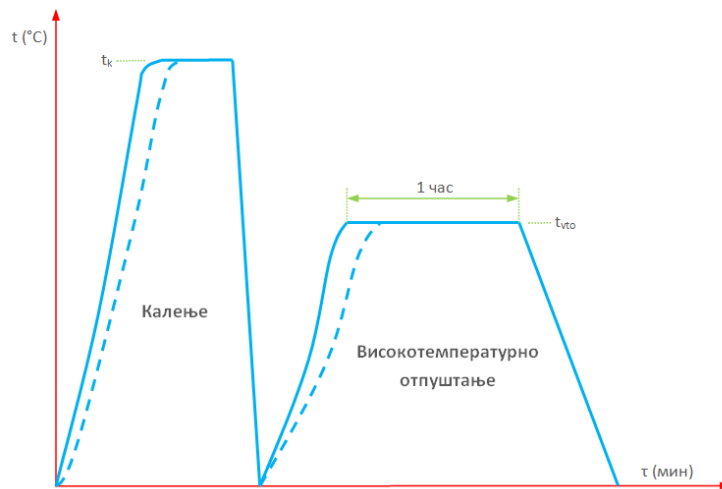


## VEŽBA 3 - POBOLJŠAVANJE

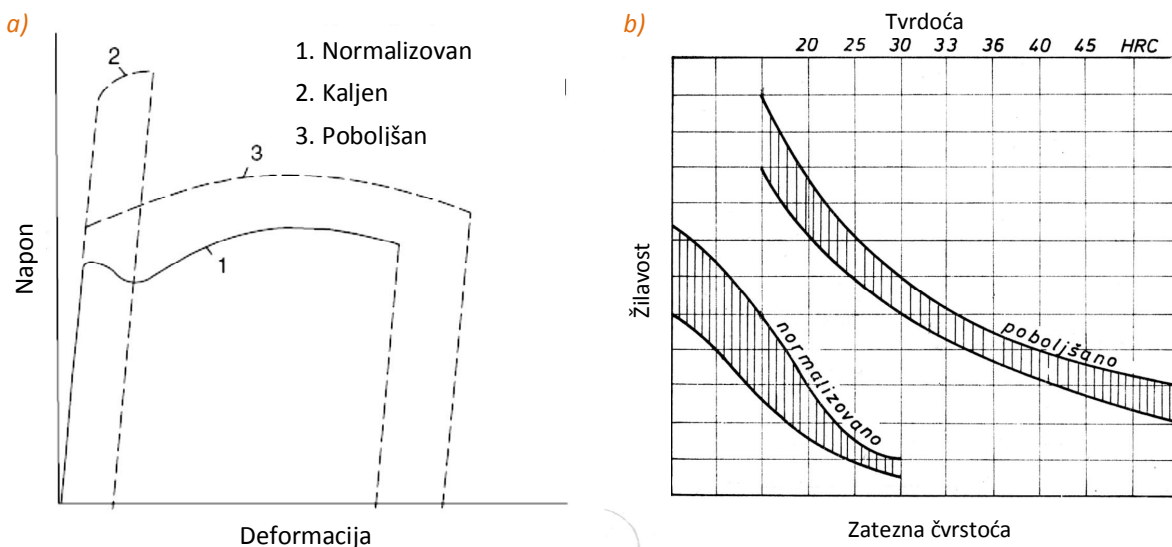
Poboljšavanje predstavlja jednu od najznačajnijih vrsta termičke obrade čelika. Najčešće se izvodi u vidu kombinovanog postupka pri čemu se nakon kaljenja vrši visokotemperaturno otpuštanje (Slika 1).



Slika 1: Kombinovani postupak poboljšavanja

Cilj poboljšavanja je optimalno usklađivanje mehaničkih osobina materijala sa zahtevima koji se traže u eksploataciji. Kada je reč o čelicima, uglavnom se zahtevaju visoka čvrstoća i žilavost koji su u suprotnosti. Međutim, upravo se nakon poboljšavanja za određenu čvrstoću dobija najveća žilavost.

Na slici 2a šematski su prikazane krive zatezanja za čelik koji je različito termički tretiran. Kaljen čelik odlikuje se najvećom čvrstoćom i najmanjim izduženjem, značajno veće izduženje ispoljava čelik u normalizovanom stanju, ali je i pad čvrstoće izražen. Najbolji odnos čvrstoće i žilavosti ispoljava poboljšan čelik (kriva 3, na slici 2a). Na slici 2b prikazan je odnos žilavosti i čvrstoće nakon normalizacije i nakon poboljšavanja. Vidi se da se kod poboljšavanja pri istoj čvrstoći ostvaruje veća žilavost nego kod normalizacije.



Slika 2: a) Kriva napon - deformacija čelika nakon različitih vidova termičke obrade, b) odnos čvrstoće i žilavosti nakon normalizacije i nakon poboljšavanja

Pored tvrdoće i statičke čvrstoće, nakon poboljšavanja dolazi do povećanja dinamičke čvrstoće zbog čega se poboljšani delovi najčešće koriste u dinamički opterećenim konstrukcijama. Kolika će tvrdoća da se ostvari nakon poboljšavanja zavisi od tvrdoće nakon kaljenja. Najveća tvrdoća nakon kaljenja postiže se kada se u strukturi nalazi 100% martenzita. Ova tvrdoća naziva se **kaljivost**, a najviše zavisi od sadržaja ugljenika u čeliku (ta zavisnost prikazana je na dijagramu "K1" u dokumentu "Dijagrami i tablice", strana 12).

Često se u industrijskoj praksi prave greške pri izboru poboljšavanja kao termičkog tretmana. Naime, zapostavlja se veoma važna osobina kaljenja, a time i poboljšavanja, a to je da se konkretan radni predmet može okaliti, tj. poboljšati samo do određene mere. Ova osobina naziva se **prokaljivost** i zavisi od:

- **vrste čelika** - ugljenični čelici odlikuju se manjom prokaljivošću od legiranih čelika. Povećanje prokaljivosti postiže se dodatkom mangana, hroma, molibdena i nikla.
- **oblika i dimenzija radnog predmeta**
- **uslova hlađenja** - pri hlađenju u sredstvima sa većim intenzitetom hlađenja ostvaruju se veće dubine kaljenja. Uslovi hlađenja definišu se preko faktora rashladne sposobnosti "H" čije su vrednosti date u **tabeli 1**.

**Tabela 1: Faktor rashladne sposobnosti ra različite uslove hlađenja**

Relativno kretanje		Faktor rashladne sposobnosti H			
Sredstva za hlađenje	Komada	Vazduh	Ulje	Voda	Rastvor soli
Nema	Nema	0.02	0.3	1.0	2.2
Nema	Srednje		0.4 - 0.6	1.5 - 3	
Nema	Jako		0.6 - 0.8	3.0 - 6	7.5
Jako ili mlazom			1.0 - 1.7	6.0 - 12	

Za neki radni predmet kaže se da je u potpunosti prokaljen kada se u jezgri nalazi 50% martenzita.

**Primer:** čelik DIN C60 (Č1730) može se u potpunosti prokaliti samo za prečnike do 10 mm, za veće dimenzije osobine se smanjuju. U tabeli 2 prikazane su osobine ovog čelika nakon poboljšavanja, zavisno do veličine prečnika. Tabela 3 daje sličan prikaz za slučaj normalizovanog stanja.

**Tabela 2: Mehaničke osobine čelika C60 nakon poboljšavanja [1]**

Prečnik (mm)	$R_{p0.2\%}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Zatezna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Izduženje (%)
do 16	570	830 - 980	11
17 - 40	490	780 - 930	13
41 - 100	450	740 - 890	14

**Tabela 3: Mehaničke osobine čelika C60 nakon normalizacije [1]**

Prečnik (mm)	$R_{p0.2\%}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Zatezna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Izduženje (%)
do 16	min. 380	min. 710	10
17 - 40	min. 340	min. 670	11
41 - 100	min. 310	min. 650	11

## Provera izabranog čelika

Pri izboru čelika za određeni radni predmet i usvajanju poboljšavanja kao vida termičke obrade potrebno je imati u vidu gore navedeno, tj. da osobine po preseku komada zavise od prokaljivosti.

### a) Provera prema čvrstoći

Proverava se da li određeni čelik uopšte može da postigne traženu čvrstoću. Vršiti se provera prema dinamičkoj čvrstoći. Kako čvrstoća najviše zavisi od udela ugljenika određuje se koliko ugljenika treba da sadrži čelik da bi postigao traženu čvrstoću. Za tu svrhu koristi se sledeći izraz:

$$\%C = (0.00083 \cdot \sigma_D + 0.1667)^2 \dots\dots\dots 1$$

gde je:  $\sigma_D$  - dinamička čvrstoća u MPa

Dobijena neophodna količina ugljenika upoređuje se sa donjom vrednošću udela ugljenika kod razmatranog čelika.

Kako bi se postigla određena dinamička čvrstoća mora se ostvariti odgovarajuća tvrdoća nakon poboljšavanja ( $H_p$  u HRC):

$$H_p = \frac{\sigma_D - 200}{10} \dots\dots\dots 2$$

Za postizanje određene tvrdoće nakon poboljšavanja zahteva se odgovarajuća tvrdoća nakon kaljenja ( $H_k$  u HRC):

$$H_k = 35 + 0.5H_p \dots\dots\dots 3$$

### b) Provera prema prokaljivosti

Nakon što se utvrdi da u čeliku ima dovoljno ugljenika da bi se uopšte postigla zahtevana čvrstoća, proverava se da li se ta čvrstoća može postići na željenoj dubini. U tu svrhu koristi se formula H. Justa:

$$H_k = 95\sqrt{C} - 0.00276J_{50}^2 \cdot \sqrt{C} + 20Cr + 38Mo + 14Mn + 5.5Ni + 6.1Si + 39V + 96P - 0.81K - 12.28\sqrt{J_{50}} + 0.898J_{50} - 13 \dots\dots\dots 4$$

gde su:

C, Cr, Mo, Mn, Ni, Si, V i P - srednji udeli hemijskih elemenata. Za pojedine čelike hemijski sastav može se pronaći u dokumentu "Dijagrami i tablice", strane 17 i 18.

K - krupnoća zrna

$J_{50}$  - prokaljivost prema Džominiju. Određuje se iz dijagrama koji se nalaze u dokumentu "Dijagrami i tablice", strane 15 i 16.

Vrednost "Hk" koja se dobije prema **izrazu broj 4** upoređuje se zahtevanom tvrdoćom nakon kaljenja koja je određena na osnovu **izraza broj 3**. Ukoliko je tvrdoća prema **izrazu 4** manja od zahtevane tvrdoće čelik ne može da postigne zahtevanu čvrstoću na željenoj dubini i odbacuje se. U tom slučaju potrebno je izabrati neki drugi čelik koji se odlikuje većom prokaljivošću.