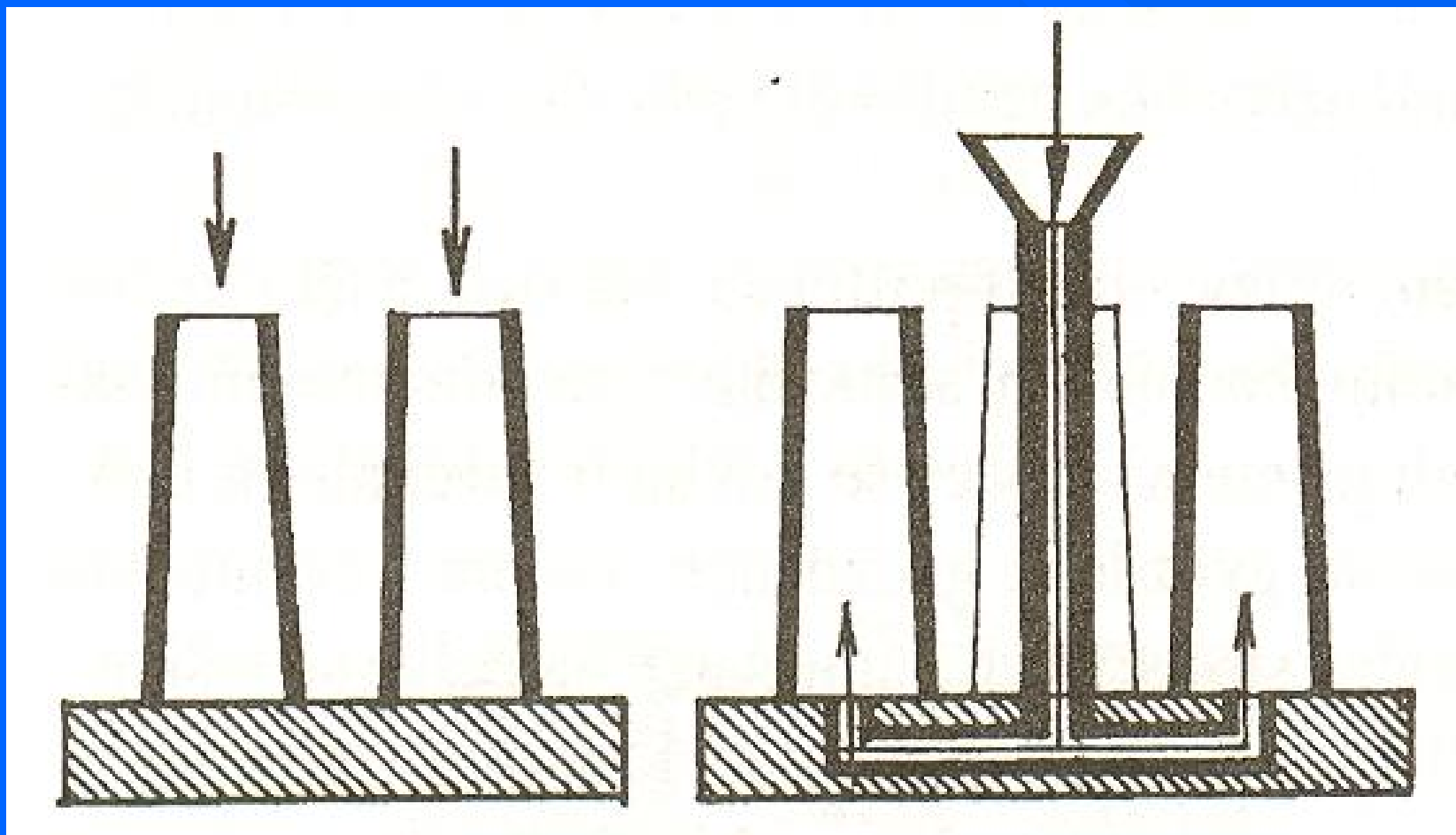


*Zagrevanje šarže najčešće se vrši putem električnog luka koji se obrazuje između elektroda (1) i šarže (2)*

*Elektro - peć*

# *METALI*

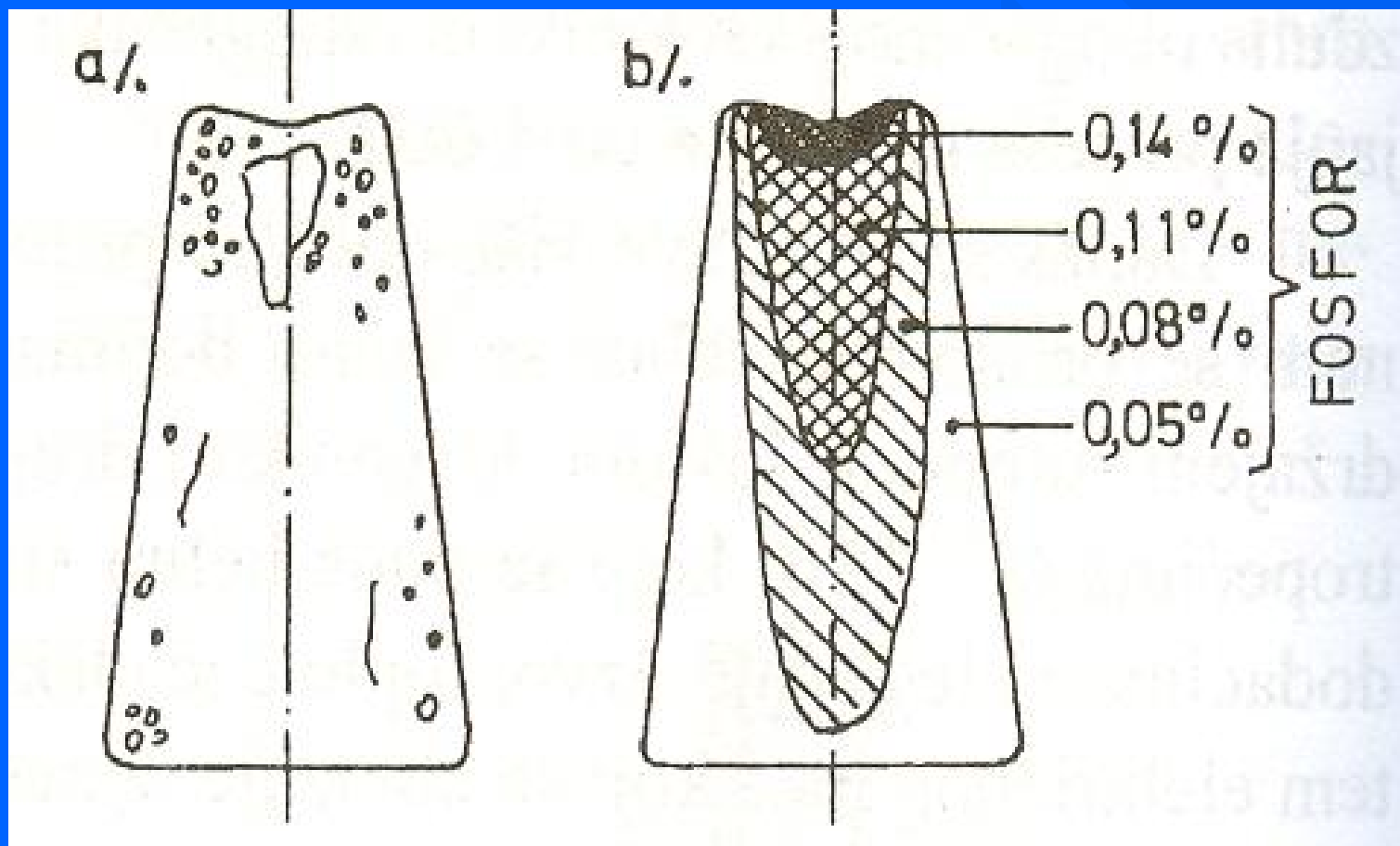
## *Dobijanje čelika*



*Nalivanje rastopljenog čelika u kokile*

# ***METALI***

## ***Dobijanje čelika***



*Defekti u ingotu*

# ***METALI***

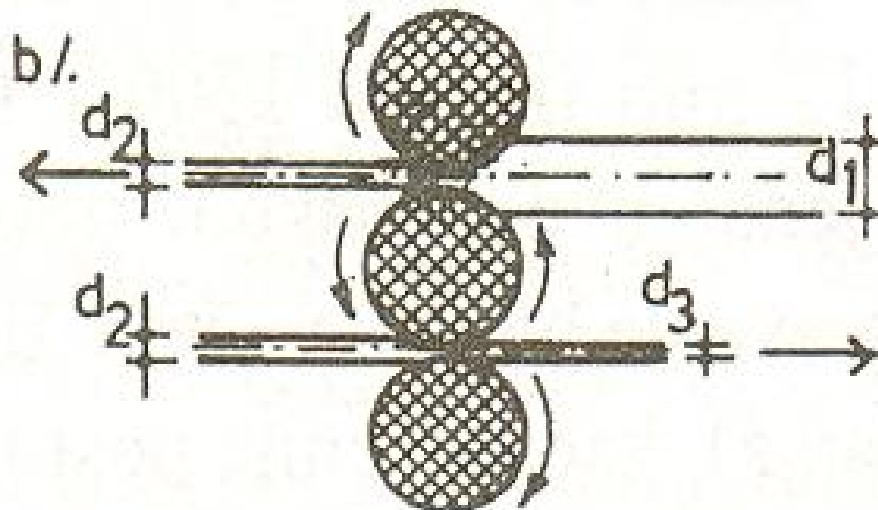
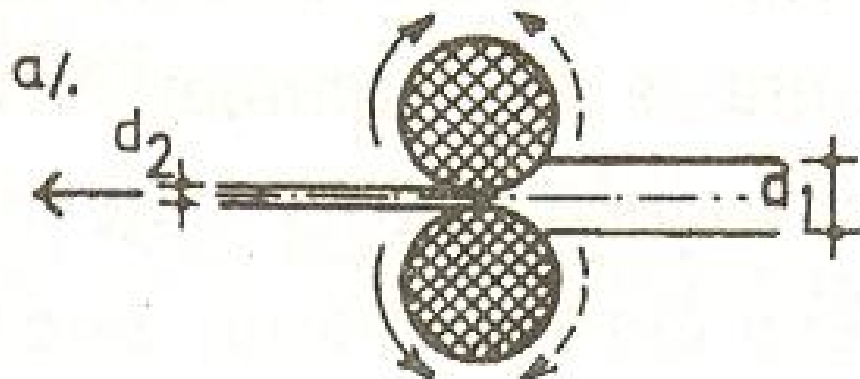
## ***Prerada čelika deformacijom***

- *Valjanje: Limovi, šipke, valjani profili,*
  - *Izvlačenje: Okrugli profili manjih dimenzija,*
  - *Kovanje: Veći komadi koji se teško valjaju,*
  - *Presovanje:*
    - *Zapreminsko presovanje (elementi složenijih oblika)*
    - *Presovanje čel. ploča i limova na hladno*  
*(tankoziidni elementi složenog oblika)*
  - *Ekstrudiranje (istiskivanje): šipke, štapovi*
- Svi navedeni postupci obrade mogu se obavljati kako "na toplo", tako i "na hladno"*



# ***METALI***

## *Prerada čelika deformacijom*

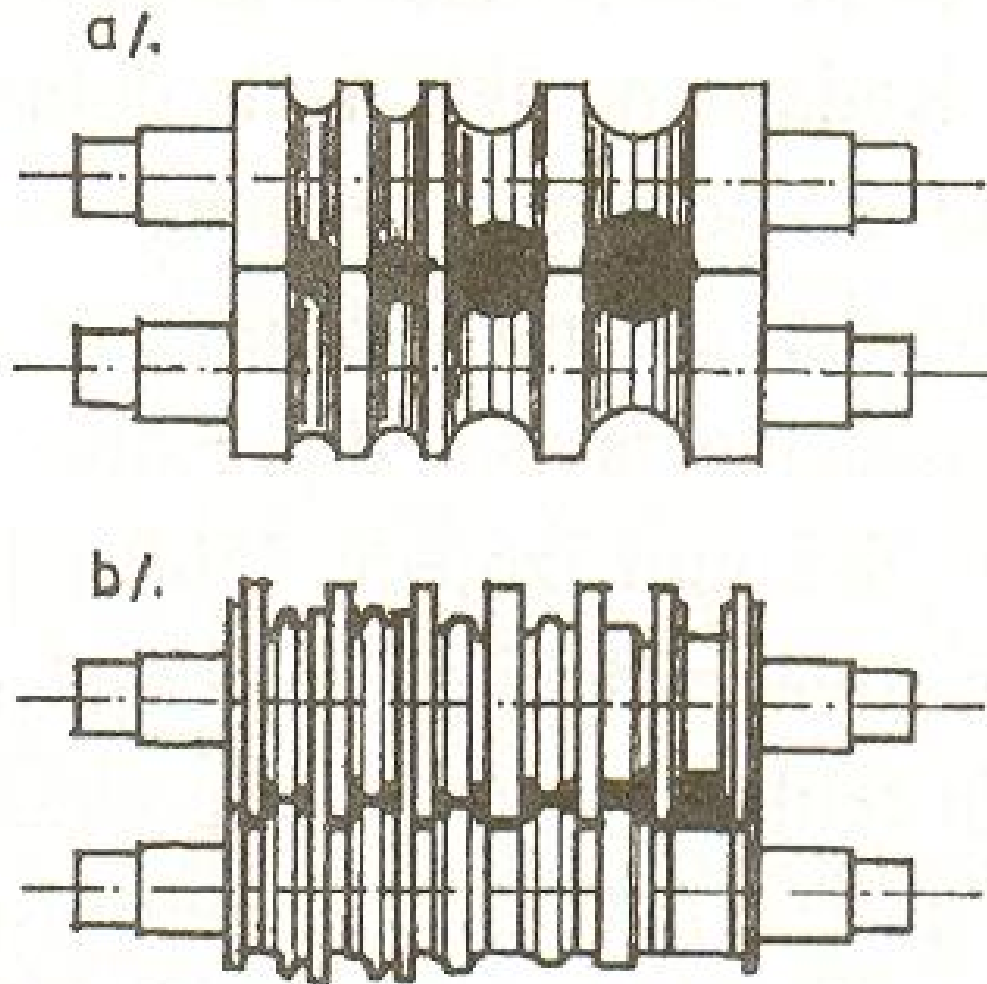


*Valjanje*

*Sl. 7.19. Valjanje pomoću glatkih valjaka*

# *METALI*

## *Prerada čelika deformacijom*



*Valjanje*

*Sl. 7.20. Valjanje pomoću kalibriranih valjaka*



# ***METALI***

## ***Prerada čelika deformacijom***



***Valjanje***

***Valjanje I profila pomoću kalibriranih valjaka***

# ***METALI***

## *Prerada čelika deformacijom*



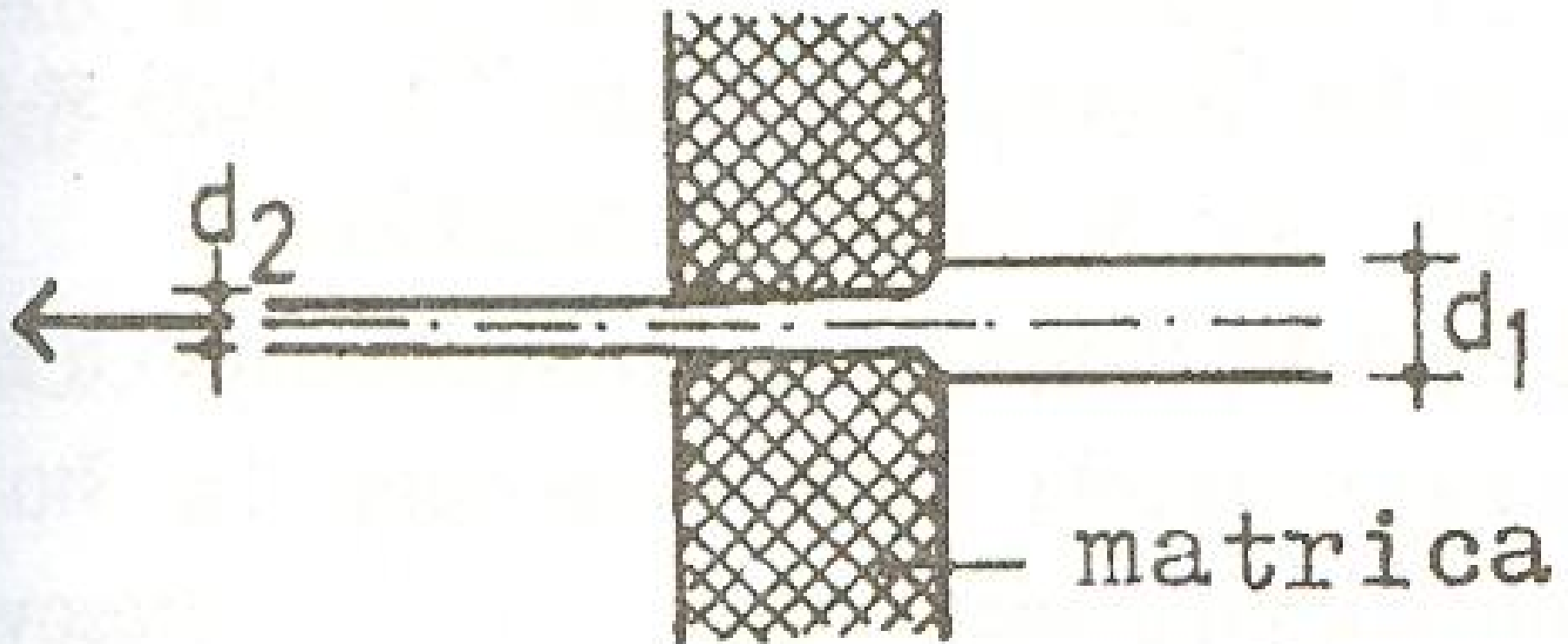
*Valjanje*

*I profil sa širokim nožicama (Pajner) na kraju valjanja*

# *METALI*

## *Prerada čelika deformacijom*

### *Izvlačenje*



*Skica postupka izvlačenja*

# *METALI*

## *Prerada čelika deformacijom*

- *Mehanička i tehnološka svojstva proizvoda dobijenih valjanjem i izvlačenjem, neće zavisiti samo od hemijskog sastava materijala, već u velikoj meri i od tehnologije prerade.*
- *Ova svojstva u prvom redu zavisiće od toga da li se primenjuje toplo ili hladno valjanje, odnosno izvlačenje, zatim od nivoa temperature pri obradi “na toplo”, a bitnu ulogu igra i stepen sažimanja, kako kod obrade “na toplo”, tako još više kod obrade “na hladno”.*
- *Odgovarajuće zbijanje u toplom stanju uslovljava smanjenje kristalnih zrna i njihov kompaktniji raspored, što doprinosi povećanju mehaničkih otpornosti materijala.*
- *Hladnom deformacijom (valjanjem i izvlačenjem) dolazi do usmeravanja kristalnih zrna, čime se postižu vrlo visoke čvrstoće, uz istovremeno nepovoljan efekat izvesnog smanjenja žilavosti.*
- *Sitnozrni materijali imaju uvek veće čvrstoće i tvrdoće, dok krupnozrni, po pravilu, veću plastičnost !*



# ***METALI***

## ***Prerada čelika deformacijom***

- *Svi postupci obrade “na hladno” mogu biti praćeni i međufaznim zagrevanjem, kao i raznim postupcima termičke obrade.*
- *Tako, na primer, patentirana žica, koja se vrlo široko primenjuje u tehnici prethodnog naprezanja (prednaprezanja), predstavlja proizvod dobijen kombinovanjem ovih postupaka:*
  - *Kao prvo, žica dobijena valjanjem “na toplo”, zagreva se na 900-1000 °C, pa hladi u olovnom ili sonom kupatilu na 450 do 500°C (na ovaj način dobija se najpovoljnija struktura za dalji tretman).*
  - *Žica se zatim postepeno hladi do normalne temperature i provlači kroz odgovarajuće matrice, koje je sažimaju*
  - *Ovako dobijen, hladno vučeni čelik odlikuje vrlo visoka  $f_z (\sigma_m)$ , koja, načelno, zavisi od prečnika i kreće se u granicama: 1800 MPa (za  $\phi$  2-3 mm), 1500-1800 MPa (za  $\phi$  4-5 mm), 1300-1500 (za  $\phi$  6-12mm).*



# ***METALI***

## ***Prerada čelika deformacijom***

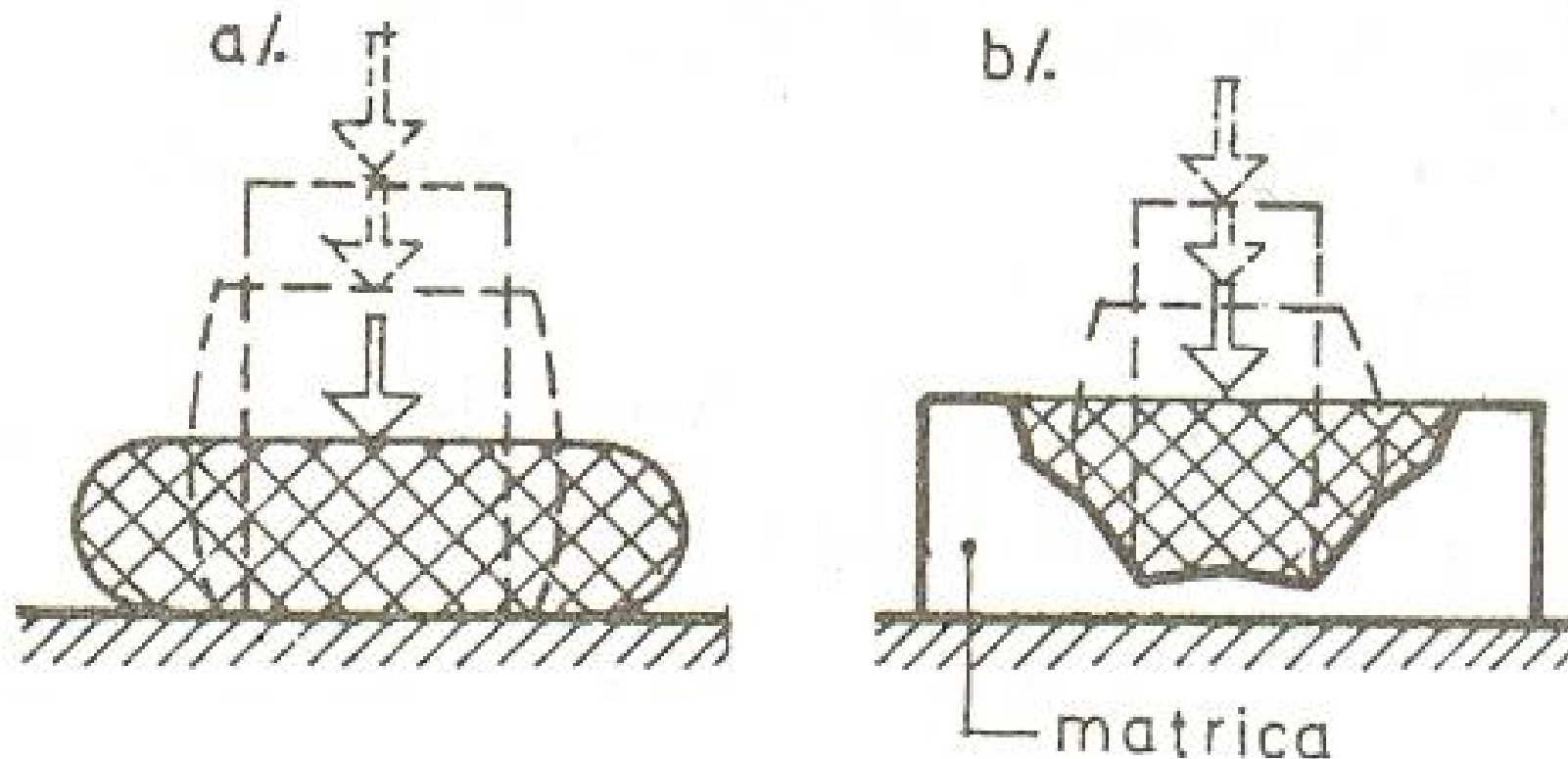
- *Materijal dobijen na napred opisan način, međutim, može se podvrći i jednom dopunskom tretmanu, tzv. “Opuštanju”, koje podrazumeva:*
  - *Ponovno zagrevanje hladno vučene žice do temperature  $T=150-400\text{ }^{\circ}\text{C}$  (u zavisnosti od dužine zagrevanja), uz docnije postupno hlađenje do normalne temperature. Na ovaj način  $f_z$  se povećava do 10%, uz poboljšanje žilavosti žice!*



# *METALI*

## *Prerada čelika deformacijom*

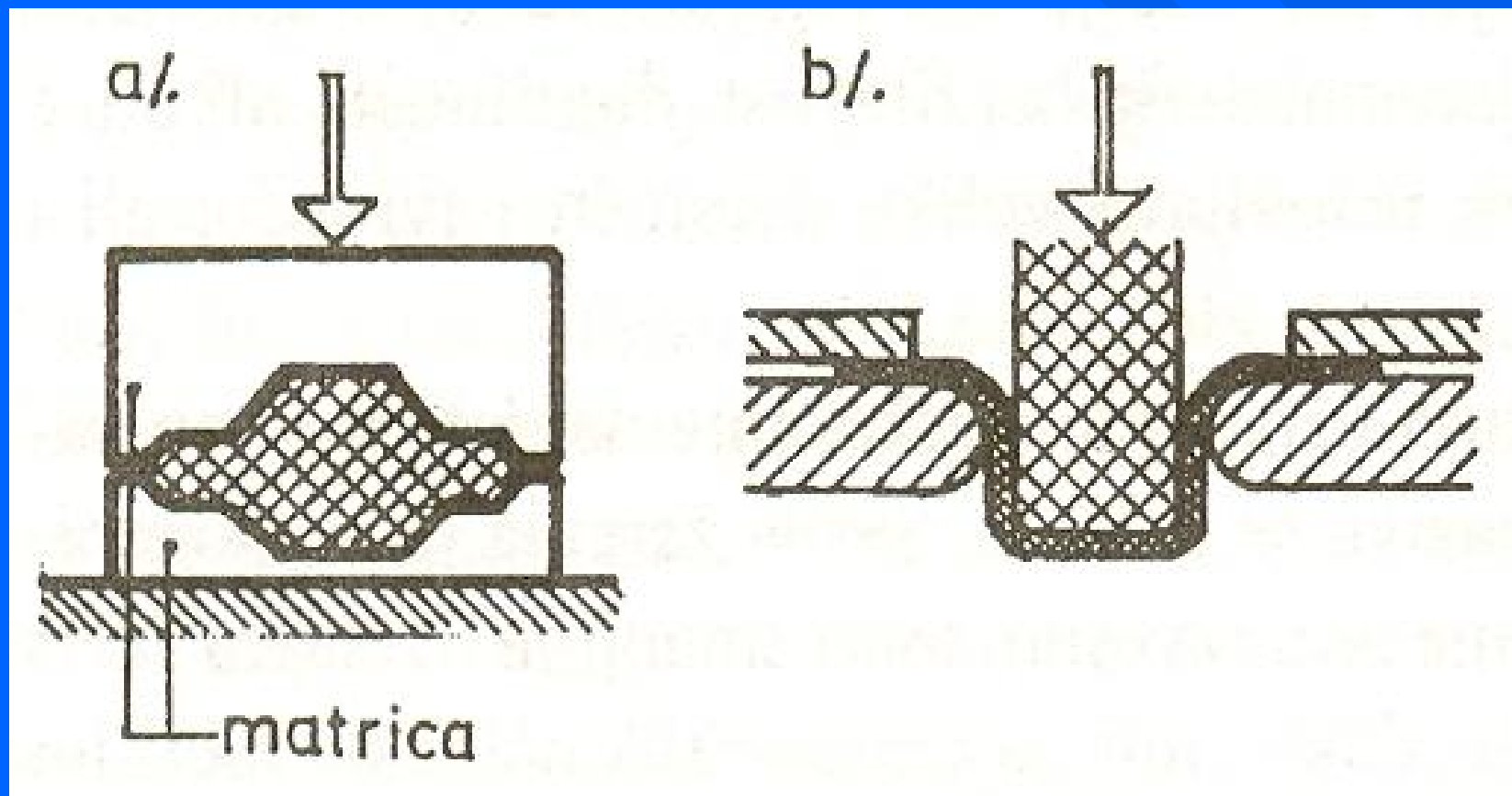
### *Kovanje*



*Dva postupka kovanja*

# *METALI*

## *Prerada čelika deformacijom* *Presovanje*

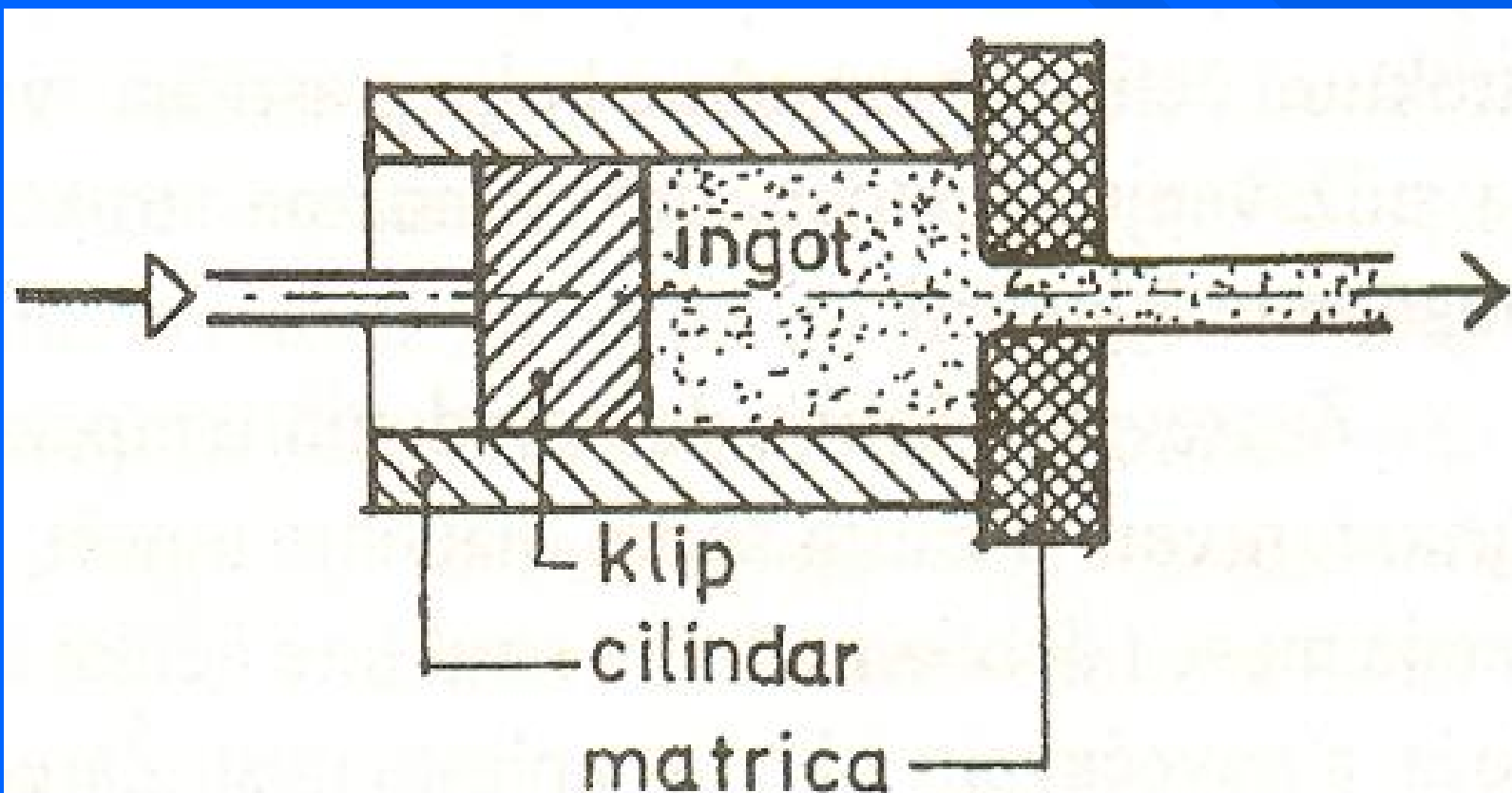


*Dva postupka presovanja: zapreminsko presovanje (levo) i prsovanje “na hladno” čeličnih ploča i limova (tankozidni elementi složenih oblika*

# *METALI*

## *Prerada čelika deformacijom*

### *Istiskivanje (Ekstrudiranje)*



*Sl. 7.24. Ekstrudiranje*

# *METALI*

## *Termička obrada čelika*

### *Uticaj brzine hlađenja na strukturu i svojstva čelika*

- *Na strukturu, a time i na svojstva čelika, u značajnoj meri može se uticati brzinom hlađenja.*
- *Ako se legura hladi sporo, u peći, dobiće se znatno krupniji kristali nego ako se isti čelik hladi na vazduhu ili, pak, ako se primeni neki postupak izuzetno brzog hlađenja.*
- *Kao što je ranije rečeno, krupnozrna struktura čelika obezbeđuje bolja plastična svojstva (žilavost – duktilnost), ali utiče na snižavanje čvrstoće, dok sitnozrna struktura uslovljava veliku čvrstoću i tvrdoću, ali i smanjenje žilavosti.*

# ***METALI***

## ***Termička obrada čelika***

- ***Žarenje:*** Zagrevanje do određene temperature, izvesno zadržavanje na tom nivou, zatim sporo hlađenje; ima za cilj homogenizaciju mase i da čelik učini što mekšim za dalju obradu (na pr. obradu hladnim valjanjem ili izvlačenjem).
- ***Normalizacija:*** Zagrevanje do temperature 950-1000 °C, sa hlađenjem na vazduhu brzinom 20-50°C/min. Dobija se zahtevana sitnozrna struktura materijala (konstrukcijski čelik se najčešće isporučuje u “normalizovanom stanju”).
- ***Kaljenje:*** Zagrevanje do određene temperature  $T$  (visoko u austenitskom području), zatim naglo hlađenje. Dobija se krt materijal, visoke tvrdoće i čvrstoće. Radi smanjenja krtosti, kaljenje redovno prati postupak opuštanja.
- ***Poboljšanje:*** Nakon kaljenja u vodi ili u ulju, zagrevanje na 450-650°C i naglo hlađenje na vazduhu. Raste:  $f_z$ ,  $\sigma_{vi}$  i  $\rho$ !

# METALI

## Klasifikacija (podela) čelika

- *Prema hemijskom sastavu: ugljenični i legirani,*
- *Prema nameni: konstrukcioni i alatni,*
- *Prema kvalitetu: obični, kvalitetni i plemeniti.*
  - *Obični čelik: Negarantovan sastav i nepropisan sadržaj nečistoća*
  - *Kvalitetni i plemeniti čelik: Garantovan hemijski sastav i limitirane nečistoće – kod plemenitog ih je daleko manje nego kod kvalitetnog.*

# *METALI*

## *Klasifikacija (podela) čelika*

### *Ugljenični i legirani čelici:*

- *Kod ugljeničnih čelika: Odlučujući uticaj na svojstva čelika ima ugljenik C, dok se ostali prisutni elementi smatraju primesama. Kao prateći elementi javljaju se mangan Mn i silicijum Si i nisu od uticaja na svojstva čelika.*
- *Kod legiranih čelika: Zbir procenata legirajućih elemenata je  $< 5\%$  (niskolegirani) ili  $> 5\%$  (visokolegirani)*

# *METALI*

## *Klasifikacija (podela) čelika*

### *Konstrukcioni i alatni čelici:*

- *Konstrukcioni čelici* *su one vrste čelika koje se upotrebljavaju za izradu konstrukcijskih elemenata ili čeličnih konstrukcija u celini (počev od predmeta široke potrošnje pa do čeličnih konstrukcija u građevinarstvu, mašinogradnji, brodogradnji i.t.d.).*
- *Alatni čelici* *predstavljaju čelike koji služe za izradu raznih alata – za obradu svih vrsta materijala, kako u hladnom, tako i u toplom stanju.*



# ***METALI***

## ***Klasifikacija (podela) čelika***

- Za izbor *konstrukcijskih čelika* odlučujuću ulogu imaju njihova mehanička i tehnološka svojstva:  $f_z$  ( $\sigma_m$ ),  $\sigma_{vi}$ ,  $\rho$ , osetljivost prema krtom lomu, pojavi prslina i.t.d.
- Za upotrebljivost *alatnih čelika*, mehanička svojstva (osim tvrdoće i žilavosti) nemaju većeg značaja.  
Kod njih su odlučujuća tehnološka svojstva, postojanost na povišenim temperaturama, dimenzionalna postojanost i sl.

# METALI

## Klasifikacija (označavanje) čelika

Č XXXX XX

↑      ↑----- Dopunska oznaka,  
↑----- Osnovna oznaka.

- **Osnovna oznaka:** vrsta (i namena) čelika:
- **Prvi simbol:**
  - 0: čelik negarantovanog sastava,
  - 1: čelik garantovanog sastava,
  - 2 do 9: legirani čelik, garantovanog sastava (brojevi 2 do 9 su simboli najuticajnijeg legirajućeg elementa)
- **Drugi simbol,** kod čelika sa simbolom 0 na 1. mestu, odnosi se na zateznu čvrstoću, prema tabeli na sledećem slajdu!

# METALI

## Klasifikacija (označavanje) čelika

Grupa čelika	Ugljenični čelici sa utvrđenim mehaničkim osobinama	
simbol na prvom mestu	0	
simbol na drugom mestu	simbol	nazivna zatezna čvrstoća $N/mm^2$
	0	nije utvrđeno
	1	do 320
	2	od 330 do 350
	3	od 360 do 380
	4	od 390 do 480
	5	od 490 do 580
	6	od 590 do 680
	7	od 690 do 780
	8	od 790 do 880
	9	od 890 i više

# METALI

## Građevinski čelici

27.11.07. Dovde (113)

*U građevinarstvu se uglavnom primenjuju ugljenični čelici sa negarantovanim sastavom, ali sa garantovanim mehaničkim svojstvima*

*Legirani čelici primenjuju se izuzetno retko*

- *Čelici za noseće konstrukcije* (razni valjani profili i različite šipke – videti skice i 2 fotografije)
- *Niskougljenični čelici za limove* (tanki limovi – do 3 mm, srednji limovi – do 4,75 mm i grubi limovi – preko 4,75 mm)
- *Pocinkovani čelični limovi* (0,45 – 4 mm)
- *Brazdasti i bradavičasti limovi* (za gazišta na metalnim stepeništima – videti skice napred)

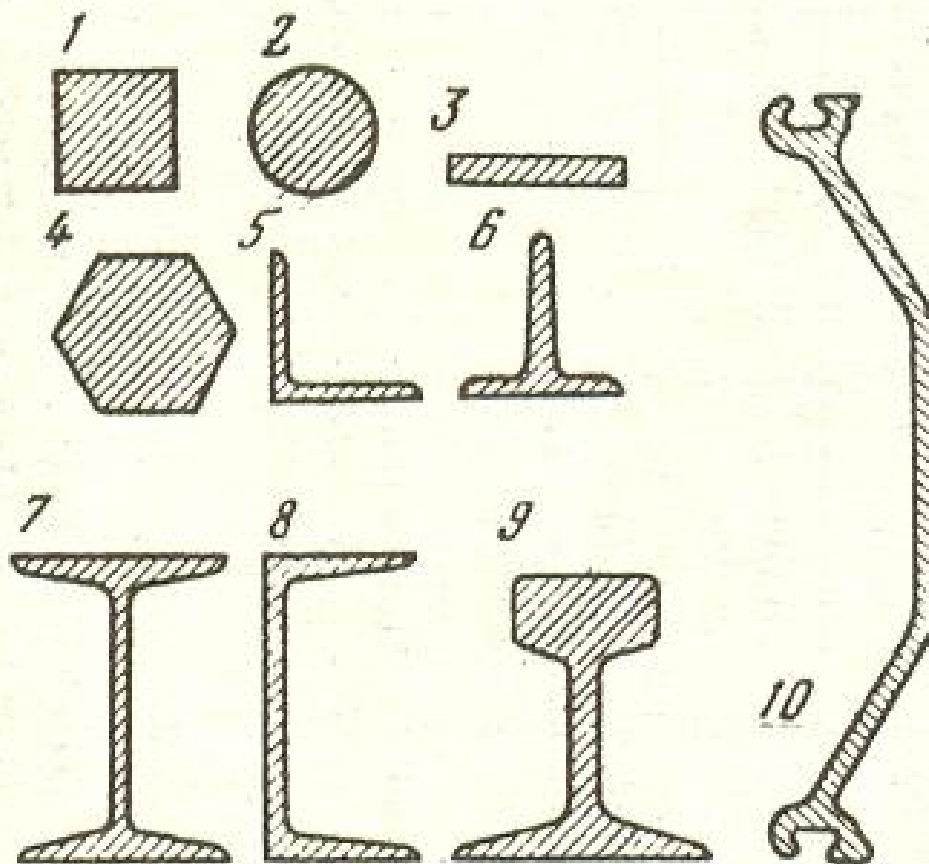
# ***METALI***

## ***Građevinski čelici***

- ***Talasasti i koritasti limovi*** (videti skice napred)
- ***Koritaste i udubljene ploče*** (videti skice napred)
- ***Hladno presovani tankozidni profili*** (otvoreni i zatvoreni)
- ***Čelična žica*** (do  $\phi 14$  mm – dobija se: ili samo valjanjem, ili valjanjem + izvlačenjem)
- ***Vučena žica za posebne namene*** (do  $\phi 14$  mm)
- ***Čelična užad*** (spiralna, prosto usukana i zatvorena užad)
- ***Čelici za vijke, navrtke i zakivke***
- ***Betonski čelik*** (glatki, rebrasti, zavarene mreže, Bi-čelik)
- ***Čelici za prednapregnuti beton*** (žice, šipke i užad)  
(za čel. užad, bet. čelik i čelike za prednaprezanje-v.skice napred)

# ***METALI***

## *Građevinski čelici*



*Valjani profili  
i šipke*

*Sl. 7.28. Geometrijski oblici  
valjanih čeličnih proizvoda.*

# *METALI*

## *Građevinski čelici*



*Valjani  
“I” - profili*



# *METALI*

## *Građevinski čelici*



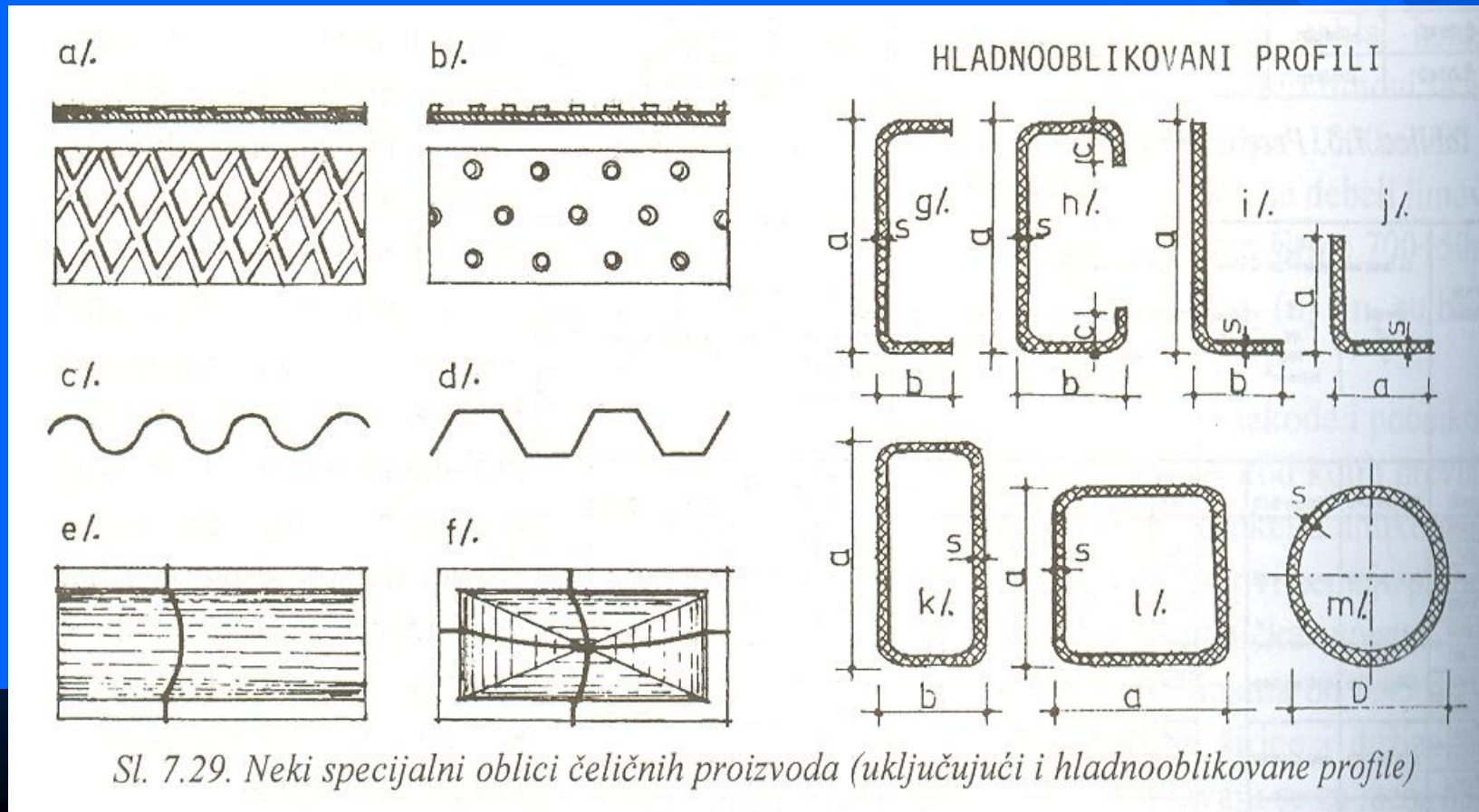
*Valjani  
“L” profili*



# METALI

## Građevinski čelici

a) Brazdasti lim b) Bradavičasti lim c) Talasasti lim d) Koritasti lim  
e) Koritaste ploče f) Udubljene ploče; Desno: Hladno presovani tankozidni nosači (otv. i zatv.)



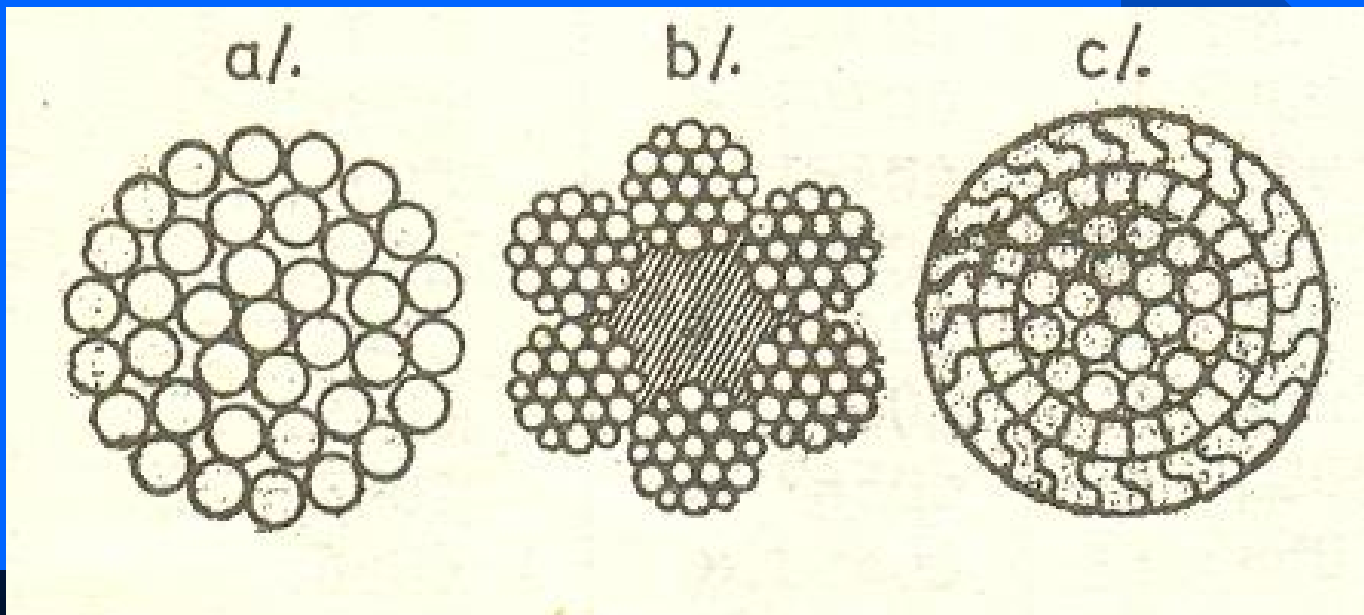
Sl. 7.29. Neki specijalni oblici čeličnih proizvoda (uključujući i hladnooblikovane profile)

# METALI

## Građevinski čelici

a) *Spiralna užad* (sa 7, 19 ili 37 žica) b) *Užad sa prosto usukanim strukovima* c) *Zatvorena užad*

- *Pojedina užad imaju jezgra u formi vlaknastog uložka: ovaj uložak je ili od biljnih (kudelja) ili od sintetičkih vlakana. Uložci, natopljeni nekim neutralnim sredstvom (radi podmazivanja), povećavaju savitljivost užeta.*
- *Nosivost užadi manja je od zbirne nosivosti pojedinih žica!*



*Užad*

Sl. 7.30. Neki tipovi čeličnih užadi

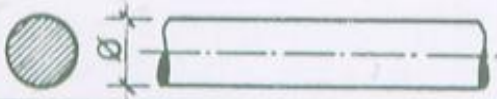

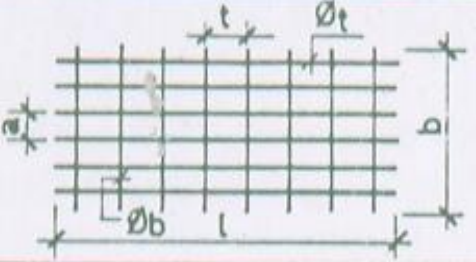
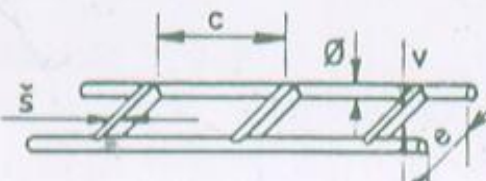
# METALI

## Građevinski čelici

Betonski čelik

26.11.07. Dovde (225)

(Jedna greška u tabeli, pod 3: Umesto: MAR 500/560, treba: MAR 400/500!)

NAZIV ARMATURE	O B L I K	OZNAKA VRSTE ČELIKA	OZNAKA ARMATU- RE I MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA
1. GLATKA ARMATURA OD MEKOG BETONSKOG ČELIKA		Č 0200 Č 0300	GA 220/340 GA 240/360
2. REBRATA ARMATURA OD VISOKOVREDNOG PRIRODNO TVRDOG ČELIKA		Č 0550 Č 0551	RA 400/500-1 RA 400/500-2
3. MREŽASTA ARMATURA- ZAVARENE ARMATURNE MREŽE OD HLADNOVUČE- NE GLATKE ILI OREB- RENE ŽICE			MAG 500/560 MAR 500/560
4. Bi-ARMATURA- ARMATURA SPECIJAL- NOG OBLIKA OD HLA- DNOVUČENE ŽICE			BiA 680/800

←  $\phi 5 - \phi 12mm$

←  $\phi 5 - \phi 36 mm$

←  $\phi 6 - \phi 14 mm$

←  $\phi 6 - \phi 40 mm$

**Najčešće:**

←  $\phi 6 - \phi 14 mm$

(za oba čelika)

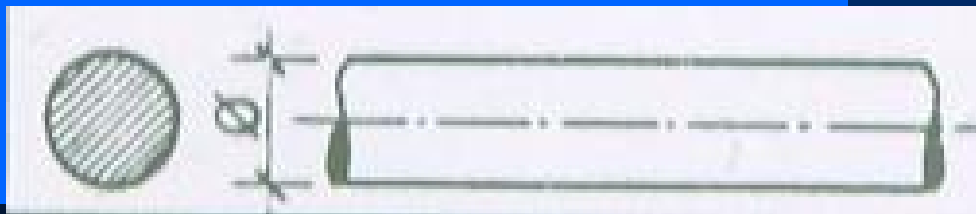
# *METALI*

## *Građevinski čelici – Betonski čelik*

### *GLATKA ARMATURA*

*GA 220/340 (Č.0200) i GA 240/360 (Č.0300)*

- Prečnici:* GA 220/340:  $\phi 5$ ,  $\phi 6$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 10$ ,  $\phi 12$   
GA 240/360:  $\phi 5$ ,  $\phi 6$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 10$ ,  $\phi 12$ ,  $\phi 14$ ,  $\phi 16$ ,  $\phi 18$ ,  $\phi 20$ ,  $\phi 22$ ,  
 $\phi 25$ ,  $\phi 28$ ,  $\phi 32$  i  $\phi 36$
- Isporuka:* GA 220/340 – Koturovi (svi prečnici)  
GA 240/360 – Koturovi: (do  $\phi 22$ ), Petlje (do  $\phi 28$ ),  
Prave šipke: 12-20 m (preko  $\phi 28$ )



# ***METALI***

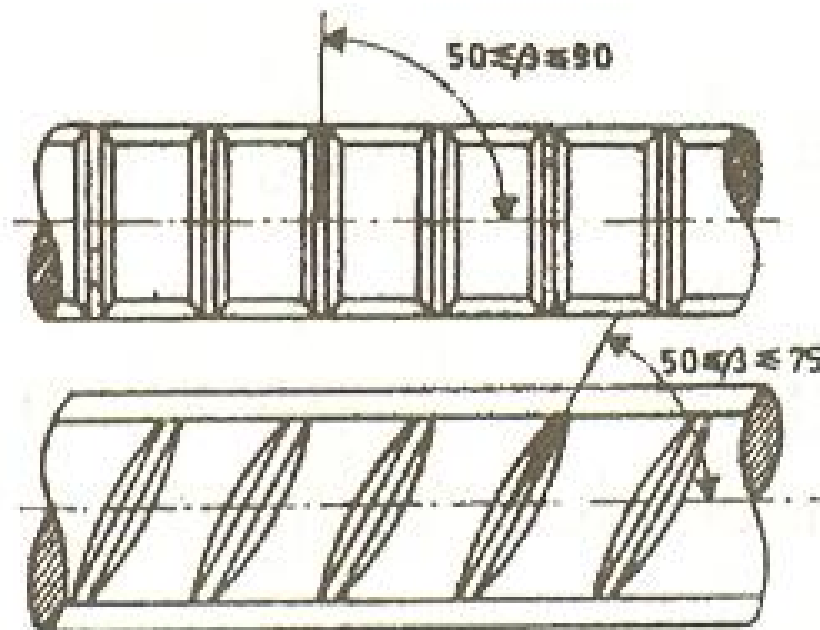
## *Građevinski čelici – Betonski čelik*

### *REBRASTA ARMATURA*

*RA 400/500 – 1: Samo za statička opterećenja;  $\phi 6$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 10$  i  $\phi 14$  mm*

*RA 400/500 – 2: Za statička i dinamička opterećenja;  $\phi 6$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 10$ ,  $\phi 12$ ,  $\phi 14$ ,  $\phi 16$ ,  $\phi 19$ ,  $\phi 22$ ,  $\phi 25$ ,  $\phi 28$ ,  $\phi 32$ ,  $\phi 36$  i  $\phi 40$  mm*

*Isporuka RA: Koturovi (do  $\phi 14$ ), Petlje (do  $\phi 22$ ), Prave šipke 12-20 m ( $> \phi 22$ )*



RA 400/500-1

RA 400/500-2



# METALI

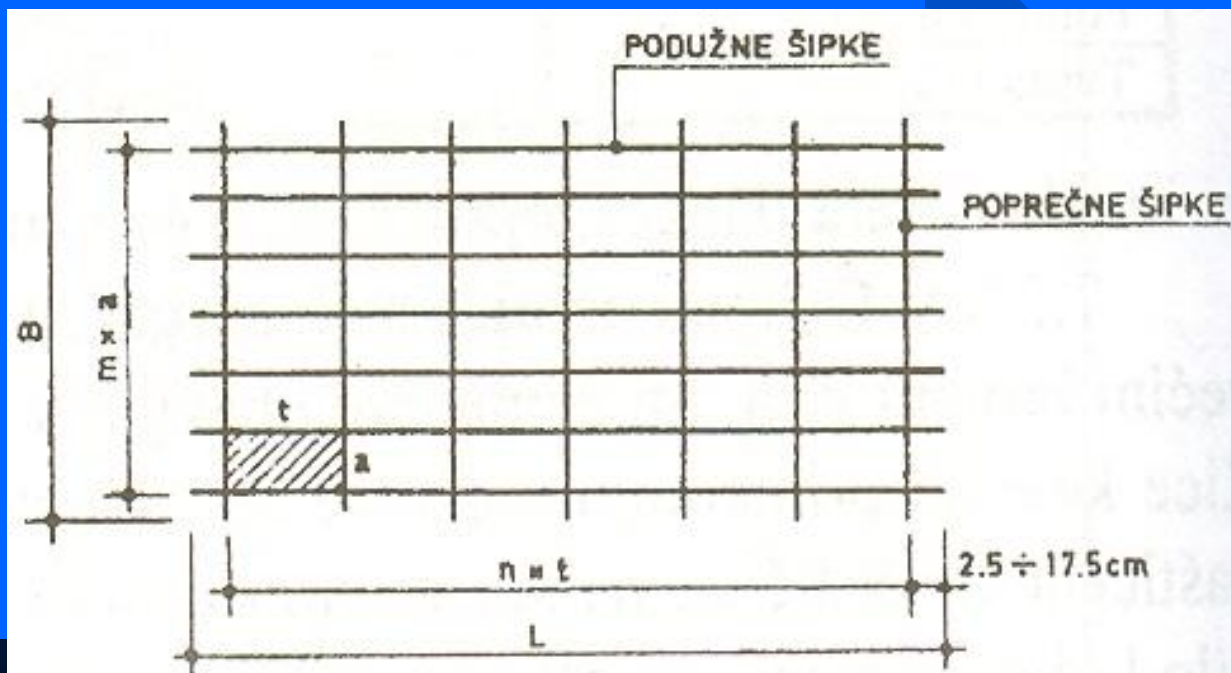
## Gradjevinski čelici – Betonski čelik

### MREŽASTA ARMATURA – MAG 500/560, MAR 400/500

**Prečnici šipki:** Najčešće:  $\phi 6$ - $\phi 14$  mm

**Isporuka:**  $L=5,00$  m,  $B=2,70$  m

**Oznake:** Pravougaona okca: **R XXX** ili **Rx XXX** (za zidove),  
Kvadratna okca: **Q XXX**



Sl. 7.32. Mrežasta armatura

# METALI

## *Građevinski čelici – Čelici za prednapregnuti beton*

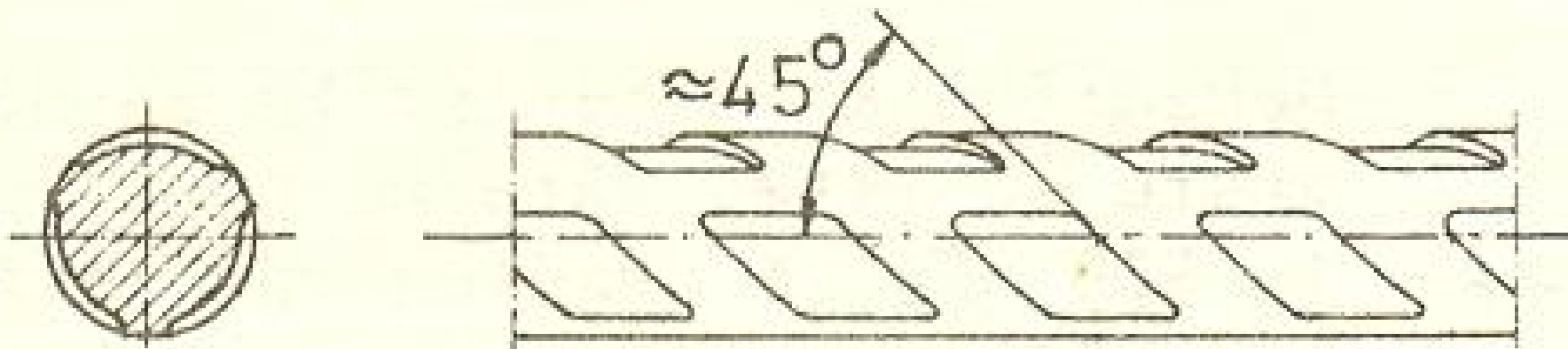
- Žice (glatke i profilisane): Dobijaju se od vruće valjanog ugljeničnog čelika, postupkom *patentiranja, hladnog izvlačenja i opuštanja*, a često se podvrgavaju i postupku *stabilizacije*, koja podrazumeva: Istezanje prethodno zagrejane žice ( $150-400^{\circ}\text{C}$ ) za oko 1% dužine. Dobija se *žica sa vrlo niskom relaksacijom*  $f_z=1450-2000 \text{ MPa}$ ,  $\phi$ : 2,5; 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12mm.
- Šipke (glatke i rebraste): Dobijaju se od od ugljeničnog ili legiranog čelika, uz moguću primenu dopunskih postupaka: *hladnog izvlačenja, opuštanja, poboljšanja i dr.* Bez ovih postupaka:  $f_z \leq 900 \text{ MPa}$ , a sa njima:  $f_z=1400-1600 \text{ MPa}$ .  $\phi$ : 14, 16, 20, 25, 32, 36, 40 mm
- Užad (2, 3 ili 7 žica  $\phi 2 - \phi 4 \text{ mm}$ ): Najčešće se koristi *patentirana, hladno vučena žica*, a nakon formiranja, užad se podvrgava postupku *opuštanja*, sa ili bez *stabilizacije* (za *nisku* ili *normalnu relaksaciju*)

*Užad od 7 žica -  $\phi$ : 6,4; 7,9; 9,3; 11,0; 12,5 i 15,2 mm*

# METALI

## Građevinski čelici – Čelici za prednapregnuti beton

**ŽICE:** Prečnici žica  $\phi$ : 2,5; 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12 mm  
(za glatke i profilisane žice)



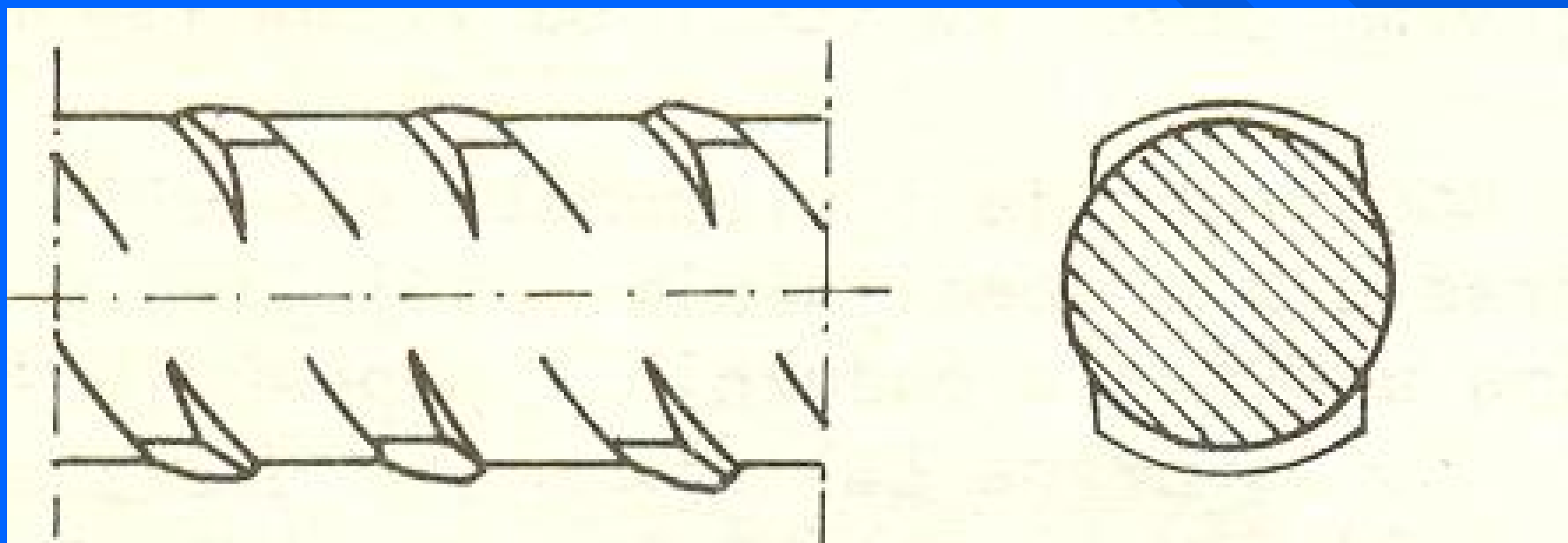
Sl. 7.34. Profilisana žica za prednapregnuti beton



# METALI

## *Građevinski čelici – Čelici za prednapregnuti beton*

**ŠIPKE:** Prečnici šipki  $\phi$ : 14, 16, 20, 25, 32, 36, 40 mm  
(važi i za glatke i za rebraste šipke)



*Sl. 7.35. Rebrasta šipka za prednapregnuti beton*

# *METALI*

*Građevinski čelici – Čelici za prednapregnuti beton*

*UŽAD (2, 3 ili 7 žica –  $\phi$  2- $\phi$  4 mm)*

*Prečnici užadi od 7 žica -  $\phi$ : 6,4; 7,9; 9,3; 11,0; 12,5 i 15,2 mm*

*U novije vreme, neki od kablova isporučuju se sa plastičnim omotačem*



# *METALI*

## *Svojstva čelika: Fizička svojstva*

*Zapreminska i specifična masa,  
koeficijent toplotne provodljivosti i  
termički koeficijent linearnog širenja*

- $\gamma = \gamma_s = 7850 \text{ kg/m}^3$ ,
- $\lambda = 58 \text{ W/m}^0\text{C}$ ,
- $\alpha_t = (1,0-1,3) \cdot 10^{-5} (1/^0\text{C})$

# *METALI*

## *Svojstva čelika: Mehanička svojstva*

- *Ispitivanje zatezanjem:  $f_z(\sigma_m)$ ,  $\sigma_v$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $\sigma$ - $\varepsilon$  dijagram,  $E$*
- *Tvrdoća*
- *Ostala statička ispitivanja*
- *Udar na žilavost*
- *Dinamička čvrstoća (visokociklični zamor)*
- *Uticaj ugljenika na mehanička svojstva*
- *Mehanička svojstva na povišenim temperaturama*

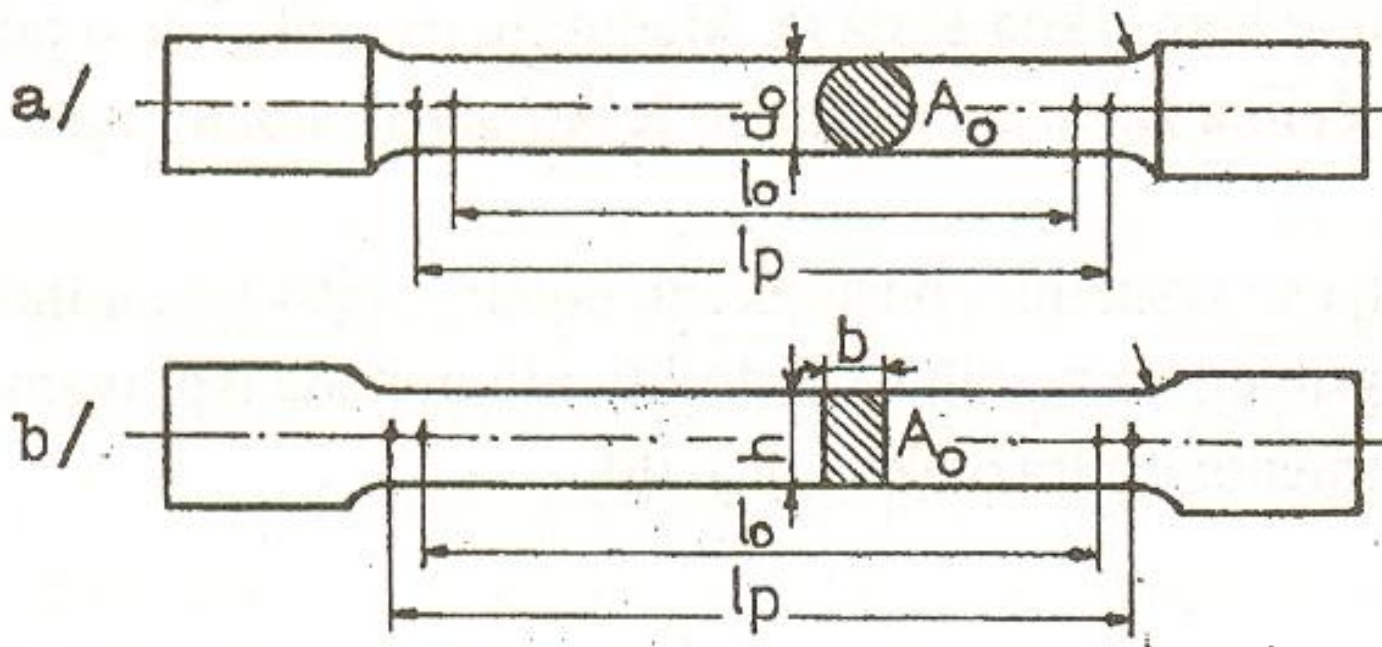
# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

Proporcionalne epruvete (obične):  $l_0 = 5,65 \cdot \sqrt{A_0} \geq 25 \text{ mm}$

Proporcionalne duge epruvete:

$$l_0 = 11,3 \cdot \sqrt{A_0}$$



Sl. 7.39. Uzorci za ispitivanje mehaničkih svojstava čelika

Za kružni  
poprečni presek:

$$A_0 = d_0^2 \pi / 4:$$

$$l_0 = 5 d_0$$

(proporcionalna)

ili:

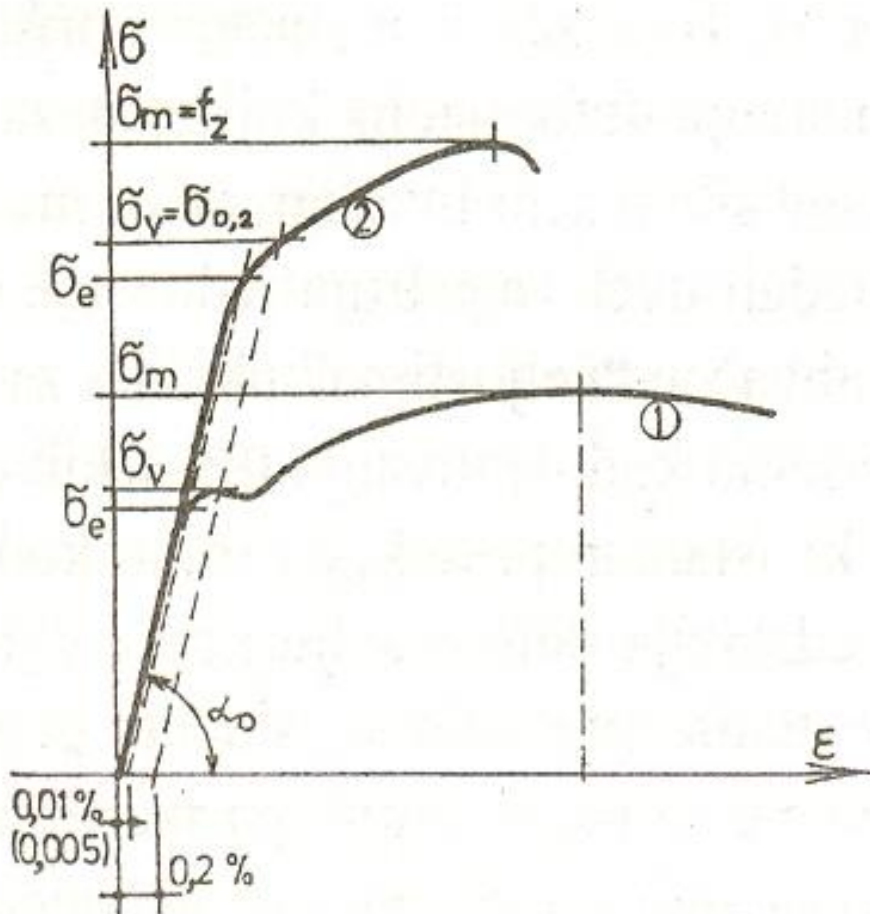
$$l_0 = 10 d_0$$

(proporcion. duga)  
epruveta

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

### Ispitivanje zatezanjem



Sl. 7.42. Tipični  $\sigma - \varepsilon$  dijagrami za čelik

$$\sigma_e \rightarrow \sigma_{0.01} \text{ ili } \sigma_{0.005}$$

$$\sigma_v \rightarrow \sigma_{0.2} (\sigma_v, \sigma_{vi})$$

$$f_{z,kar} = \bar{f}_z - 1,645 \cdot S_n$$

$$\sigma_{vi,kar} = \bar{\sigma}_{vi} - 1,645 \cdot S_n$$

(za fraktil od 5%)

$$E = \operatorname{tg} \alpha_0$$

$$E = 190 - 210 \text{ GPa}$$

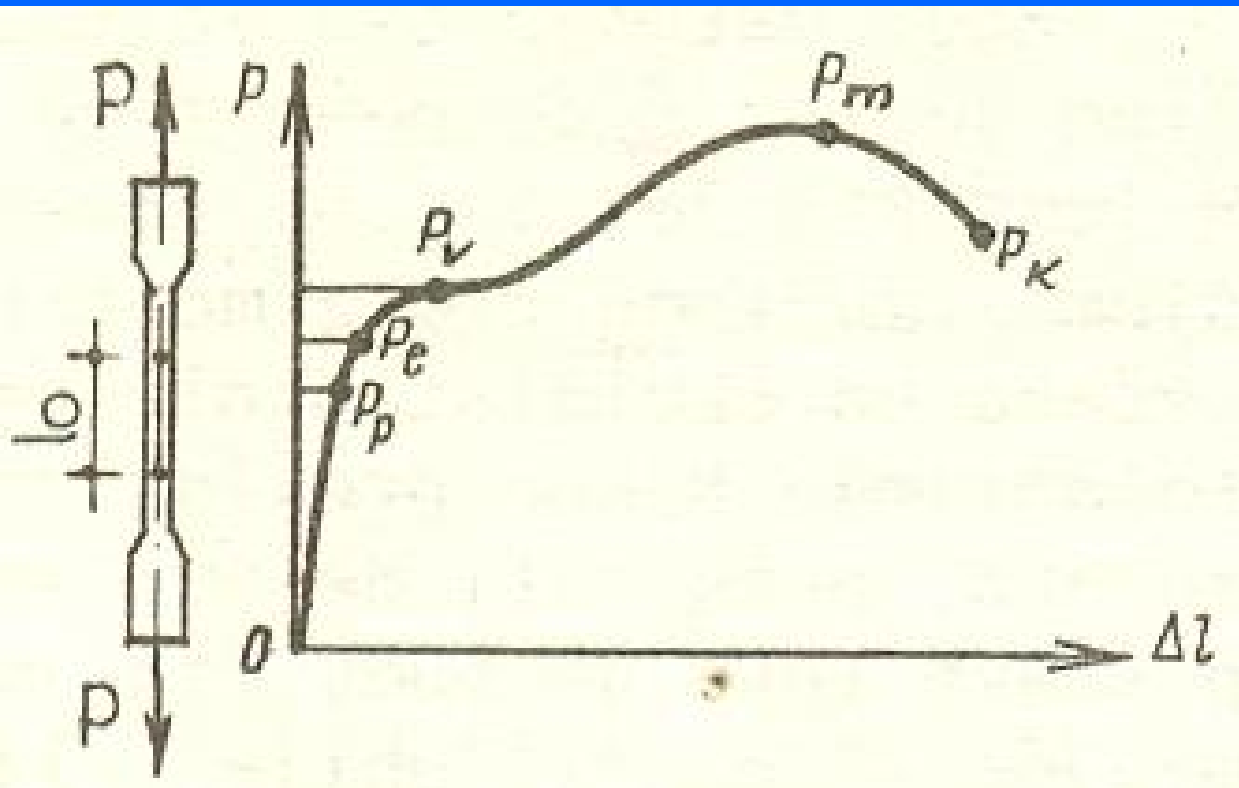
Za patentiranu žicu:

$$E = 190 - 200 \text{ GPa}$$

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

### Ispitivanje zatezanjem



Kako je:

$$\sigma = P/A_0 \text{ i}$$

$$\varepsilon = \Delta l/l_0$$

to sledi da su:

dijagram  $\sigma - \varepsilon$  i

dijagram  $P - \Delta l$

afini, tj. da im

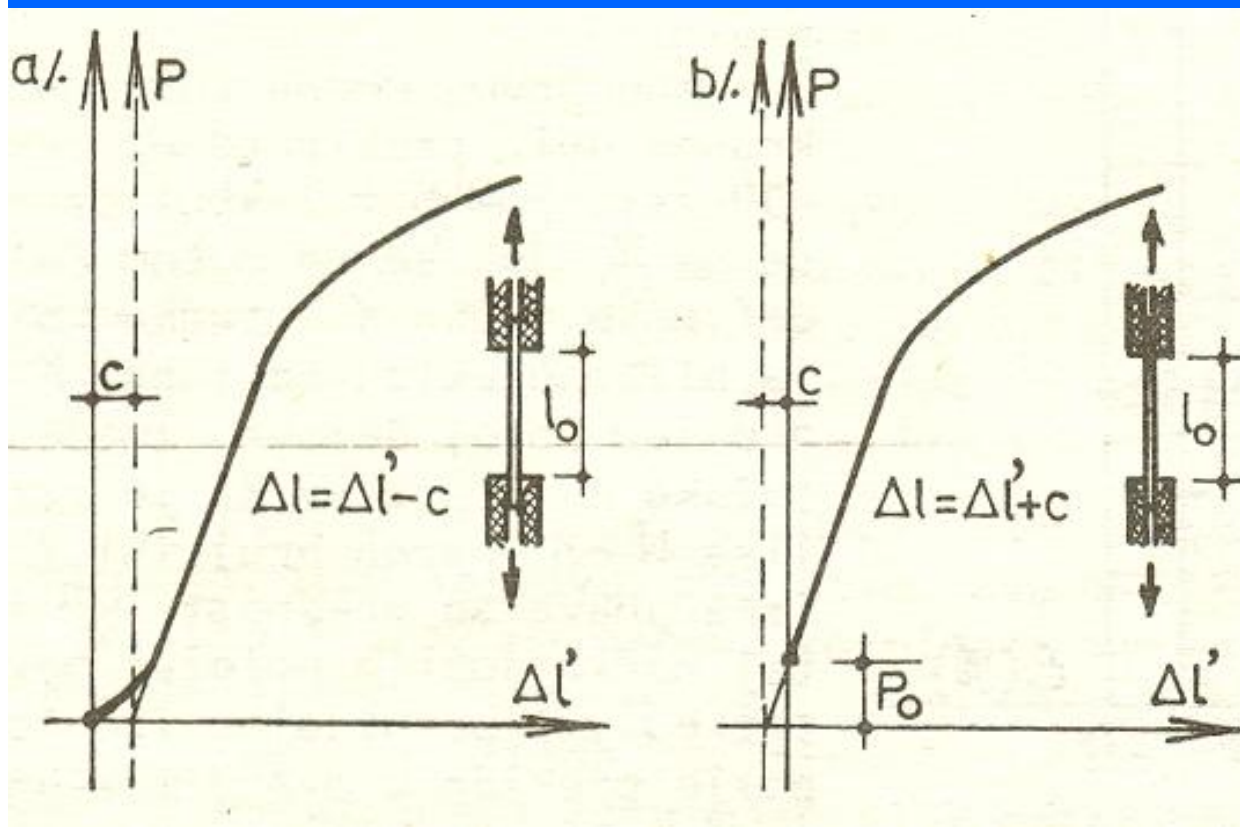
je oblik identičan

Zavisnost  $P - \Delta l$  i zavisnost  $\sigma - \varepsilon$

# ***METALI***

## ***Svojstva čelika: Mehanička svojstva***

### ***Ispitivanje zatezanjem***



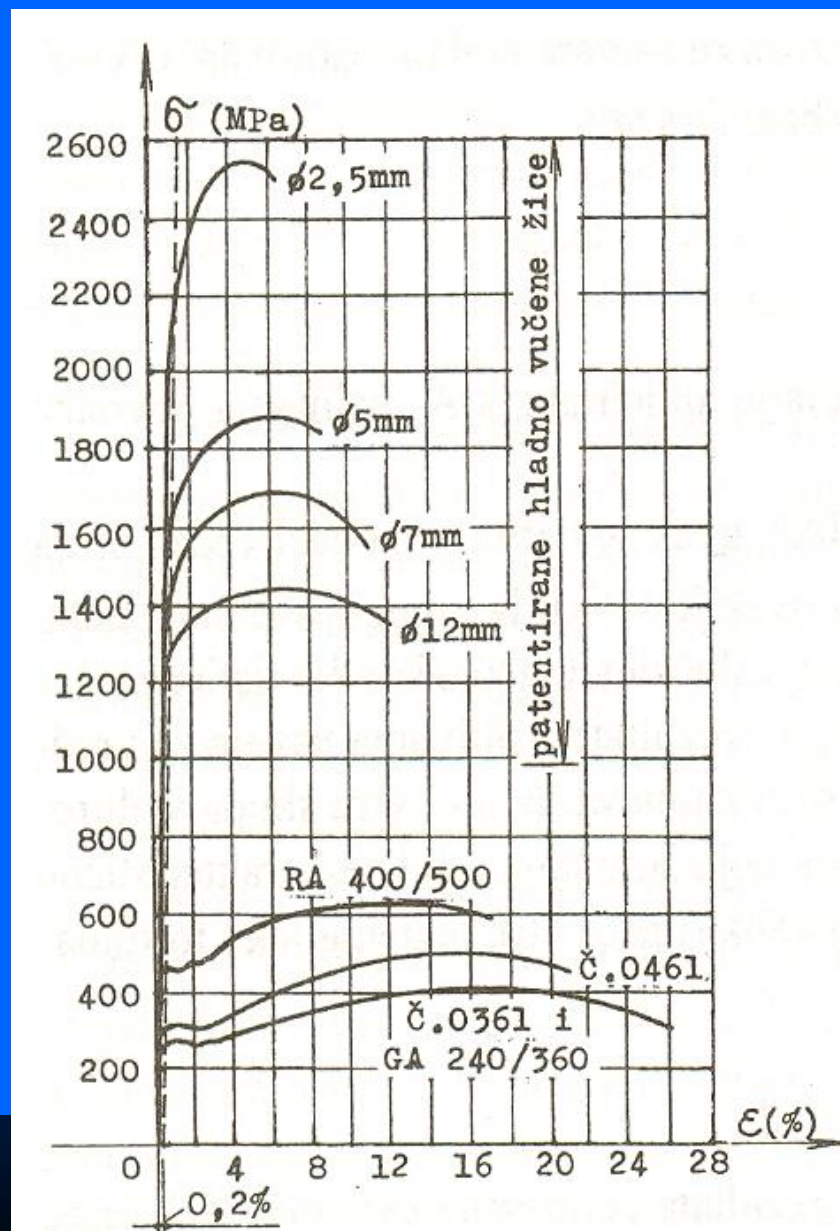
*Dijagram  $P - \Delta l$  moguće je konstruisati i bez merenja izduženja  $\Delta l$  putem instrumenta:*

*Merenjem međusobnog razmicanja čeljusti kidalice u f-ji sile  $P$  - sl. a), a potom pomeranjem ose  $P$  koordinatnog sistema ulevo - sl.b)*

***Mogućnost dobijanja dijagrama  $P - \Delta l$***



# METALI - *Svojstva čelika: Mehanička svojstva*



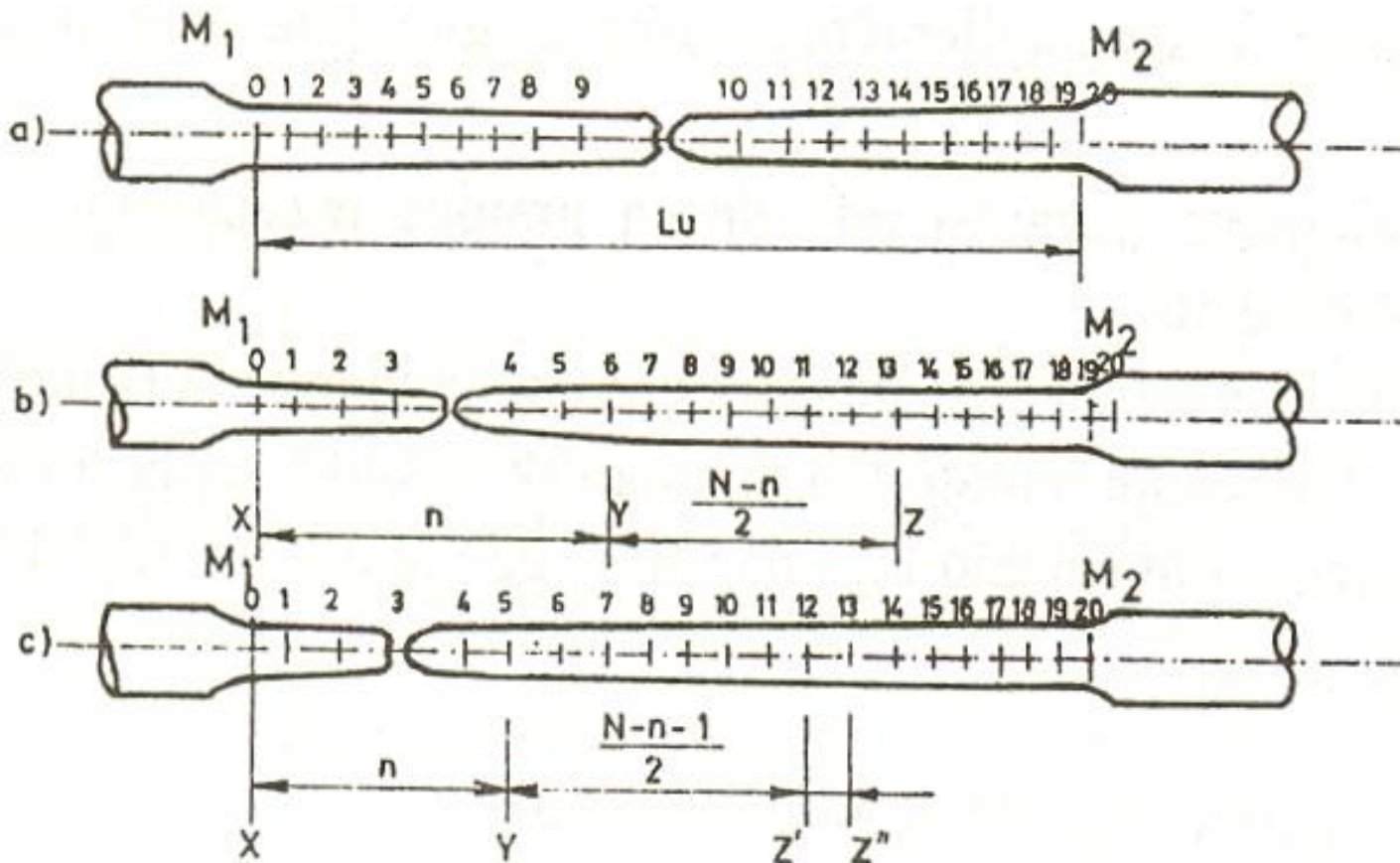
*Ispitivanje zatezanjem*

*$\sigma - \epsilon$  dijagrami  
za neke vrste  
građevinskih čelika*

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

### Ispitivanje zatezanjem – Izduženje posle prekida



$$\delta = \frac{L_u - l_0}{l_0} \cdot 100 (\%)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A} \cdot 100 (\%)$$

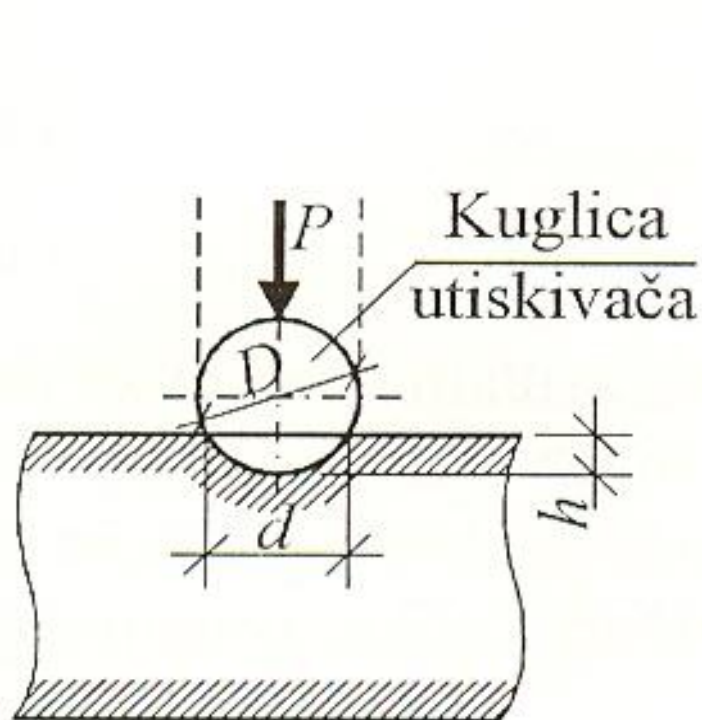
- a)  $L_u = M_1 M_2$
- b)  $L_u = XY + 2YZ$
- c)  $L_u = XY + YZ' + YZ''$

Elementi za definisanje dužine  $L_u$  posle prekida

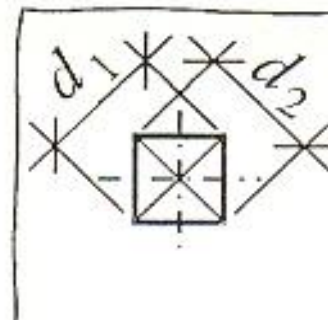
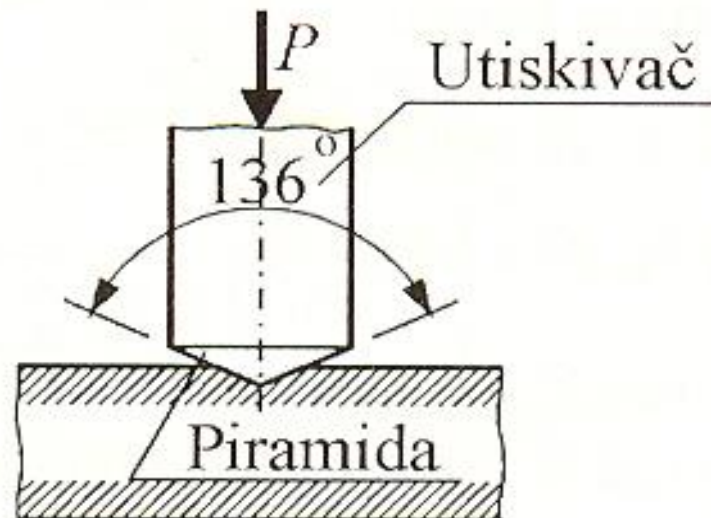
# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

### Ispitivanje tvrdoće



a)



$P_1$

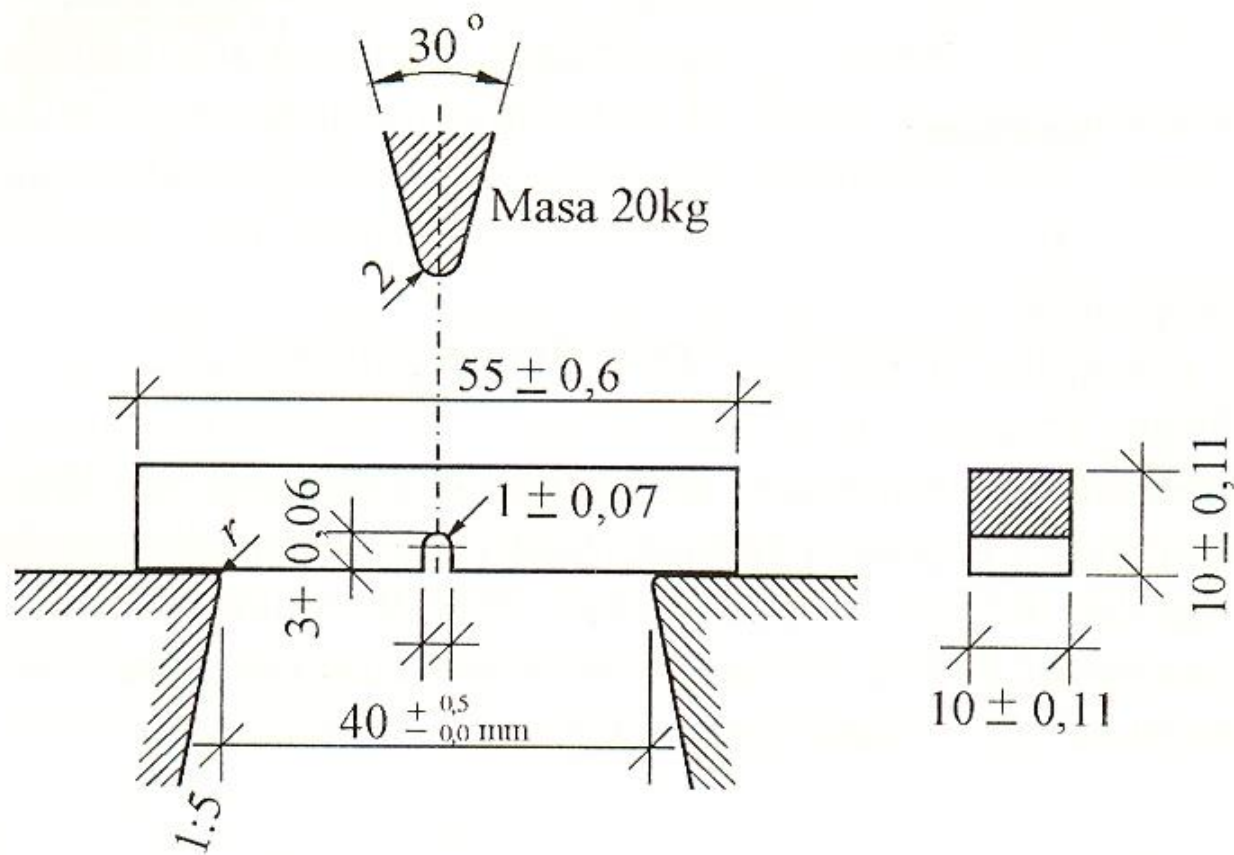
Brinelova metoda (var. Poldijev čekić)

Vickersova metoda

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

### Udarne žilavost ili “zarezna udarna žilavost”

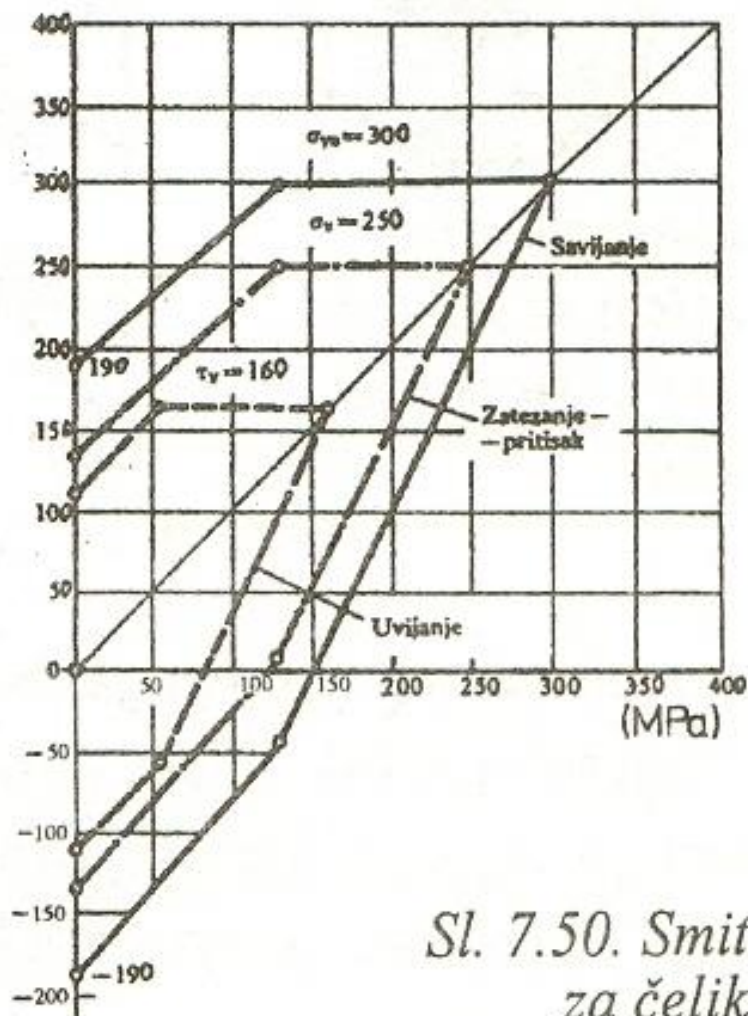


Slika 1.96 - Šarpijev test za ispitivanje udarne žilavosti

$$\rho = \frac{A}{F_0} \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva



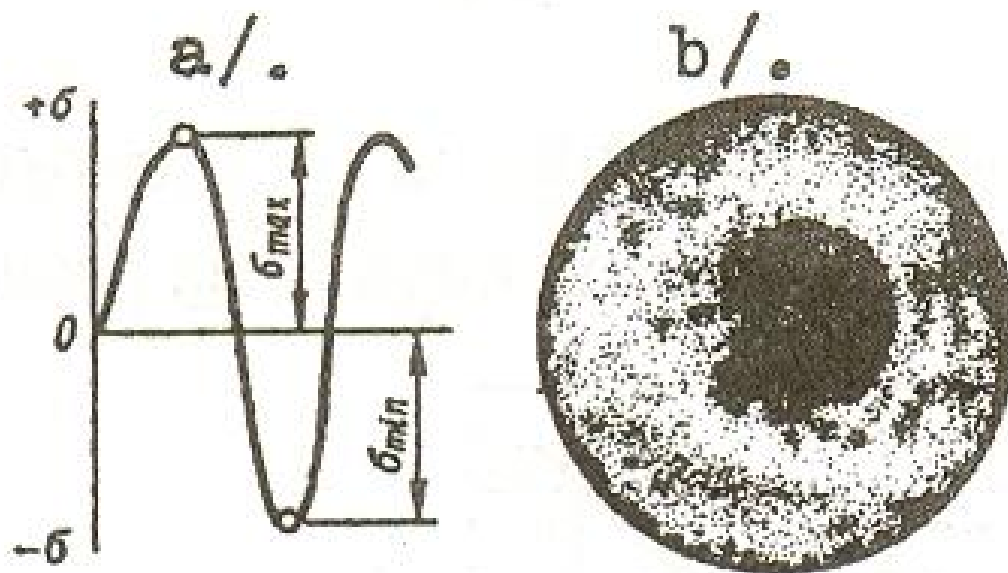
Sl. 7.50. Smitovi dijagrami  
za čelik Č 0460

*Dinamička čvrstoća*  
- Visokociklični zamor -



# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

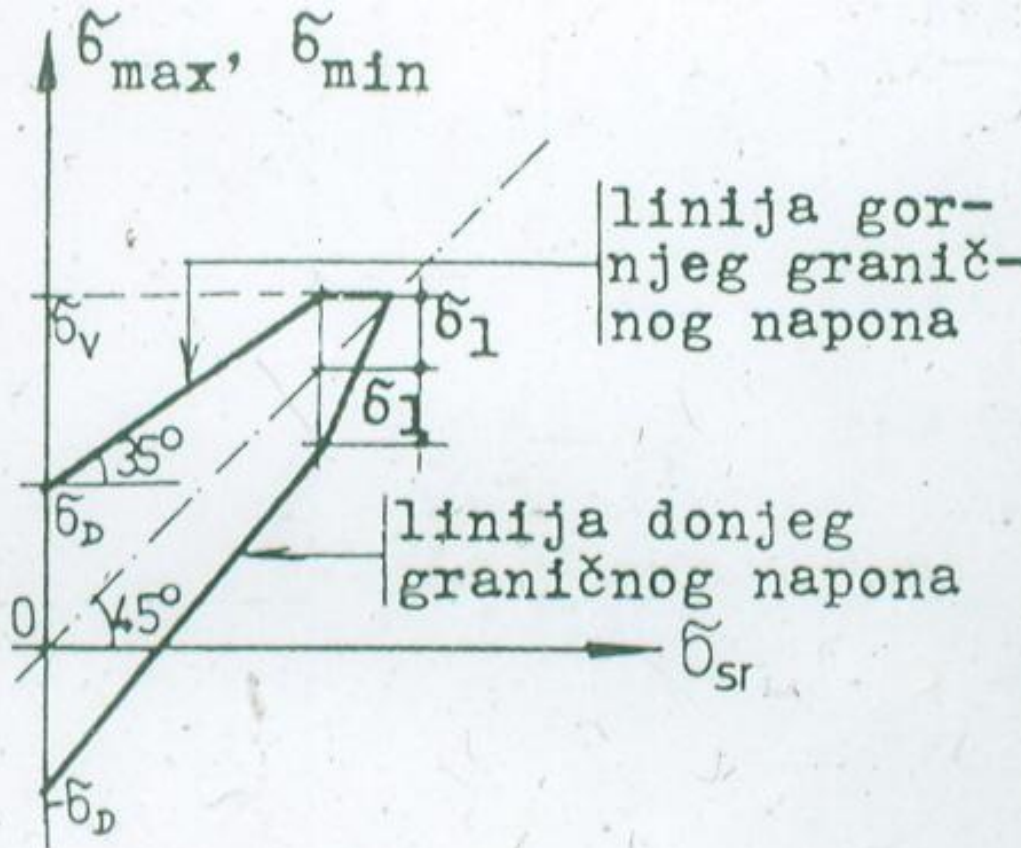


Sl. 7.51. Režim ispitivanja i karakterističan lom uzoraka pri ispitivanju na visokociklični zamor

*Dinamička čvrstoća*  
- Visokociklični zamor -

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva



Sl. 7.52. Uprošćen Smitov dijagram za čelik

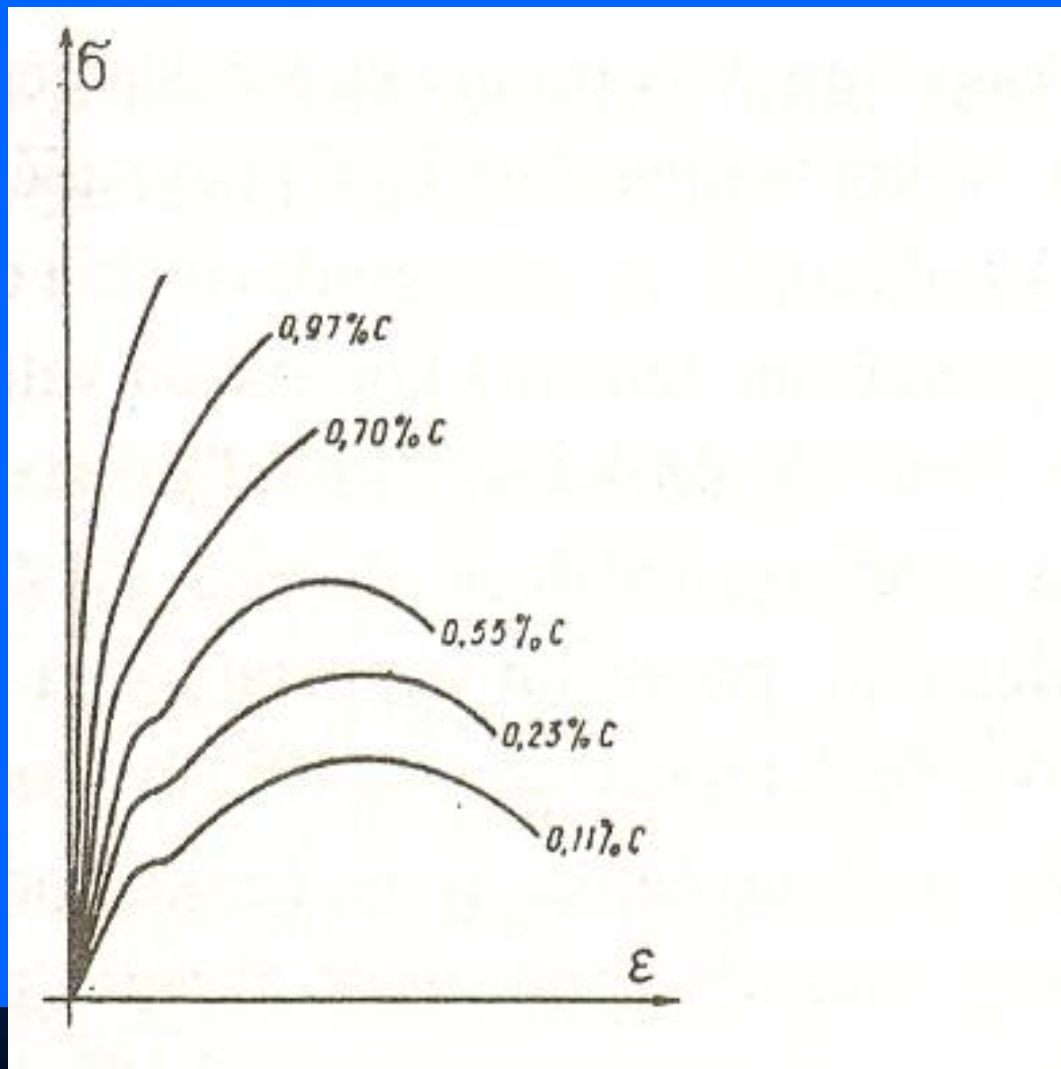
*Dinamička čvrstoća*

- Visokociklični zamor –

-Uprošćen Smitov dijagram

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva



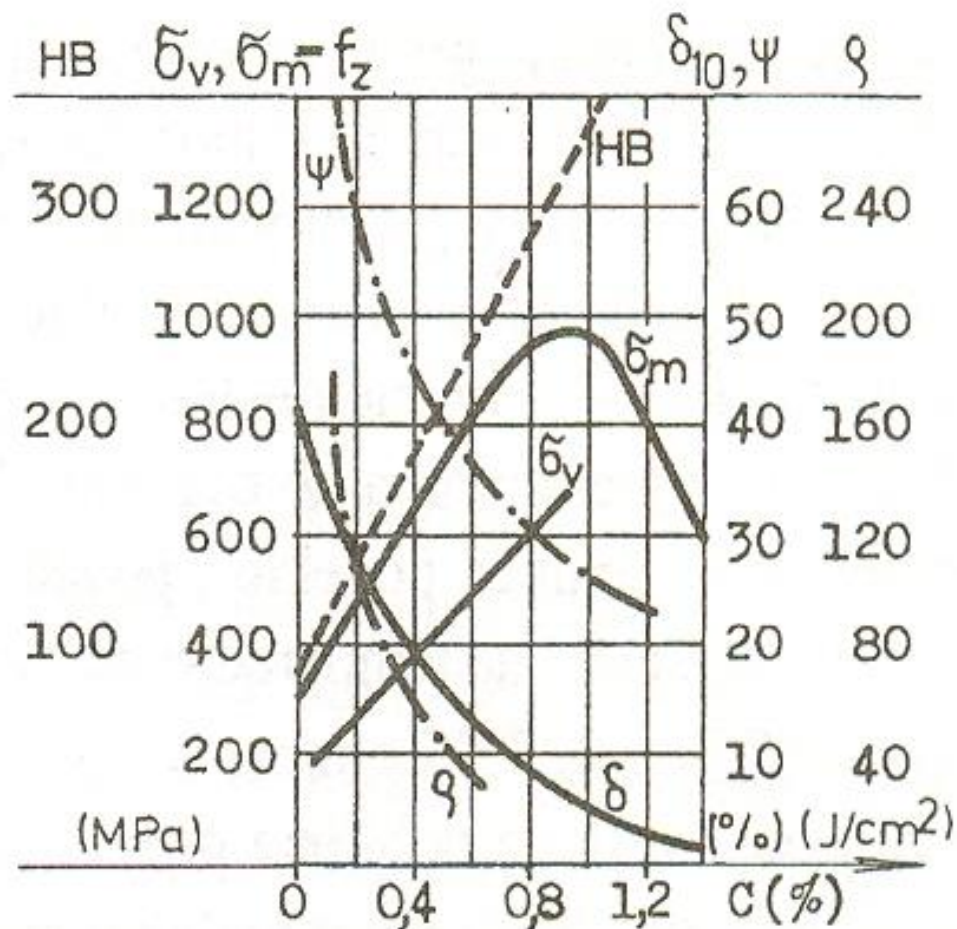
*Uticaj sadržaja ugljenika C  
na  $\sigma$  -  $\epsilon$  dijagram*

*$E=190000-210000$  MPa  
za patentiranu uicu:  
 $E=190000-200000$  MPa*



# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva



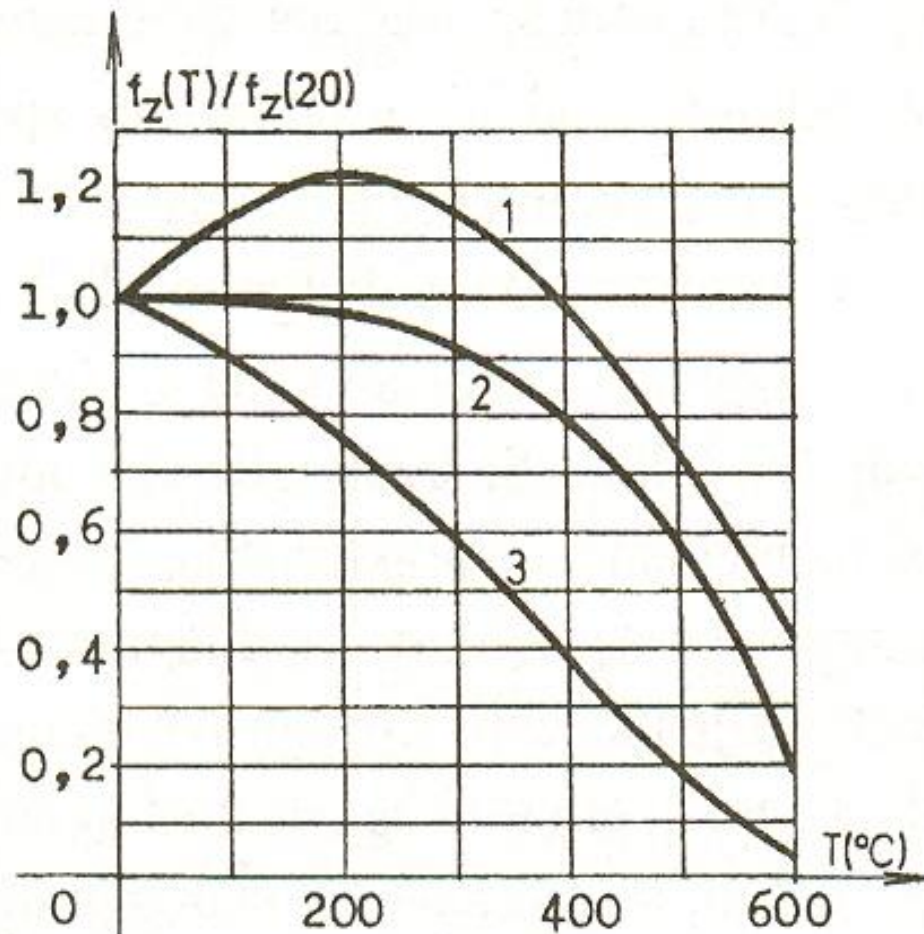
Sl. 7.54. Zavisnost nekih mehaničkih svojstva čelika od sadržaja ugljenika

*Uticaj sadržaja C  
na fizičko-mehanička  
svojstva*

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

*Uticaj povišenih temperatura na čvrstoću čelika (u f-ji obrade)*



Sl. 7.55. Zavisnost čvrstoće čelika od temperature

*I zatezna čvrstoća i granica razvlačenja čelika, po pravilu, opadaju sa porastom temperature (v. sliku levo)*

*Čelik (1) – koji nakon valjanja na toplo nije naknadno obrađivan, ako se posle zagrevanja do 600°C ohladi do 20°C, imaće istu čvrstoću kao i pre zagrevanja!*

# METALI

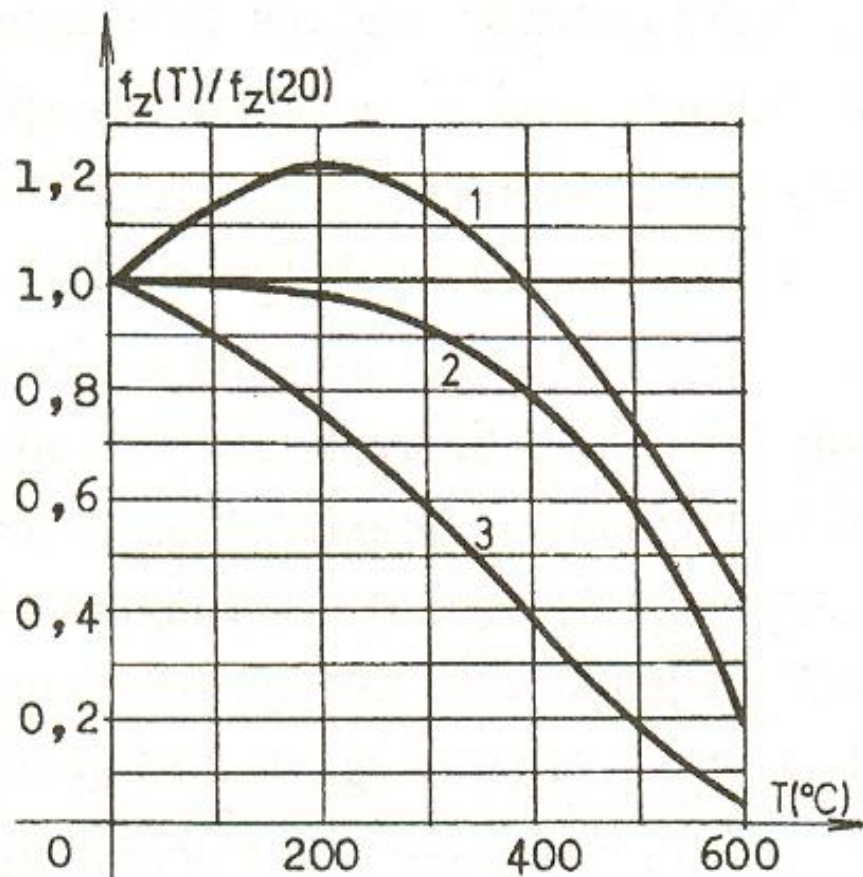
## Svojstva čelika: Mehanička svojstva

*Uticaj povišenih temperatura na čvrstoću čelika (u f-ji obrade)*

*U istom takvom slučaju:*

*Čvrstoća čelika (2), koji je naknadno obrađen na toplo, biće za 20-30% niža, a čvrstoća čelika (3), koji je naknadno obrađivan na hladno, biće za preko 50% niža, nego pre zagrevanja!*

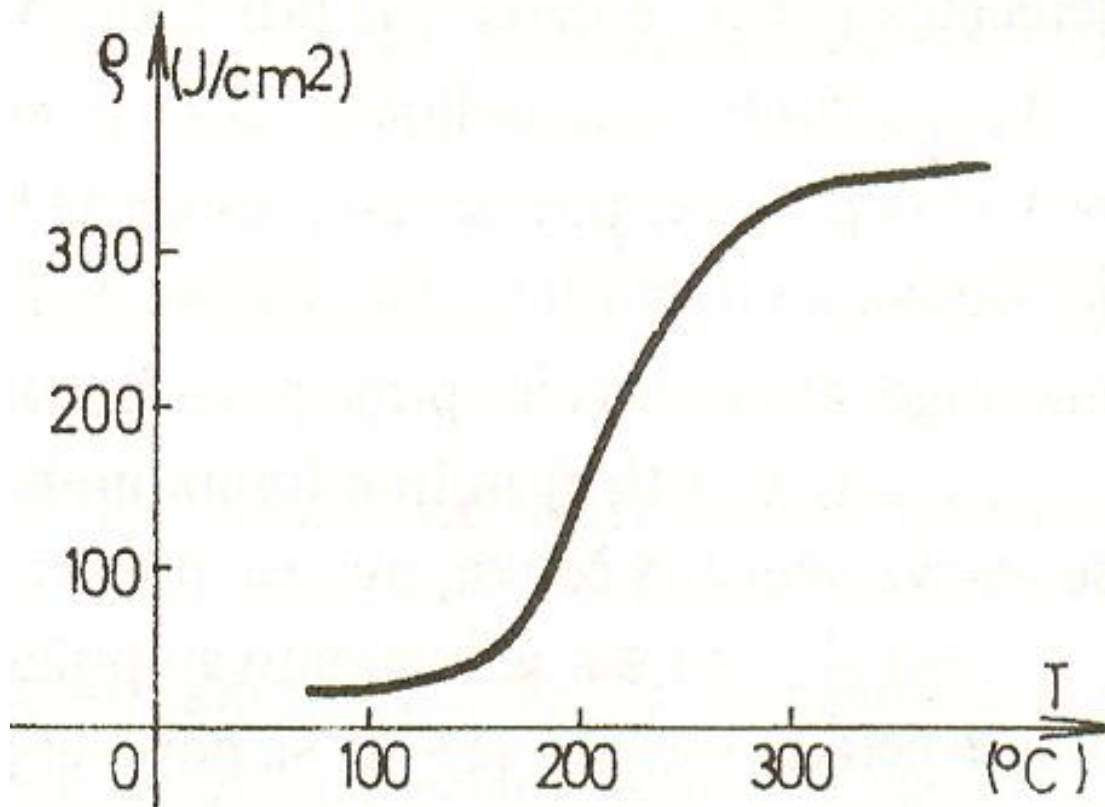
*Razlog: Posle zagrevanja, čelici (2) i (3) nikada ne mogu da povrate strukturu koju su imali pre zagrevanja, dobijenu naknadnom obradom čelika na toplo, odnosno na hladno!!*



Sl. 7.55. Zavisnost čvrstoće čelika od temperature

# METALI

## Svojstva čelika: Mehanička svojstva



Sl. 7.56. Zavisnost udarne žilavosti čelika od temperature

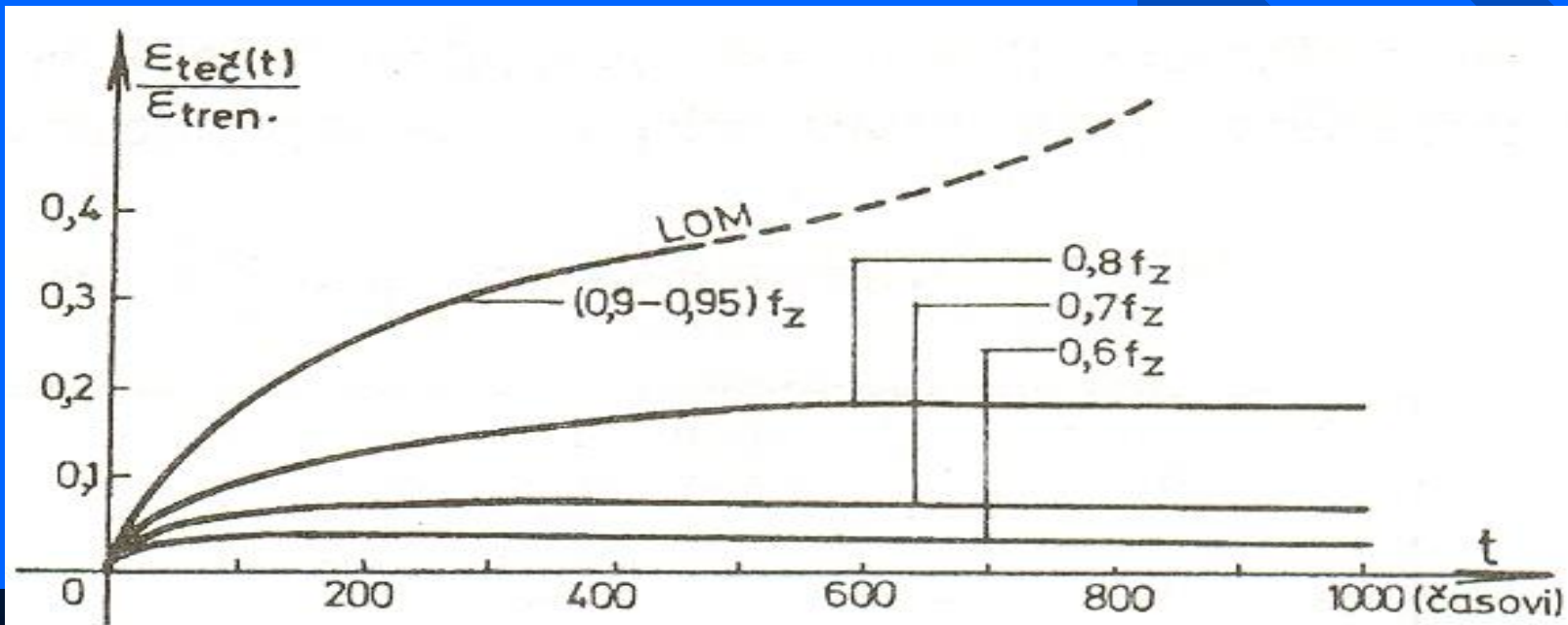
*Na povišenim temperaturama, u opštem slučaju, menjaju se i modul elastičnosti  $E$  (opada), izduženje pri kidanju  $\delta$  (raste), kontrakcija poprečnog preseka  $\Psi$  (raste) i udarna žilavost  $\rho$  (raste – videti priloženi dijagram)*



# METALI

## Svojstva čelika: Reološka svojstva

- Zbog sastava i strukturnih svojstava, kao i zbog visokog nivoa iskorišćenja napona ( $0,6 f_z - 0,7 f_z$ ), kod čelika za prednaprezanje u odnosu na ostale vrste čelika ( $0,4 f_z - 0,5 f_z$ ), pojave tečenja i relaksacije imaju praktični značaj samo kod ove vrste čelika!
- Tečenje: 5-10% ( $\varphi_t = 0,05 - 0,1$ ), stabilizuje se već posle 1000 h ( $\approx 33$  dana),



Sl. 7.57. Krive tečenja za patentiranu čeličnu žicu

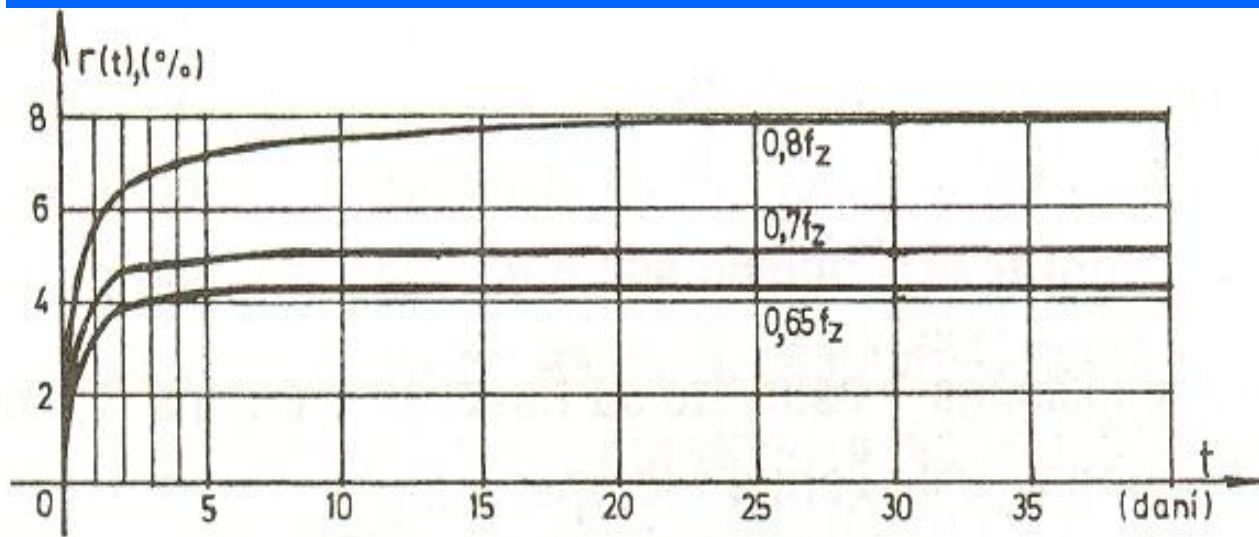
# METALI

## Svojstva čelika: Reološka svojstva

### Relaksacija:

Krive *relaksacije* za patentiranu, hladno vučenu žicu, u funkciji nivoa opterećenja, tj. nivoa napona (sl. levo)

*Vrednosti relaksacije pri  $t=1000$  h date su u donjoj tablici:*



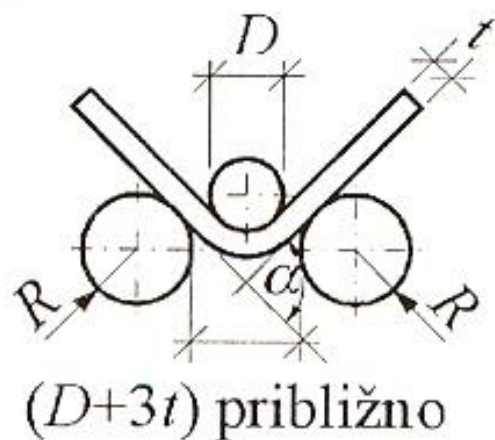
Nivo napona $\sigma_0/f_z$	Patentirana, hladno vučena i stabilizovana žica	Glatke i rebraste šipke	Patentirana, hladno vučena, nestabilizovana žica
0,6	$\leq 1,0 \%$	$\leq 1,5 \%$	$\leq 4,5 \%$
0,7	$\leq 2,5 \%$	$\leq 4,0 \%$	$\leq 8,0 \%$
0,8	$\leq 4,5 \%$	$\leq 6,0 \%$	$\leq 8,0 \%$

# METALI

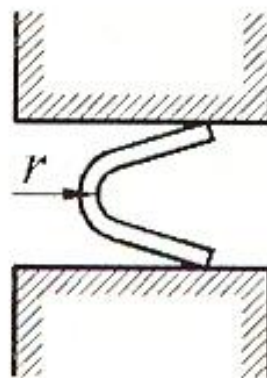
## Svojstva čelika: Tehnološka svojstva

### Tehnološka proba savijanjem

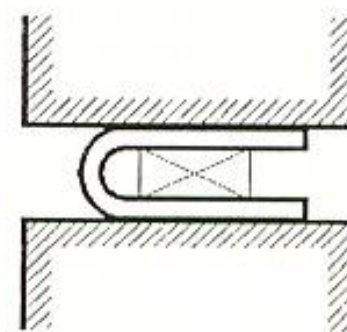
- Za konstrukcioni i glatki betonski čelik:  $\alpha = 180^\circ$ ,  $D = 2a$  ( $2\phi$ )
- Za rebrasti betonski čelik:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\alpha_{povr} = 45^\circ$ ,  $D = 5\phi$



a)



b)



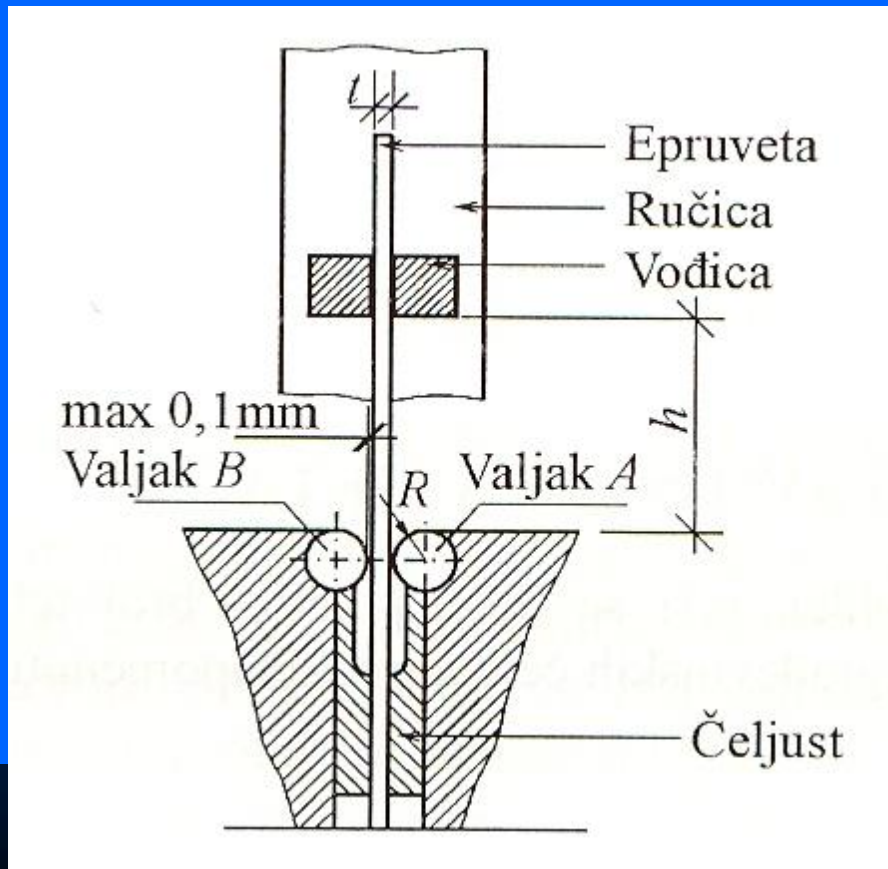
c)

Slika 1.97 - Ispitivanje savijanjem

# METALI

## Svojstva čelika: Tehnološka svojstva

### Tehnološka proba naizmeničnim previjanjem (kod žica i limova)



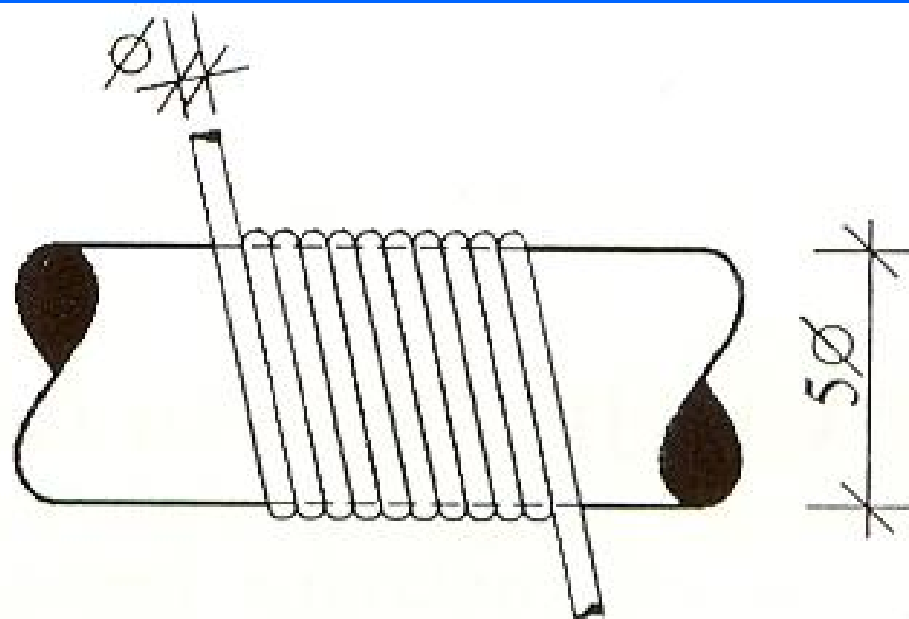
- Za razne debljine limova, odnosno prečnike žica, propisan je prečnik “trna”  $D$  i krak previjanja  $h$ !
- Propisan broj previjanja za patentiranu, hladno vučenu žicu:
  - Za glatku žicu: min 4
  - Za profilisanu žicu: min 3



# ***METALI***

## ***Svojstva čelika: Tehnološka svojstva***

***Tehnološka proba namotavanjem u zavojnicu (kod žica)***



- ***Za sve prečnike patentirane, hladno vučene žice, propisan je prečnik “trna”  $D=5\phi$  i broj namotaja  $n=10$ , koje ispitivana žica treba da podnese bez ikakvih oštećenja***