



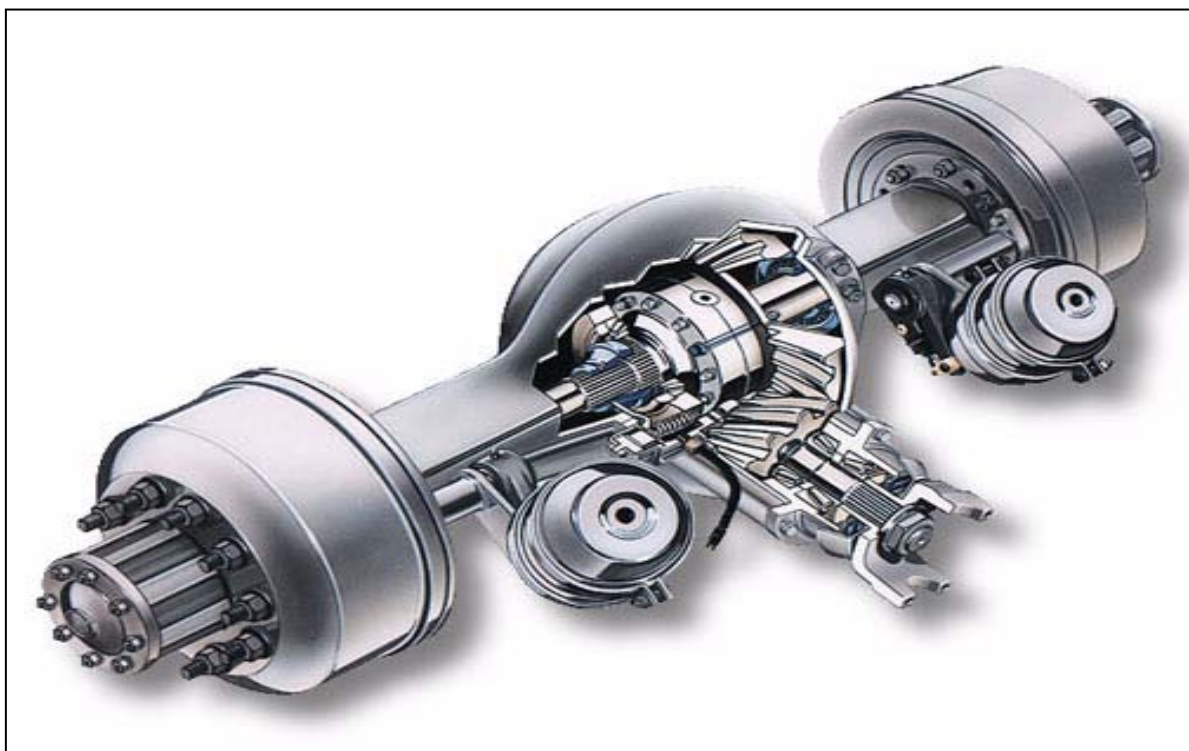
# PROJEKTOVANJE POGONSKOG MOSTA

## 1. OPŠTE

Pod pojmom pogonskog mosta podrazumeva se skup više sklopova. Kod vozila na točkovima u sastav pogonskog mosta ulaze:

- glavni prenosnik,
- diferencijalni prenosnik,
- pogonska poluvratila,
- i ponekad bočni reduktori (kada je  $i_0 > 7$ ).

Ilustracije radi na Slici 1.1 je prikazan pogonski most bez bočnog reduktora, a na Slici 1.2 pogonski most sa bočnim reduktorom.



Slika 1.1



Slika 1.2

U zavisnosti od koncepcije gradnje, na motornom vozilu može biti jedan ili više pogonskih mostova, a mogu biti smešteni na zadnjem ili/i prednjem kraju vozila.

### **Glavni prenosnik**

Zadatak glavnog prenosnika je da prenese snagu od izlaznog vratila menjačkog prenosnika, odnosno zglobnog prenosnika do diferencijalnog prenosnika, uz povećanje obrtnog momenta i smanjenje ugaone brzine i u zavisnosti od koncepcije gradnje da promeni ravan obrtanja za  $90^\circ$ , ukoliko je motor uzdužno postavljen.

Konstrukcija glavnog prenosnika treba da zadovolji sledeće posebne zahteve:

- da obezbedi projektovani prenosni odnos sa najmanjim mogućim gabaritnim dimenzijama kako bi se ostvarila maksimalna moguća poprečna prolaznost (klirens),
- visoku krutost,
- projektovanu trajnost i pouzdanost,
- što manju buku i
- što veći stepen korisnosti.

Osnovna podela glavnih prenosnika je na zupčaste i pužne prenosnike, ali se zupčasti mnogo češće koriste. Do sada su razvijena dva osnovna tipa zupčastih glavnih prenosnika:

- sa konusno-tanjirastim parom zupčanika (koriste se kod uzdužno postavljenog motora, tj. kada se zahteva promena ravni obrtanja) i
- sa cilindričnim parom zupčanika (primenjuju se na vozilima kod kojih se ne zahteva promena ravni obrtanja, odnosno kada je motor postavljen poprečno, pri čemu se i motor i pogonski most nalaze na istom delu vozila).

Konusno-tanjirasti par zupčanika se izrađuje sa spiralnim i hipoidnim ozubljenjem (koje je mnogo povoljnije kao rešenje zbog veće krutosti, čvrstoće i stepena sprezanja).



Glavni prenosnici sa cilindričnim parom zupčanika grade se sa kosim zupcima zbog većeg stepena sprezanja, nižeg nivoa buke i veće čvrstoće.

Potrebno je još pomenuti glavne prenosnike sa dva para zupčanika koji se koriste kod teretnih vozila čiji glavni prenosnik ima prenosni odnos veći od 7. Oni se sastoje iz jednog konusno-tanjirastog i jednog cilindričnog para zupčanika, ili umesto cilindričnog para zupčanika postoji bočni reduktor.

### **Diferencijalni prenosnik**

Služi za prenošenje obrtnog momenta na levi i desni pogonski točak pri njihovim međusobno različitim ugaonim brzinama. Do ove razlike dolazi pri kretanju vozila u krivini, po neravnom putu, i u slučaju različitih poluprečnika točkova (zbog različitih pritisaka u pneumaticima ili zbog nejednakog istrošenja pneumatika).

Prema obrtnom momentu koga razvode, dele se na simetrične i asimetrične (koji se često koriste za razvod momenta na više pogonskih mostova kada su na njima vertikalne reakcije tla različite). Na osnovu konstrukcijskog rešenja, može se izvršiti podela na one sa:

- zupčanicima,
- pužnim prenosnicima,
- kulisnim mehanizmima,
- mehanizmima slobodnog hoda.

Zupčanički diferencijali izrađuju se sa konusnim i cilindričnim zupčanicima. U jednovremenom zahvatu sa ovim zupčanicima su dva ili četiri konusna zupčanika (satelita), klizno uležištena pomoću svojih osovinica u kućište diferencijala. U normalnim uslovima eksploatacije, sateliti se sa svojim osovinicama obrću zajedno sa kućištem oko ose poluvratila, ali se ne obrću oko svoje ose. Pri pojavi uslova za nejednakim ugaonim brzinama levih i desnih točkova, sateliti počinju da se obrću i oko svojih osa, čime zapravo vrše svoju funkciju.

### **Pogonska poluvratila**

Prenos snage od diferencijalnog prenosnika do pogonskih točkova, odnosno bočnih reduktora, vrši se preko pogonskih poluvratila.

U pogonskim mostovima kod kojih su pogonski točkovi nezavisno oslonjeni, kao i kod onih koji su istovremeno i upravljački, pogonska poluvratila se izvode kao globna vratila.



Pogonska poluvratila pogonskog mosta sa zavisnim oslanjanjem dele se na tri vrste:

- polurasterećena,
- tri četvrtine rasterećena,
- potpuno rasterećena.

Pod pojmom 'rasterećenosti' podrazumeva se rasterećenost od naprezanja poluvratila na savijanju.

## 2. TEORIJSKE POSTAVKE ZA PROJEKTOVANJE POGONSKOG MOSTA

### 2.1 Projektovanje glavnog prenosnika

Ukoliko je koncepcija vozila takva da je motor uzdužno postavljen neophodno je, shodno izrečenom u prethodnoj tački ovog rada, glavni prenosnik projektovati sa konusno-tanjirastim parom zupčanika i to sa hipoidnim ozubljenjem, dok za slučaj koncepcije kada je motor poprečno postavljen treba izabrati cilindrični par zupčanika sa kosim ozubljenjem.

Posebnu pažnju pri projektovanju trebalo bi posvetiti krutosti glavnog prenosnika i uležištenja, kao i kućišta. Osim toga, važno je obezbediti obilno podmazivanje i pouzdano zaptivanje.

U slučaju glavnog prenosnika u obliku konusno-tanjirastog para zupčanika, broj zubaca konusnog zupčanika ( $z_1$ ) trebalo bi da bude što je moguće manji kako bi gabariti glavnog prenosnika bili što manji. Za zupčanike automobila, najčešće je  $z_1 = 9$ . Broj zubaca tanjirastog zupčanika zavisi od prenosnog odnosa  $i_0$ .

#### **- Izbor geometrije ozubljenja**

Geometrija ozubljenja se određuje orijentaciono na osnovu iskustva i uputstava proizvođača mašina za ozubljenje (Glizon, Erlikon, Klingenberg i dr.).

Prvo je neophodno odrediti mimoilaženje osa  $A[mm]$ :

$$A \leq 0,2 \cdot D_{o2} \quad (1)$$

gde je:

$D_{o2}[mm]$  - prečnik podeonog kruga na osnovici podeonog konusa vođenog (tanjirastog zupčanika), koji se određuje orijentaciono iz empirijskog izraza:



$$D_{o2} = k \cdot \sqrt[3]{M_{\max}} \quad (2)$$

gde je:

$k[-]$  - koeficijent koji se kreće u granicama od 5,8 do 6,65, i

$M_{\max} [daNm]$  - maksimalni moment na tanjirastom zupčaniku, određen:

#### **- od motora**

$$M_{\max} = M_n \cdot i_l \cdot i_o \quad (3)$$

gde je:

$M_n [daNm]$  - nominalni moment motora,

$i_l [-]$  - prenosni odnos u prvom stepenu prenosa menjačkog prenosioca, i

$i_o [-]$  - prenosni odnos u glavnom prenosiocu.

#### **- od kretača**

$$M_{\max} = 2 \cdot Z_t \cdot \varphi \cdot r_d \quad (4)$$

gde je:

$Z_t [daN]$  - statička reakcija po točku,

$\varphi [-]$  - koeficijent prijanjanja (preporučena vrednost 0,65) i

$r_d [mm]$  - dinamički poluprečnik točka.

Sledeći korak se odnosi na određivanje odnosa između uglova zavoja zubaca konusnog i tanjirastog zupčanika:

$$\beta_1 = \beta_2 + \arcsin \frac{A}{r_{k2}} \quad (5)$$

gde je:

$\beta_1 [^\circ]$  - ugao zavoja zubaca konusnog zupčanika  
(preporučene vrednosti od 45 do 50°),

$\beta_2 [^\circ]$  - ugao zavoja zubaca tanjirastog zupčanika  
(preporučene vrednosti od 20 do 30°) i

$r_{k2} [mm]$  - kinematski poluprečnik podeonog konusa  
koji se određuje pomoću sledećeg izraza:



$$r_{k2} = \frac{D_{o2}}{2} - \frac{b}{2} \cdot \sin \delta_2 \quad (6)$$

gde je:

$b[mm]$  - širina venca tanjirastog zupčanika i

$\delta_2[^\circ]$  - polovina ugla konusa tanjirastog zupčanika.

Vrednost ukupnog ugla konusa određuje se pomoću izraza:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

gde je:

$\delta_1[^\circ]$  - polovina ugla konusa konusnog zupčanika.

Za vrednost ukupnog ugla konusa  $\delta = 90^\circ$ , polovine uglova konusa konusnog i tanjirastog zupčanika određuju se pomoću izraza:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{i} = \frac{z_1}{z_2}$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = i = \frac{z_2}{z_1}$$

Pri tome mora da se vodi računa da bude zadovoljen i uslov na mestu osnovnog kruga podeonog konusa  $r_{01}[mm]$ :

$$\frac{r_{01} \cdot \cos \beta_1}{z_1} = \frac{r_{02} \cdot \cos \beta_2}{z_2} \quad (7)$$

Širina venca tanjirastog zupčanika ( $b$ ) prema firmi Glizon (*Gleason*) usvaja se u zavisnosti od obimne sile ( $F_o$ ) prema Tabeli 1:

Tabela 1

$F_o / b$ (kN/m)	u I stepenu prenosa	u direktnom stepenu prenosa	na osnovu koeficijenta prijanjanja $\varphi$
laka vozila	800 ÷ 900	300 ÷ 500	850 ÷ 950
teretna vozila	1400 ÷ 1500	250 ÷ 300	1400 ÷ 1450
autobusi	900 ÷ 1000	200 ÷ 250	-



Orientacioni izbor modula treba vršiti prema izvedenim rešenjima ili prema izrazu za proveru vrednosti izvodnice konusa:

$$m_n = \frac{L \cdot \cos \beta_1}{0,5 \cdot \sqrt{z_1^2 + z_2^2}} \Rightarrow L = \frac{m_n \cdot 0,5 \cdot \sqrt{z_1^2 + z_2^2}}{\cos \beta_1} \quad (8)$$

gde je:

$L [mm]$  - izvodnica konusa,

$z_1 [-]$  - broj zuba konusnog zupčanika i

$z_2 [-]$  - broj zuba tanjirastog zupčanika.

## **2.2. Projektovanje diferencijalnog prenosa pogonskog mosta**

U putničkim automobilima isključivo se koriste diferencijalni mehanizmi sa konusnim zupčanicima, najčešće bez samoblokiranja. Konusni zupčanci su sa pravim zupcima. Određivanje geometrije se obavlja u zavisnosti od mogućnosti smeštaja u gabarite glavnog prenosa.

Kod sportskih i automobila viših kategorija, uvodi se samoblokiranje osnih diferencijala uz pomoć višelamelastih vlažnih spojnika ili, u novije vreme, visko-spojnika. U tom slučaju potrebno je obezbediti odgovarajući prostor u diferencijalu. Određivanje dimenzija uređaja za samoblokiranje zavisi od obrtnog momenta koji ulazi u diferencijalni prenosnik i od željenog stepena samoblokiranja.

Stepen samoblokiranja je određen koeficijentom blokiranja  $k_b [-]$ :

$$k_b = \frac{M_2 - M_1}{M_o} = \frac{M_{tr}}{M_o} \quad (9)$$

Odnos obimnih sila koje se mogu iskoristiti na točku je:

$$X_{t2} = X_{t1} \cdot \frac{1 + k_b}{1 - k_b} = Z_\varphi \cdot \varphi \cdot \frac{1 + k_b}{1 - k_b} \quad (10)$$

Preporučene vrednosti za maksimalni koeficijent blokiranja su u granicama od 0,6 do 0,8.



Uopšteno, kako za simetrične tako i za asimetrične diferencijalne prenosnike važi da je:

$$M_1 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot M_o \cdot (1 - k_b) \quad (11)$$

$$M_2 = \frac{Z_{21}}{Z_1 + Z_2} \cdot M_o \cdot (1 + k_b) \quad (12)$$

Takođe je neophodno naglasiti da je stepen korisnosti pri kretanju vozila u krivini:

$$\eta_{diff} = 1 - \frac{B}{2 \cdot R} \cdot \frac{M_2 - M_1}{M_o} = 1 - \frac{B}{2 \cdot R} \cdot k_b \quad (13)$$

gde je:

$B[mm]$  - trag točkova,

$R[mm]$  - radijus zaokreta.

### **2.3. Projektovanje pogonskih poluvratila**

Ukoliko je u pitanju zavisni (kruti) sistem za oslanjanje, preporučuje se korišćenje polu ili, češće, tri četvrtine rasterećenih pogonskih poluvratila, a kod nezavisnog oslanjanja korišćenje zglobnih (potpuno rasterećenih) poluvratila. U slučaju krutih poluvratila, dimenzionisanje se vrši na osnovu poznatog obrtnog momenta i momenta savijanja. Međutim, obično se, najpre, konstruiše veza poluvratila sa konusnim zupčanicima u diferencijalu i veza sa točkom i kućištem uz točak, vodeći računa o smeštaju kočnice, pa se izvrši analiza. Pri tome treba voditi računa da prepust kretača u odnosu na oslonac(e), primenjene ležajeve bude što manji, kako bi i moment savijanja od vertikalne sile bio što manji.

Pri oblikovanju poluvratila, treba posebno voditi računa o prelazima, jer su na njima kritična mesta. Nakon oblikovanja vrši se analiza (proračun).

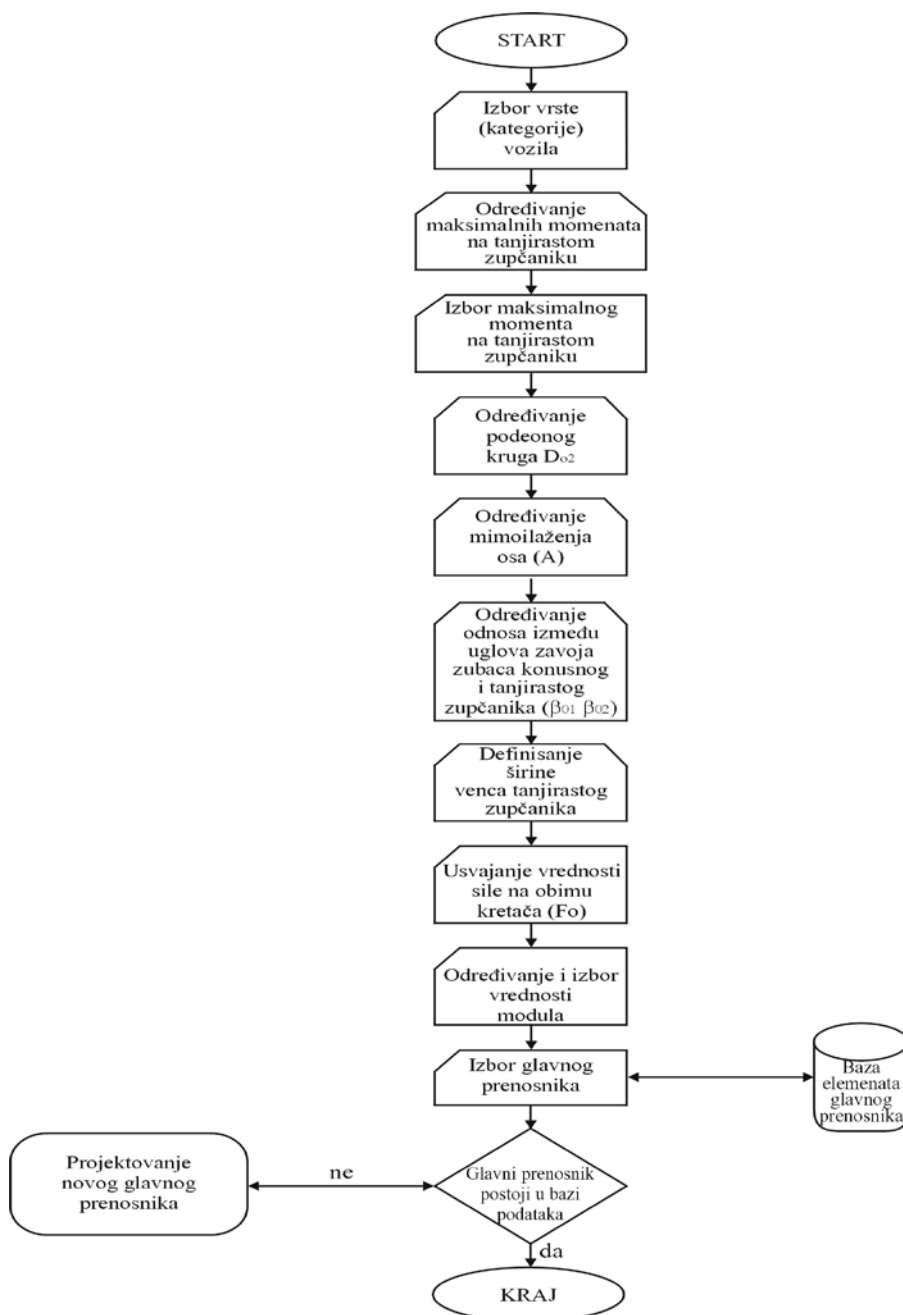
U slučaju zglobnih poluvratila a pogotovu kada su u pitanju ona u prednjem pogonskom mostu (homokinetički zglobovi), potrebna je konsultacija sa specijalizovanim proizvođačem.





### 3. ALGORITAM ZA PROJEKTOVANJE POGONSKOG MOSTA

Za rešavanje projektovanje pogonskog mosta je neophodno pre svega raspolagati sa dobro definisnim algoritmom projektovanja koji predstavlja osnovu za sprovođenje postupka projektovanja kako u pogledu osnovnih funkcionalnih zahteva koji se postavljaju pred novoprojektovani pogonski most takođe i u odnosu na redosled operacija koje inženjer-projektant treba da sprovede u fazi projektovanja. Zbog toga je detaljno prikazan algoritam za sprovođenje postupka projektovanja pogonskog mosta.





Slika 3.3

Prikazani algoritam na Slici 3.3 obezbeđuje:

- definisanje vrste (kategorije) vozila za koju se želi sprovođenje postupka izbora elemenata pogonskog mosta. U okviru toga neophodno je da projektantu budu na raspolaganju sledeće opcije:
  - i. putničko vozilo,
  - ii. teretno vozilo,
  - iii. gradski autobus,
  - iv. međugradski autobus
  - v. traktor
- definisanje načina postavljanja motora (poprečno ili uzdužno popstavljen motor),
- zadavanje ulaznih podataka za definisanu vrstu (kategoriju) vozila i to:
  - prenosni odnos u glavnom prenosniku,
  - prenosni odnosi u prvom i poslednjem stepenu prenosa u menjaču,
  - broj stepeni prenosa,
  - dinamički poluprečnik kretača (točka),
  - maksimalna snaga motora i odgovarajuća ugaona brzina motora,
  - maksimalni moment motora i odgovarajuća ugaona brzina motora.

Takođe je neophodno obezbediti da navedeni ulazni podaci mogu biti na raspolaganju korisniku u obliku dve mogućnosti: direktnim unošenjem ili iz unapred definisane baze podataka,

- određivanje maksimalnog momenta na tanjirastom zupčaniku koristeći izraze (3) i (4),
- usvajanje momenta na tanjirastom zupčaniku,
- određivanje prečnika podeonog kruga koristeći izraz (2),
- određivanje mimolaženja osa koristeći izraz (1),
- određivanje odnosa između uglova zavoja zubaca konusnog i tanjirastog zupčanika koristeći izraze (5), (6) i (7),
- određivanje širine venca tanjirastog zupčanika,
- usvajanje sile na obimu kretača koristeći Tabelu 1,
- određivanje i izbor modula  $i$
- izbor odgovarajućeg pogonskog mosta iz kataloga proizvođača.