

XVI Međunarodni naučno-stručni skup NAUKA I MOTORNA VOZILA
International Conference SCIENCE AND MOTOR VEHICLES

N **97**
AUTOMOBILSKA TEHNIKA
NA PUTU KA VEĆOJ MOBILNOSTI

JUMV - SP - 9702



YU-97453**Stojković S., Šušteršić V., Gordić D., Luković B.:****PROMENA PRENOSA BEZ PREKIDA TOKA SNAGE U AUTOMASKIM MENJAČIMA TEŠKIH VOZILA****CONTINUOUS CHANGING OF FLOW POWER TRANSMISSION IN HEAVY VEHICLES AUTOMATIC TRANSMISSIONS****Mašinski fakultet, Kragujevac**

IZVOD Promena stepena prenosa menjajuča vozila bez prekida toka snage, u hodu pod opterećenjem, omogućava povećanje efektivnosti rada, smanjenje dinamičkih opterećenja koja prate proces promene prenosa, smanjenje rada proklizavanja friкционih elemenata, bestrajnu vožnju i dr. U ovom radu je izvršena teoretska analiza promene stepena prenosa u menjajuču i to na tri načina: promena stepena prenosa sa kratkotrajnim prekidom snage, promena stepena prenosa bez prekida toka snage i kombinovana promena stepena prenosa.

KLJUČNE REČI: lamelaste spojnice i kočnice, automatski menjajuč, promena stepena prenosa

ABSTRACT: A vehicle transmission shifting without ceasing of a power flow, during the loading operation, provides an efficiency increasing, a decreasing of dynamic loads that accompanies the shifting transmission process, a decreasing slippage work of frictional elements, an untwitching drive, etc. A shifting arrangement is theoretically analyzed on three ways: a shifting with short ceasing of power, a shifting without ceasing of power and a combined shifting.

KEY WORDS: disk clutch, brake disk, turboplanetary transmission, shifting

1. UVOD

Veliki broj važnih zahteva koji se postavljaju savremenim teškim vozilima nije moguće rešiti bez primene automatskih menjajuča. Zbog brojnih prednosti nad drugim tipovima automatskih menjajuča, a pre svega zbog onih koji proističu iz principa dejstva turbovarijatora, diferencijala, frikcionih lamelastih spojnice i kočnica u svojstvu osnovnih uredaja u automatskom menjajuču kao veoma složenom mehanizmu, najširu primenu imaju automatski turboplanetarni menjajuči. Osnovne prednosti o kojima je reč su brz odziv na promene opterećenja i skoro potpuno uklanjanje dinamičkih udara na pogonsku grupu.

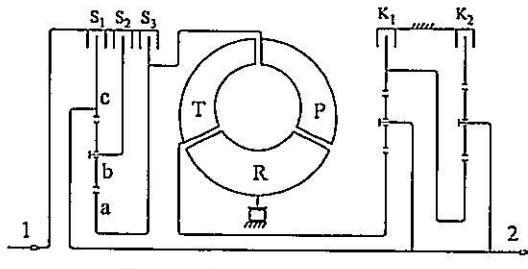
Frikcione lamelaste spojnice i kočnice (u daljem tekstu - lamelaste spojnice) ne samo da učeštuju u prenosu snage već vrše i ulogu izvršnih organa u sistemu automatskog upravljanja menjajučem. Ovaj rad se upravo i bavi lamelastim spojnicama sa aspekta njihove upravljačke funkcije. Treba napomenuti da njihovo prisustvo isključuje potrebu postojanja glavne spojnice u transmisijama vozila.

Kako naša zemlja ima značajne potencijale za proizvodnju teških vozila, a obzirom na pomenuto stanje i trend primene automatskih menjajuča na njima, pristupilo se razvoju uspostavljanjem projekta "Istraživanje i razvoj automatskih turboplanetarnih menjajuča za teška vozila" koji participira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Srbije. Ovde je prikazan deo istraživanja vezan za menjajuč gradskog autobusa, čiji razvoj predstavlja prvu fazu rada u pomenutom projektu.

2. TEORIJSKA ANALIZA PROMENE STEPENA PRENOSA U MENJAČU

U novijim rešenjima turboplanetarnih menjajuča niži prenosi se

ostvaruju uz učešće turbovarijatora u prenosu snage, a viši bez njega. Na taj način se, odustajuci od prednosti koje unosi turbovarijator tamo gde one nisu neophodne, postiže veća ekonomičnost rada i viši domeni brzine. Tako je i menjajuč u razvoju o kome je ovde reč, kinematski koncipiran (sl.1) tako da I i II stepen prenosa napred i prenos kretanja nazad vrše hidromehanički prenosi, a III i IV stepen samo mehanički. Promena pomenutih pet (4+1) stepeni prenosa vrši se pomoću pet frikcionih komponenti - tri spojnice (S) i dve kočnice (K).



	S1	S2	S3	K1	K2	i _{zm}
I			+	+		2,45(R)
2		+		+		2,45(P)
3	+					1,00
4		+				0,63
HN			+	+		-1,08

Slika 1.

Hidromehanički prenosi se ostvaruju aktiviranjem po jedne spojnice i jedne kočnice, a mehanički prenosi samo po jednom spojnicom. Ovo ukazuje da je sa aspekta složenosti konstrukcije i upravljanja, ovaj menjajuč veoma konkurentan u odnosu na izvedena rešenja.

Za polazak vozila napred uključuje se prvo kočnica K₁, pa spojnica S₃, a za polazak nazad, kočnica K₂ pa spojnica S₃.

Prelazak iz I u II stepen prenosa ostvaruje se uključenjem spojnica S_2 i isključenjem spojnica S_3 i obrnuto. Prelaz iz II u III stepen prenosa vrši se uključenjem spojnica S_1 i isključenjem spojnica S_2 i kočnice K_1 itd. Od toga kako se tehnički izvode ove promene stepeni prenosa zavisi kvalitet rada automatskog menjača, a time i vozila kao celine, u ovom slučaju gradskog autobusa. Primenuju se, uglavnom, tri načina promene, i oni će biti analizirani u nastavku rada.

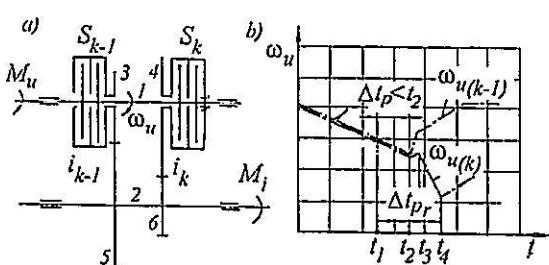
2.1 Promena stepena prenosa sa kratkotrajnim prekidom snage

Ovaj način se zasniva na brzoj promeni stepena prenosa. Omogućuje ga primena frikcionalnih spojnica sa hidrauličnim upravljanjem. U tom kratkom vremenskom periodu od isključenja jednog do uključenja drugog prenosa, kretanje se vrši po inerciji. Međutim, ovde dolazi do prekida toka snage i, ako su otpori kretanju veliki, može da dođe i do zaustavljanja vozila, naročito kada se radi o teškom vozilu, usponskom i lošem putu.

Kraće vreme promene stepena prenosa postiže se pomoću dubliranih frikcionalnih spojnica sa hidrauličnim upravljanjem, pri čemu ulje pravi kratak put, bez medukomandi, tako što se presipa iz jednog u drugi cilindar spojnica. Međutim, dublirane spojnice imaju složenu konstrukciju, a promena stepena prenosa ipak nije bez prekida toka snage, pa ovo rešenje ne bi moglo da se smatra prihvativim.

2.2 Promena stepena prenosa bez prekida toka snage

Ovde se javlja kratkotrajni istovremeni prenos snage i kroz spojnicu koja se uključuje i kroz spojnicu koja se isključuje. Prenos će biti analiziran pomoću sl. 2.a), na kojoj je prikazana kinematska šema dela menjača sa dva vratila, pogonskim 1 i gonjenim 2, zupčastim prenosnicima, nižim i_{k-1} i višim i_k , ostvarenim zupčanicama 3 i 5, odnosno 4 i 6. Termin niži prenos odgovara nižoj izlaznoj brzini (odnosno većem prenosnom odnosu).



Slika 2.

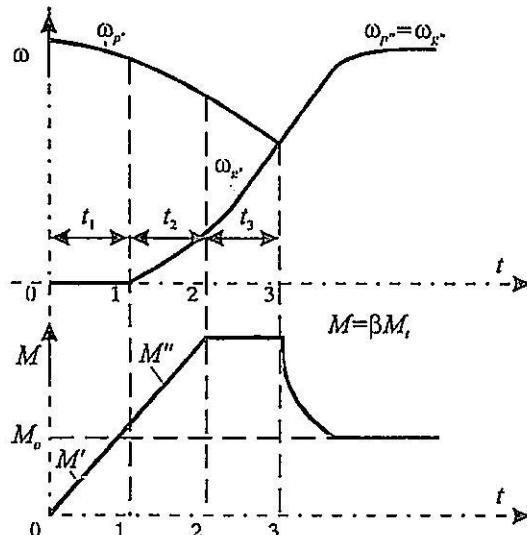
Proces uključivanja spojnice (vrši je radni hod hidrocilindra) može da se podeli na tri faze, u kojima se ugaone brzine i obrtni momenti u funkciji od vremena menjaju prema sl.3

- U prvoj fazi (0-1) moment spojnice je najviše jednak momentu otpora ($M \leq M_0$), a ugaona brzina gonjenog elementa je ravna nuli. U ovoj fazi, dakle, gonjene lamele spojnice još miruju, pogonske lamele pod dejstvom klipa hidrocilindra vrše i translatorno kretanje, kojim se eliminisu zazor između lamele.

- U drugoj fazi (1-2) ugaona brzina gonjenih elemenata ω_g^g raste, dok se ugaona brzina pogonskih elemenata ω_p^g smanjuje, dok obrtni moment spojnice M'' raste kontinualno od M_0 do $M = \beta M_f$. Iako je na kraju ovog perioda, ostvareno potpuno uključenje spojnice, ugaone brzine se još nisu izjednačile, već je $\omega_p^g > \omega_g^g$.

- U trećoj fazi (2-3) obrtni moment zadržava najveću vrednost dostignutu na kraju druge faze, pogonska ugaona brzina ω_p^g nastavlja sa opadanjem, a gonjena ω_g^g sa rastom do njihovog izjednačenja na kraju III faze, tj. do prestanka proklizavanja.

Druga i treća faza, dakle, što se tiče ugaonih brzina predstavljaju period proklizavanja, ali sa aspekta obrtnih momenata predstavljaju različite faze.



Slika 3. Šema procesa uključivanja lamelaste spojnice

Promene obrtnog momenta pri ukopčavanju spojnice može da se analitički definisi (sl.3) na sledeći način:

$$\begin{aligned} M &= c \cdot t, \text{ za } t < t' \\ M &= M_{\max} = c \cdot t' \quad \text{za } t \geq t' \end{aligned} \quad (1)$$

gde je:

t - vreme od početka prenosa obrtnog momenta,

$$t' = \frac{M_{\max}}{c}, \quad c = \text{const.}$$

M_{\max} - najveći obrtni moment spojnice.

Uzlazni i izlazni momenti M_u i M_i menjaju se zavisno od režima rada pogonske grupe. Na jednom ustaljenom režimu smatra se da su oni nepromenljivi i te vrednosti su označene sa M_{uc} i M_{ic} .

Proračunsko vreme preklapanja rada obeju spojnicu S_{k-1} i S_k (sl.2.b) odreduje se relacijom:

$$\Delta t_{pr} = \frac{M_{uc}}{c} \quad (2)$$

Za to vreme, moment spojnice koja se uključuje iznosi:

$$M = c \cdot \Delta t_{pr} \quad (3)$$

i poraste do vrednosti M_{uc} , koji je potreban za savladavanja otpora na tom režimu rada. Ako se u ovom trenutku isključi

raniye uključena spojnice izostaje prekid prenosa snage. Sa smanjenjem opterećenja smanjuje se i vreme preklapanja rada Δt_{pr} .

Promena stepena prenosa sa višeg i_k na niži i_{k-1} (sl. 2. a) počinje sa početkom procesa uključivanja spojnica S_{k-1} pri potpuno uključenoj spojnici S_k . U početku spojnica S_{k-1} proklizava i prenosi obrtni moment koji je linearno zavisao od vremena ($M_{k-1} = c \cdot t$), dok spojница S_k u prvoj fazi preklapanja ne proklizava. Pošto se pri tome gognjene lamele spojnica S_{k-1} , vezane sa zupčanicom 3, koji nije kruto spojen sa vratilom 1, brže obrću od pogonskih lamela, koje se obrću zajedno sa vratilom 1, to dolazi do cirkulacije snage u konturi obrazovanoj vratilom 1, zupčanicima 4 i 6, vratilom 2 i zupčanicima 5 i 3. Obrtanje vratila 1 i 2 definisano je dinamičkim jednačinama:

$$M_u + M_{k-1} - M_k = I_u \cdot \frac{d\omega_u}{dt} \quad (4)$$

$$M_k \cdot i_k \cdot \eta_k - M_i - M_{k-1} \cdot i_{k-1} \frac{1}{\eta_{k-1}} = I_i \cdot \frac{d\omega_i}{dt} \quad (5)$$

i jednačinom veze:

$$\omega_u = \omega_i \cdot i_k \quad (6)$$

gde su:

M_{k-1} i M_k - momenti koje prenose spojnice S_{k-1} i S_k , I_u i I_i - momenti inercije pokretnih masa kruto vezanih za vratila 1 i 2, redukovanih na vratila 1 i 2,

$\frac{d\omega_u}{dt}, \frac{d\omega_i}{dt}$ - ugaona ubrzanja vratila 1 i 2,

ω_u i ω_i - ugaone brzine vratila 1 i 2,

η_{k-1} i η_k - koeficijenti korisnog dejstva spregnutih zupčastih parova. Može se smatrati da je $\eta_{k-1} = \eta_k = \eta$.

Cirkulacija snage, s jedne strane, i savladavanje otpora kretanju - momentom M_i , s druge strane, uslovjava povećanje ulaznog momenta M_u i smanjenje ulazne brzine ω_u . Kad se radi o mehaničkom prenosu u menjaču, ovo može da dovede do preopterećenja motora praćenog smanjenjem njegovog broja obrta ispod kritične vrednosti, a to znači do gašenja motora.

Analiza ovog problema može da se izvrši rešavanjem sistema jednačina (4), (5) i (6) po ω_u . Međutim, turbovarijator u turboplanetarnom menjaču obezbeđuje stabilan rad motora i na režimu najvećeg mogućeg opterećenja, kada je ugaona brzina $\omega_u = 0$, budući da je vratilo 1 kruto vezano sa turbinskim kolom turbovarijatora. U prvom periodu vremenskog preklapanja potpuno uključene spojnice S_k i procesa uključivanja spojnica S_{k-1} , raste obrtni moment, druge, po relaciji $M_{k-1} = c \cdot t$, a prve, do neke maksimalne vrednosti momenta, koju spojница može da prenese bez proklizavanja M'_{kmax} kada nastupa proklizavanje spojnica S_k . Vreme prekopčavanja do tog trenutka označeno je sa t_2 . Rešavanjem sistema diferencijalnih jednačina (4), (5) i (6), uz korišćenje sledećih vrednosti obrtnih momenata:

$$M_k = M'_{kmax}$$

$$M_{k-1} = c \cdot t;$$

$$M_u = M_{usr}.$$

ovo vreme iznosi:

$$t_2 = \frac{M'_{kmax} \cdot (1 + \frac{I_u}{I_i} \cdot i_k^2 \eta) - M_{usr} - \frac{I_u}{I_i} \cdot i_k \cdot M_i}{C \cdot (1 + \frac{I_u}{I_i} \cdot \frac{i_k \cdot i_{k-1}}{\eta})}. \quad (7)$$

Vrednost obrtnog momenta M'_{kmax} odreduje se [1] jednačinom:

$$M'_{kmax} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot p \cdot b \cdot R_c^2 \cdot z \quad (8)$$

gde je:

M'_{kmax} - maksimalni moment spojnice S_k pri statičkom koeficijentu trenja,

μ - koeficijent trenja, zavisi od oblika kanala za podmazivanje, specifičnog pritiska, relativne brzine klizanja dodirnih površina [4]; sa uljnim podmazivanjem, ta zavisnost nije tako izražena pa je, za proračun, moguće smatrati da je dinamički koeficijent trenja nepromenljiv, uz korišćenje sledećih vrednosti :

$\mu = 0,07 - 0,08$ - metalokeramičke obloge na mesinganoj osnovi i čelik;

$\mu = 0,09 - 0,12$ - polumetalni materijal po čeliku;

$\mu = 0,09 - 0,16$ - plastične mase i kaučuk;

$\mu = 0,08 - 0,1$ - čelik po čeliku;

p - pritisak radnog fluida u hidrocilindru spojnice;

b - radna širina površine trenja;

R_c - srednji poluprečnik površine trenja;

z - broj dodirnih površina,

ali uz korišćenje statičkog koeficijenta trenja [4].

Oscilografska ispitivanja su pokazala [5] da posle proklizavanja spojnice S_k , u toku $t = 0,02 - 0,08$ s, moment M_k oscilira oko vrednosti M'_{kmax} , a zatim opada na vrednost M'_{kmax} koji prenosi spojница pri proklizavanju. Ovo se objašnjava činjenicom da je dinamički koeficijent trenja manji od statičkog. U drugoj etapi obe spojnice proklizavaju; diferencijalne jednačine obrtanja vratila (4) i (5) ostaju kao u prethodnoj etapi, ali jednačina veze (6) ne važi. U traženju rešenja jednačina (4) i (5) po $\omega_u(t)$ i $\omega_i(t)$ pri $t > t_2$ principijelno nema teškoća, jer su poznate vrednosti momenata koje ulaze u izraze. Naime, M_{k-1} je određen izrazom (4), moment M_u odgovara promeni momenta turbinskog kola turbovarijatora (kad se radi o hidromehaničkom prenosu) ili promeni momenta motora (kad se radi o mehaničkom prenosu) pomnoženih sa odgovarajućim prenosnim odnosima do vratila 1, dok moment:

$$M'_{kmax} = const \text{ za } t = t_2 \div (t_2 + \Delta t)$$

$$M'_{kmax} = const \text{ za } t > (t_2 + \Delta t) \quad (9)$$

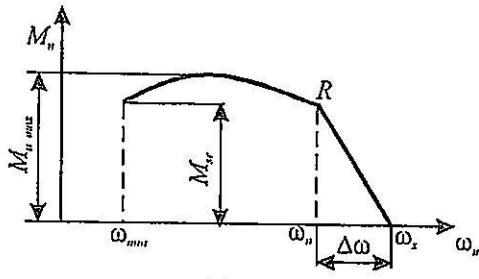
u drugom periodu više ne raste, a $M_{k-1} = c \cdot t$, pri nekoj vrednosti $t = t_{min} > t_2$ zbir $M_{usr} + M_{k-1}$ postaje veći od M_k pa će vratilo 1 početi da se ubrzava, što se vidi i iz jednačine (4), jer se na njega prenosi, preko proklizavajuće spojnice S_{k-1} , inerciono dejstvo masa.

Vreme početka trećeg perioda može da se odredi iz zavisnosti:

$$\omega_u = i_{k-1} \cdot \omega_i$$

i jednačina (4) i (5), pri čemu treba eliminisati sada nepoznati

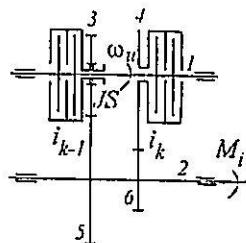
obrtni moment $M_{k,1}$ i prirast ugaone brzine $d\omega_i/dt$. Dobija se $\omega_u(t)$ i $\omega_i(t)$. U trećoj etapi opet postoji, kad se radi o mehaničkom prenosu, mogućnost gašenja motora (sl.4). Preklapanje prenosa snage završava se isključenjem spojnica S_k . Dalje nastaje ubrzavanje na prenosu $i_{k,1}$ do brzine ustaljenog kretanja. Rad trenja obe spojnica u prva dva perioda je manji nekoliko puta od rada trenja spojnica pri kretanju vozila. Na primeru traktora, rad trenja je pet do osam puta manji od rada trenja spojnica pri kretanju traktora s mesta pod punim opterećenjem [2].



Slika 4.

2.3 Kombinovana promena stepena prenosa

Ovo promena stepena prenosa predstavlja kombinaciju prethodna dva načina, a tehnički je izvodljivo ugradnjom jednosmerne spojnice na nižem prenosu $i_{k,1}$. (sl.5). Pri prekopčavanju sa nižeg na viši prenos ostvaruje se drugi način prekopčavanja, a pri prekopčavanju sa višeg na niži prvi način prekopčavanja.



Slika 5.

Ovde su zupčanik 3 i gonjene lamele spojnice $S_{k,1}$ vezani preko jednosmerne spojnice (JS). Promena stepena prenosa sa nižeg $i_{k,1}$ na viši i_k prenos identično je prvom periodu drugog načina, odnosno, do trenutka t_2 moment se prenosi preko oba prenosa. Specifičnost ovog načina je u tome, što jednosmerna spojница automatski ograničava vreme proklizavanja u zavisnosti od veličine momenta otpora M_{io} . U trenutku kada spojница, koja je u procesu uključivanja, počne da prenosi obrtni moment dovoljan da savlada moment otpora kretanju u datom trenutku (kada u drugom načinu počinje cirkulacija snage), tada jednosmerna spojница automatski isključuje prenos $i_{k,1}$, čime se izbegava cirkulacija snage pri $t > t_2$.

Obratno, promena stepena prenosa sa i_k na $i_{k,1}$, pri čemu se isključuje spojница S_k uz uključenu spojnicu $S_{k,1}$, dolazi do prekida prenosa snage jer je spojница $S_{k,1}$ isključena jednosmernom spojnicom. Dužina prekida se automatski reguliše, naime, čim ugaona brzina vratila 2 padne na vrednost koja odgovara prenosu $i_{k,1}$ počinje prenos snage preko $S_{k,1}$. Tako se, primenom jednosmerne spojnica, postiže pomenuta automatičnost, isključuje se cirkulacija snage i postiže optimalno vreme proklizavanja. Međutim,

jednosmerne spojnice nemaju dug vek, pa se ovaj metod najčešće primenjuje tako što se jednosmerna spojница ugrađi u najniži prenos i koristi se kratkotrajno za startovanje ili za savladavanje izuzetno velikih otpora. U svim ostalim slučajevima se radi na višem prenosu - radnom prenosu. Ovde je otežano obezbeđenje kočenja motorom. Teoretski, treći način je najefikasniji kada se radi o mehaničkom prenosu snage, jer je eliminisana mogućnost preopterećenja motora i njegovo gašenje. Međutim, kada se radi o hidromehaničkom prenosu snage preim秉stvo se može dati drugom načinu, jer obezbeđenje stabilnog i bezudarnog rada motora preuzima na sebe turbovarijator.

Kada se radi o automatskom menjaču, iako u njemu mogu postojati mehanički prenosi, kao u našem slučaju, problem zaštite motora od preopterećenja rešen je automatskim upravljanjem, pa je prednost kombinovanog načina po ovom osnovu anulirana.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršena teoretska analiza promene stepena prenosa u menjaču i to na tri načina:

- promena stepena prenosa sa kratkotrajnim prekidom snage;
- promena stepena prenosa bez prekida toka snage i
- kombinovana promena.

Primena lamelastih spojница i ponekad, u kombinaciji s njima, jednosmernih spojница, može da obezbedi promene stepeni prenosa (prekopčavanja) bez odvajanja motora od transmisije, tj. bez prekida toka snage u hodu vozila. Time se, zahvaljujući smanjenju vremena promene stepena prenosa i boljoj vući, povećava učinak vozila, smanjuju udari na motor i transmisiju, smanjuje rad trenja pri proklizavanju frikcionih površina, postiže lakše i udobnije upravljanje, bolje prilagodavanje režima vuće promeni otpora kretanju i dr.

LITERATURA

- /1/ Stojković S.: "Karakteristični parametri hidromehaničkog prenosnika TG - 160", magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd;
- /2/ Gorbovun B B.: "Gidromehaničeskie transmisii traktorov", Mašinostrojenie, 1966.
- /3/ Zeljerman I. M. i dr.: "Frikcione mufti i tormoza guseničnih mašin", Mašinostrojenie, Moskva, 1965.
- /4/ Šejker I.G. i dr.: "K voprosu obespečenija plavnogo vključenija frikcionih muft gidravličeskoj pjeredači" - Avtomobiljanaja promišljenost, № 1, 1966.
- /5/ Šušteršić V.: "Predlog optimalne koncepcije automatskog turboplanetarnog menjača za gradski i prigradski autobus" magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1995.