

## ANALIZA UTICAJA KVALITETA MATERIJALA I KVALITETA OZUBLJENJA NA NOSIVOST ZUPČASTIH PAROVA

### ANALYSIS OF MATERIAL QUALITY AND GEAR TEETH QUALITY INFLUENCE ON GEARS LOAD CAPACITY

mr. Nedeljko Vukojević, dipl.inž.  
Mašinski fakultet u Zenici  
Zenica

mr. Mirsad Džaferović, dipl.inž.  
Opština Zavidovići  
Zavidovići

**Ključne riječi:** kvalitet materijala, kvalitet ozubljenja, nosivost zupčanih parova

**Rezime:**

*Za izradu zupčanika ovisno od funkcije i mogućnosti nabavke te raspoložive tehnologije, koristi se mnogo materijala različitih vrsta i karakteristika. Za reduktore opšte namjene najčešće primjenjivani materijali su iz grupe konstrukcionih čelika, čelika za poboljšanje i čelika za cementaciju. Da kvalitet materijala i njegove karakteristike čine veoma značajan uticaj na konstrukciju parova zupčanika pokazat će se kroz proračun nosivosti parova zupčanika izrađenih iz čelika za poboljšanje i cementaciju. Pored zahtjeva vezanih za kvalitet materijala postavljaju se i zahtjevi vezani za kvalitet ozubljenja. Treba imati na umu da izbor kvaliteta ozubljenja, mada znatno utiče na nosivost parova zupčanika, mora biti u vezi sa troškovima i tehničko-tehnoliškim mogućnostima izrade. Uticaj kvaliteta materijala zupčanika i kvalitet ozubljenja će se u ovom radu posmatrati isključivo sa aspekta nosivosti parova zupčanika.*

**Key words:** materials quality, gear teeth quality, gear load capacity

**Abstract:**

*The are many different materials of various types and characteristics used for gear production, depending on gear function procurement possibilities and available technology. The most used materials for gear box production are carbon steel, heat-treatable steel and cementation steel. Effect of materials quality and its properties on gears will be presented through calculation of gear load capacity, in the case when gears are made of cementation steel and heat treatable steel. Besides requirements related to materials quality there are also requirements posed for gears teeth quality. Choice of gear theeth quality, although has large influenc on load capacity, has to be in conection with costs, technical and technological production capacities. Influence of materials quality and gear teeth quality presented in this paper will be analysed exclusively from gear load capacity aspect.*

## 1. UTICAJ KARAKTERISTIKA MATERIJALA

Za izradu zupčanika ovisno od funkcije i mogućnosti nabavke te raspoložive tehnologije, koristi se mnogo materijala različitih vrsta i karakteristika [3]. Za reduktore opšte namjene najčešće primjenjivani materijali su iz grupe konstrukcionih čelika, čelika za poboljšanje i čelika za cementaciju. Da materijal i njegove karakteristike čine značajan uticaj na konstrukciju parova zupčanika pokazat će se kroz proračun nosivosti parova zupčanika izrađenih iz čelika za poboljšanje(Č.4732) i cementaciju(Č.4320) [3,6], a za kombinacije navedene u tabeli 1.

TABELA 1. KOMBINACIJE PAROVA ZUPČANIKA.

	MATERIJAL ZUPČANIKA	
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
C/C	Čelik za cementaciju	Čelik za cementaciju
C/P	Čelik za cementaciju	Čelik za poboljšanje
P/P	Čelik za poboljšanje	Čelik za poboljšanje

Proračun nosivosti je rađen za proizvoljni zupčasti par sa sljedećim karakteristikama:

Osnu razmak	a = 160 mm;
Broj zuba pog.zupč.	z <sub>1</sub> = 19;
Broj zuba gonj.zupč.	z <sub>2</sub> = 49;
Ugao nagiba zuba	β = 13°;
Širinu zupčanika	b = 64 mm;
Faktor korekcije pog. zupč.	x <sub>1</sub> = 0,402;
Faktor korekcije gonj. zupč.	x <sub>2</sub> = 0,301;
Broj obrtaja pog.zupč.	n = 289 min <sup>-1</sup> ;
Kvalitet ozubljenja	IT 5; 6; 7; 8; 9;
Faktor sigurnosti boka zuba	S <sub>Hmin</sub> = 1,1;
Faktor sigurnosti korjena zuba	S <sub>Fmin</sub> = 1,75;

Vrijednosti faktora sigurnosti izabrane su prema preporuci [2] i odnose se na industrijske reduktore. Proračun nosivosti rađen je pomoću programa GEAR PACK CX 3.1. [1], za različite kvalitete ozubljenja a iste faktore sigurnosti. Rezultati proračuna dati su tabelarno (tabela2) i grafički (slika 1).

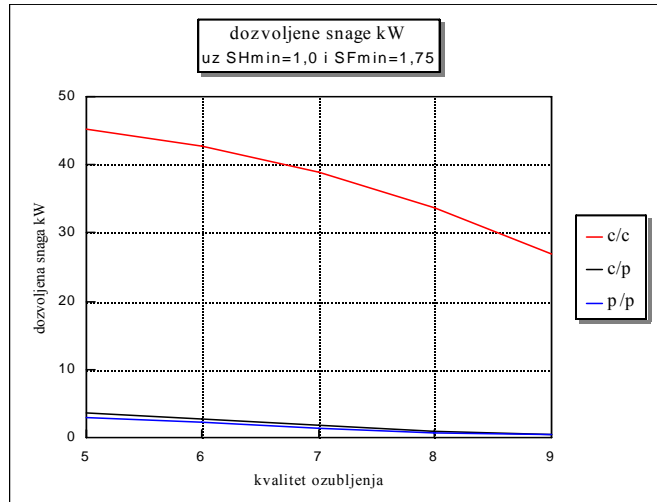
TABELA 2. DOZVOLJENE SNAGE ZUPČASTOG PARA ZA MATERIJAL ZUPČANIK I KVALITET OZUBLJENJA.

Kvalitet ozubljenja	S <sub>Hmin</sub> =1,1 ; S <sub>Fmin</sub> =1,75		
	C/C	C/P	P/P
IT 5	45,3	3,7	3,0
IT 6	42,8	2,8	2,3
IT 7	38,8	1,9	1,5
IT 8	33,6	0,9	0,8
IT 9	27,0	0,6	0,5

Sa slike 1 se vidi vrlo jasan uticaja izbora materijala na nosivost zupčanika. Najveća efikasnost se dobije upotrebom čelika za cementaciju i treba ih koristiti za izražene zahtjeve u pogledu nosivosti što odgovara savremenim koncepcijama projektovanja reduktora svih poznatih svjetskih proizvođača. Kod upotrebe C/P vidi se da je dobitak neznatan u odnosu na P/P pa se postavlja pitanje primjene materijala za cementaciju kod izrade zupčanika z<sub>1</sub> zbog gore navedenih tehnoloških zahtjeva.

## 2. UTICAJ KVALITET OZUBLJENJA NA NOSIVOST PAROVA ZUPČANIK

Pri projektovanju reduktora treba imati na umu da izbor kvaliteta ozubljenja, mada znatno utiče na nosivost parova zupčanika, mora biti u vezi sa troškovima i tehničko-tehnološkim mogućnostima izrade. Kvalitet ozubljenja će se posmatrati isključivo sa aspekta nosivosti parova zupčanika. Proračun nosivosti je urađen pomoću programa GEAR PACK CX 3.1. [1] za parove zupčanika istih osnovnih parametara, širine i broja obrtaja kao u poglavlju 1 s tom razlikom što su uzeti drugi faktori sigurnosti bokova i korjena zubaca: S<sub>Hmin</sub>=1,1 i S<sub>Fmin</sub>=1,0 . Dakle ovdje je na istom zupčastom paru iz prethodnog poglavlja pokazan uticaj kvaliteta ozubljenja na nosivost. Proračun nosivosti rađen je za različite vrste materijala. Iz tabelarnog i grafičkog prikaza (tabele 3, 4 i 5 te slike 2, 3 i 4) vidljiv je očit uticaj kvaliteta ozubljenja.



SLIKA 1. DOZVOLJENE SNAGE ZUPČASTOG PARA ZA MATERIJAL ZUPČANIKA I KVALITET OZUBLJENJA.

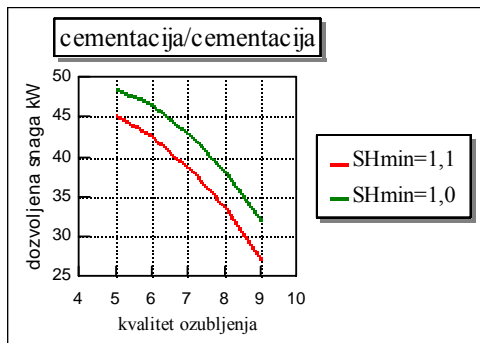
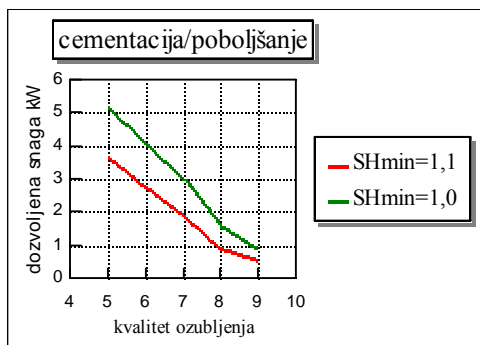
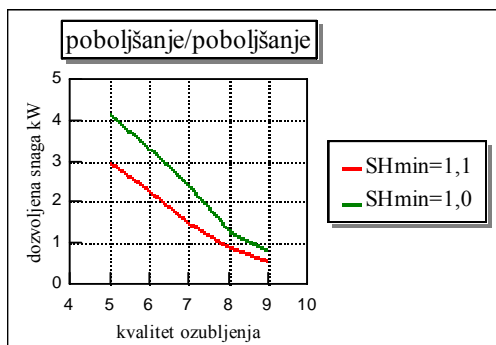


TABELA 3. NOSIVOST ZA C/C, C/P I P/P

IT	Materijal: cementacija/cementacija	
	$S_{Hmin}=1,1$	$S_{Fmin}=1,0$
5	45,3	48,7
6	42,8	46,8
7	38,8	42,9
8	33,6	38,0
9	27,0	31,8



IT	Materijal: cementacija/poboljšanje	
	$S_{Hmin}=1,1$	$S_{Fmin}=1,0$
5	3,7	5,2
6	2,8	4,1
7	1,9	3,0
8	0,9	1,6
9	0,6	0,9



IT	Materijal: cementacija/poboljšanje	
	$S_{Hmin}=1,1$	$S_{Fmin}=1,0$
5	3,0	4,2
6	2,3	3,3
7	1,5	2,4
8	0,9	1,3
9	0,6	0,8

SLIKA 2. NOSIVOST ZA C/C, C/P I P/P

U tabeli 6 je dat ukupni pregled nosivosti za različite kvalitete materijala i kvalitete ozubljenja.

TABELA 6. NOSIVOSTI ZA RAZLIČITE KVALITETE I GRUPE MATERIJALA.

	MATERIJAL ZUPČANIKA		NOSIVOST (kW)		Odnos $P_5/P_9$ (%)
	$Z_1$	$Z_2$	$P_5$	$P_9$	
<b>C/C</b>	Čelik za cementaciju	Čelik za cementaciju	45,3	27	170
<b>C/P</b>	Čelik za cementaciju	Čelik za poboljšanje	3,7	0,6	600
<b>P/P</b>	Čelik za poboljšanje	Čelik za poboljšanje	3,0	0,6	500

Povećanje nosivosti sa porastom kvaliteta ozubljenja procentualno je najizraženije kod materijala »C/P« (600 %). Procentualno povećanje nosivosti od 170 % do 600 % upućuje na dobitak u pogledu racionalne konstrukcije i kroz utrošak materijala za izradu i potrebnog prostora za ugradnju, što opravdava investiciona ulaganja za tehnološku i kontrolnu opremu.

### 3. ZAKLJUČAK

Analizirajući dobijene rezultate koji se odnose na uticaj kvaliteta materijala i kvaliteta ozubljenja na nosivost parova zupčanika jasno je da kad je materijal u pitanju najbolje koristiti cementirane zupčanike dok najveće povećanje nosivosti za različite kvalitete daje kombinacija materijala cementiran/poboljšan (oko 600 %).

Dakle u apsolutnim vrijednostima, uzimajući u obzir rezultate povećanja nosivosti s obzirom na kvalitet izabranih materijala kao i kvalitet izrade ozubljenja, najpovoljnija je situacija kad su oba zupčanika izrađena od materijala za cementaciju (c/c) jer je u tom slučaju povećanje nosivosti s obzirom na kvalitet ozubljenja oko 500%.

Ovi rezultati su dobar je pokazatelj pri donošenju odluke za investiranje u tehnološku opremu kao što su postrojenja za termičku obrada i opremu za brušenje zubaca zupčanicima.

### 4. LITERATURA

- [1] Grupa autora: «Uputstvo za upotrebu programa GEARPAC CX. 3.1 –proračun cilindričnih evolventnih zupčanika», Tehnički fakultet Rijeka, Zavod za osnove konstruisanja, Rijeka, 1989.
- [2] Niemann, G. Winter, H.: »Maschinenelemente. Band II«, Zweite, voellig neubearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- [3] Grupa autora: «Inžinjersko-mašinski priručnik II», Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
- [4] Oberšmit, E.: »Ozubljenja i zupčanici«, Liber, Zagreb, 1982.
- [5] Zbornik radova: »Tendencije u razvoju mašinskih konstrukcija i tehnologija«, Zenica 1995.
- [6] Džaferović M.: "Istraživanje mogućnosti primjene mehanike sličnosti pri projektovanju reduktora", Magistarski rad, Mašinski fakultet u Zenica, 2000.