

Analiza parametara mehanizama za zaokret, odnosno sistema za upravljanje, brzohodnih guseničnih vozila

Dr Milorad Radetić, dipl.inž.¹⁾

Racionalno rešenje sistema upravljanja je jedan od najvažnijih zadataka koje treba rešiti pri projektovanju sistema prenosa snage borbenih guseničnih vozila. Kroz analizu bilansa snage pri zaokretu ukazano je na uticaj pojedinih parametara sistema upravljanja na upravljanje, kao i na ponašanje vozila pri zaokretu. Izvedeni su opšti izrazi za komponentne snage, koje čine bilans snage pri zaokretu, kod kojih su uzeti u obzir i stepeni korisnosti prenosa snage.

Ključne reči: Gusenično vozilo, prenosnici snage, sistem za upravljanje, zaokret, bilans snage.

Uvod

ZA razliku od vozila točkaša, kod kojih se zaokret vrši zakretanjem upravljačkih točkova, kod guseničnih vozila zaokret se ostvaruje tako što se preko odgovarajućeg mehanizma, odnosno sistema za upravljanje, obezbeđuju različite brzine premetavanja leve i desne gusenice.

Pri zaokretu se javljaju veći otpori kretanju, usled bočnog premeštanja gusenica, što zahteva znatno veću snagu pogonskog motora, u odnosu na pravolinijsko kretanje, u slučaju da vozilo nastavi da se u zaokretu kreće istom brzinom kao i pri pravolinijskom kretanju.

Manevarske karakteristike guseničnih vozila, koje su posebno značajne kada su u pitanju borbeno vozila, zavise od usvojene konstrukcije sistema za upravljanje. Zbog toga se u fazi projektovanja sistema za prenos snage, kao jedna od najvažnijih faza, javlja izbor racionalne kinematičke šeme sistema za upravljanje, kako bi se obezbedile zahtevane performanse vozila.

Treba naglasiti da manevarske karakteristike guseničnog vozila ne zavise samo od primenjenog sistema za upravljanje, već i od ostalih sklopova prenosa snage, tipa i karakteristika pogonskog motora. Na primer, kod guseničnog vozila, u koje je ugrađen sistem za prenos snage sa hidromehaničkim menjačem sa automatskom promenom stepena prenosa, menjač će automatski omogućiti smanjenje brzine kretanja i povećanje sile vuče na gusenicama, pri povećanju sile otpora pri zaokretu, kao i povećanje brzine kretanja pri smanjenju otpora na gusenicama.

Zbog velikog stepena elastičnosti gasne turbine, slično će se ponašati i vozilo u koje je ugrađena gasna turbina.

U slučaju kada gusenično vozilo ne poseduje dovoljnu rezervu snage pri pravolinijskom kretanju, ono se ne može kretati istom brzinom pri zaokretu kao pri pravolinijskom kretanju.

Povećanje otpora pri zaokretu dovodi do smanjenja brzine kretanja vozila. Kao granična brzina može se smatrati ona brzina kojom vozilo može da izađe iz zaokreta i nastavi da se kreće pravolinijski.

Sve ovo ukazuje da sistem za upravljanje, u sklopu sistema za prenos snage, treba da obezbedi visoke vučne i dobre manevarske karakteristike, podrazumevajući pod ovim lako upravljanje vozilom uz mogućnost ostvarivanja bilo kog poluprečnika zaokreta.

Ovim zahtevima najbolje odgovaraju sistemi za upravljanje koji, pri bilo kom uključenom stepenu prenosa u menjaču, obezbeđuju kontinualnu promenu poluprečnika zaokreta. Pri tome se brzina vozila smanjuje za onoliko koliko je neophodno da se ostvari siguran zaokret i lak izlazak iz njega.

Pored sigurnog zaokreta, sistem za upravljanje treba da obezbedi sigurno održavanje pravca pri pravolinijskom kretanju do ulaska u zaokret, kao i pri izlasku iz njega.

Na borbenim guseničnim vozilima u eksploataciji, mogu se sresti razni sistemi za upravljanje. Najjednostavniji sistemi obezbeđuju jedan do dva proračunska poluprečnika zaokreta, nezavisno od uključenog stepena prenosa. Savremenija rešenja obezbeđuju jedan ili više proračunskih poluprečnika zaokreta u svakom stepenu prenosa. U kategoriju najsavremenijih rešenja spadaju sistemi sa hidrauličkim komponentama, s obzirom da obezbeđuju kontinualnu promenu poluprečnika zaokreta, u svakom stepenu prenosa.

I pored niza prednosti koje pružaju transmisije sa hidrauličkim komponentama u odnosu na mehaničke, prisutne su i određene mane kao što su: relativno nizak stepen korisnosti, složenost konstrukcije, složeno održavanje, visoka cena itd., koje često iniciraju pitanje: kome dati prednost? Da li hidromehaničkim transmisijama, koje omogućuju kontinualnu promenu prenosnog odnosa i poluprečnika zaokreta, ili mehaničkim sa stepenastom promenom prenosnog odnosa i sa više poluprečnika zaokreta u svakom stepenu prenosa.

Osnovni parametri merodavni za ocenu sistema za upravljanje

Za opštu ocenu sistema za upravljanje mogu se uzeti sledeći parametri:

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

- broj i veličina proračunskih poluprečnika zaokreta, što definiše manevarske karakteristike vozila,
- kinematički parametar (q_k), koji karakteriše sigurnost praćenja određene putanje pri zaokretu i mogućnost izlaska iz njega, opterećenje pogonskog motora i održavanje pravca pri pravolinijskom kretanju,
- gubici snage usled trenja, koji karakterišu ekonomičnost primenjenog sistema za upravljanje i habanje frikcionih elemenata upravljajućih sklopova (spojnica i kočnica) i dr.

Da bi se bolje sagledao uticaj navedenih parametara, potrebno je razmotriti deo teorije zaokreta guseničnih vozila koji se odnosi na bilans snage pri zaokretu, kao jedan od najvažnijih pokazatelja za donošenje ocene o efikasnosti pojedinih sistema za upravljanje.

Posmatrače se vozilo koje vrši zaokret nezavisno od ugrađenog sistema za upravljanje. Pri zaokretu guseničnog vozila, sila na unutrašnjoj gusenici može biti:

- kočiona ($F_1 < 0$),
- jednaka nuli ($F_1 = 0$) ili
- sila vuče ($F_1 > 0$).

U realnim uslovima eksploatacije najčešće se javlja prvi slučaj i zato će taj slučaj kao najzastupljeniji i biti obrađen.

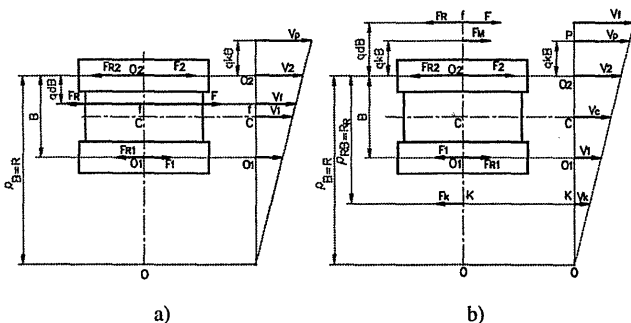
U analizi bilansa snage usvojeno je da se zaokret vrši jednolikim kretanjem, malim brzinama, što značajno pojednostavljuje izvođenje potrebnih izraza i olakšava upoređivanje pojedinih parametara.

U dostupnoj literaturi, koja tretira ovu problematiku, u opštim izrazima za bilans snage pri zaokretu vozila, koji važe za bilo koji sistem za upravljanje, nisu uzimani u obzir gubici pri prenosu snage od motora do gusenica, osim u slučajevima kada se analiziraju konkretna konstrukcijska rešenja sistema za upravljanje.

Zbog toga su u ovom radu izvedeni opšti izrazi za snage koje ulaze u bilans snage vozila pri zaokretu, sa uračunatim stepenima korisnosti, koji se mogu primeniti za bilo koji sistem za upravljanje.

Konstrukcija guseničnog kretača (hodnog uređaja) je takva da se dejstvo gusenica na podlogu može predstaviti samo silama koje deluju u pravcu uzdužne ose vozila [1]. Dejstvo podloge na naležuće površine gusenica, pri zaokretu, uslovno se može predstaviti sa dve uzdužne sile otpora.

Da bi se izvršio zaokret vozila, potrebno je na gusenica-ma obezbediti sile vuče F_1 i F_2 veće ili jednake po intenzitetu pretpostavljenim silama otpora i suprotnih smerova (sl.1).



Slika 1. Planovi sila i brzina pri zaokretu vozila: a- kada je $F_1 > 0$; b- kada je $F_1 < 0$

Na ovom mestu će se analizirati bilans snage pri zaokretu za slučaj kada sila na unutrašnjoj gusenici ima suprotan smer od smera kretanja vozila (sl.1b).

Ako se usvoji da su sile vuče na gusenica-ma jednake silama otpora, biće:

$$F_R = F; F_{R1} = F_1; F_{R2} = F_2$$

U tom slučaju izraz za snagu otpora zaokretu prema [5] glasi:

$$P_{OZ} = Fv_f = Fv_p \frac{\rho + q_d}{\rho + q_k} = \frac{\rho + q_d}{\rho + q_k} P_P \quad (1)$$

odnosno:

$$\frac{P_{OZ}}{P_P} = \frac{\rho + q_d}{\rho + q_k} \quad (1a)$$

v_f - je brzina napadne tačke sile F , koju bi imala pri zaokretu vozila. Iz plana brzina (sl.1b) se dobija:

$$v_f = v_p \frac{\rho + q_d}{\rho + q_k}$$

gde su:

- v_p - brzina pravolinijskog kretanja vozila, koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret,
- q_k - kinematički faktor. Ovaj faktor pomnožen sa širinom traga gusenica ($q_k B$) daje rastojanje zamišljene tačke od uzdužne ose spoljašnje gusenice, koja pri zaokretu zadržava brzinu pravolinijskog kretanja, koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret. Veličina ovog faktora definiše tip sistema za upravljanje. Za nesimetričan pogon $q_k = 0$, a za simetričan pogon (diferencijalni pogon) $q_k = -0.5$.

- B - širina traga gusenica,
- ρ - relativni poluprečnik zaokreta:

$$\rho = \frac{R}{B}$$

- R - poluprečnik kojim se vrši zaokret,
- q_d - dinamički faktor. Pomnožen sa širinom traga gusenica ($q_d B$) daje krak rezultante otpora zaokretu, odnosno rezultante sile vuče koje treba ostvariti na gusenica-ma, da bi se mogao izvršiti zaokret. Određuje se na osnovu Varinjonove teoreme, koja glasi da je moment rezultante jednak zbiru momenata komponentata:

$$F(q_d B + \frac{B}{2}) = (F_2 + F_1) \frac{B}{2}$$

Odavde sledi:

$$q_d = \frac{F_1}{F_2 - F_1} \quad (2)$$

F - rezultanta sile vuče na gusenica-ma, odnosno sile otpora pri pravolinijskom kretanju:

$$F = F_2 - F_1 = fG \quad (3)$$

F_2, F_1 - sile vuče na spoljašnjoj, odnosno na unutrašnjoj gusenici prema [2]:

$$F_2 = \frac{fG}{2} + \frac{\mu GL}{4B} \quad (4)$$

$$F_1 = -\frac{fG}{2} + \frac{\mu GL}{4B} \quad (5)$$

- f - koeficijent otpora kretanju,
- G - težina vozila,
- μ - koeficijent otpora zaokretu prema [3]:

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{0.85 + 0.15\rho}$$

- L – dužina naležuće površine gusenica,
 P_p – snaga potrebna za savlađivanje otpora pri pravolinijskom kretanju:

$$P_p = F v_p$$

- F_M – rezultanta sila vuče, koje obezbeđuje motor, i kočione sile F_K ,
 v_K – brzina kočionog elementa redukovana na gusenicu.

Ako se u izraz (1) unese vrednost za $q_k=0$, dobija se izraz za snagu potrebnu za savlađivanje spoljašnjih otpora za gusenično vozilo sa nesimetričnim pogonom:

$$P_{OZN} = \frac{\rho + q_d}{\rho} P_p \quad (6)$$

odnosno,

$$\frac{P_{OZN}}{P_p} = \frac{\rho + q_d}{\rho} \quad (6a)$$

Ako se unese $q_k = -0,5$, dobija se izraz za simetričan pogon:

$$P_{OZS} = \frac{\rho + q_d}{\rho - \frac{1}{2}} P_p \quad (7)$$

odnosno,

$$\frac{P_{OZN}}{P_p} = \frac{\rho + q_d}{\rho - \frac{1}{2}} \quad (7a)$$

Da bi vozilo moglo izvršiti zaokret, potrebno je da motor obezbedi snagu dovoljnu za ostvarivanje sila vuče na gusenicama, koje će biti jednake ili veće od otpora.

Polazeći od zakona za održanje energije:

$$M_{MZ} \omega_M \eta_T - M_2 \omega_2 + M_1 \omega_1 \eta_R = 0 \quad (8)$$

gde su:

M_2, M_1 – momenti na spoljašnjoj, odnosno unutrašnjoj gusenici:

$$M_2 = F_2 r_{pt}$$

$$M_1 = F_1 r_{pt}$$

- r_{pt} – poluprečnik pogonskog točka,
 ω_M – ugaona brzina kolenastog vratila motora,
 ω_1, ω_2 – ugaona brzina pogonskog točka unutrašnje, odnosno spoljašnje gusenice,
 η_T – stepen korisnosti prenosa snage od kolenastog vratila motora do spoljašnje gusenice, uključujući i stepen korisnosti gusenice,
 η_R – stepen korisnosti prenosa snage od unutrašnje do spoljašnje gusenice, uključujući stepen korisnosti obe gusenice,

određenim transformacijama i uvođenjem sledećih odnosa u izraz (4):

$$\omega_2 = \omega_p \frac{\rho_R}{\rho_R + q_k} \text{ odnosno } \frac{\omega_2}{\omega_p} = \frac{\rho_R}{\rho_R + q_k} = \frac{i_{T2}}{i_T}$$

$$\omega_1 = \omega_p \frac{\rho_R - 1}{\rho_R + q_k} \text{ odnosno } \frac{\omega_1}{\omega_p} = \frac{\rho_R - 1}{\rho_R + q_k} = \frac{i_{T1}}{i_T}$$

$$v_p = \frac{\omega_M}{i_T} r_{pt}$$

$$v_2 = \omega_2 r_{pt} = \frac{\omega_M}{i_{T2}} r_{pt}, v_1 = \omega_1 r_{pt} = \frac{\omega_M}{i_{T1}} r_{pt}$$

gde su:

- ω_p – ugaona brzina pogonskih točkova pri pravolinijskom kretanju,
 i_T – dinamički (energetski) prenosni odnos sistema prenosa snage od kolenastog vratila motora do pogonskih točkova, pri pravolinijskom kretanju,
 i_{T1} – dinamički (energetski) prenosni odnos od kolenastog vratila motora do pogonskog točka unutrašnje gusenice,
 i_{T2} – dinamički (energetski) prenosni odnos od kolenastog vratila motora do pogonskog točka spoljašnje gusenice,
 ρ_R – relativni proračunski poluprečnik zaokreta (ostvaruje se kada su upravljački frikcionni sklopovi potpuno uključeni, tako da se ne javlja proklizavanje frikcionih elemenata):

$$\rho_R = \frac{R_R}{B}$$

 R_R – proračunski poluprečnik zaokreta (potpuno uključeni frikcionni sklopovi).

dobijaju se sledeći izrazi za snagu koju motor treba da obezbedi da bi se izvršio zaokret:

$$P_{MZ} = \frac{(1 + q_d) \rho_R - q_d (\rho_R - 1) \eta_R}{(\rho_R + q_k) \eta_T} P_p \quad (9)$$

odnosno:

$$\frac{P_{MZ}}{P_p} = \frac{(1 + q_d) \rho_R - q_d (\rho_R - 1) \eta_R}{(\rho_R + q_k) \eta_T} \quad (9a)$$

Ako se u izraz (9) uvrsti: $q_k = 0$ - za nesimetričan pogon, dobija se:

$$P_{MZN} = \frac{(1 + q_d) \rho_R - q_d (\rho_R - 1) \eta_R}{\rho_R \eta_T} P_p \quad (10)$$

odnosno,

$$\frac{P_{MZN}}{P_p} = \frac{(1 + q_d) \rho_R - q_d (\rho_R - 1) \eta_R}{\rho_R \eta_T} \quad (10a)$$

$q_k = -0,5$ - za simetričan pogon dobija se:

$$P_{MZS} = \frac{(1 + q_d) \rho_R - q_d (\rho_R - 1) \eta_R}{(\rho_R - \frac{1}{2}) \eta_T} P_p \quad (11)$$

odnosno,

$$\frac{P_{MZS}}{P_p} = \frac{(1 + q_d) \rho_R - q_d (\rho_R - 1) \eta_R}{(\rho_R - \frac{1}{2}) \eta_T} \quad (11a)$$

Kočiona snaga, potrebna da se izvrši zaokret, određuje se kao razlika snaga koje motor treba da obezbedi kada vozilo ima ugrađen realan sistem za upravljanje i kada bi bio ugrađen idealan sistem za upravljanje, tj. sistem koji u svakom trenutku obezbeđuje proračunski poluprečnik zaokreta:

$$P_K = P_{MZ} - P_{MZi} \quad (12)$$

gde je:

P_{MZi} – potrebna snaga za zaokret sa idealnim mehanizmom. Izraz za ovu snagu dobiće se ako se u izraz za P_{MZ} , umesto relativnog proračunskog poluprečnika zaokreta, stavi realni relativni poluprečnik zaokreta:

$$P_{MZi} = \frac{(1 + q_d) \rho - q_d (\rho - 1) \eta_R}{(\rho + q_k) \eta_T} P_p$$

Zamenom izraza za P_{MZ} i P_{MZi} u izrazu (12) i određenim transformacijama, dobija se konačan izraz za kočionu snagu:

$$P_K = \frac{(\rho - \rho_R)[(q_k + 1)q_d\eta_R - q_k(1 + q_d)] P_P}{(\rho_R + q_k)(\rho q + q_k) \eta_T} \quad (13)$$

Za $q_k = 0$ dobija se izraz za nesimetričan pogon:

$$P_{KN} = \frac{(\rho - \rho_R)q_d\eta_R P_P}{\rho\rho_R \eta_T} \quad (14)$$

odnosno,

$$\frac{P_{KN}}{P_P} = \frac{(\rho - \rho_R)q_d\eta_R}{\rho\rho_R\eta_T} \quad (14a)$$

Za $q_k = -0,5$ dobija se izraz za simetričan pogon:

$$P_{KS} = \frac{\frac{1}{2}(\rho - \rho_R)[q_d\eta_R + (1 + q_d)] P_P}{(\rho - \frac{1}{2})(\rho_R - \frac{1}{2}) \eta_T} \quad (15)$$

odnosno:

$$\frac{P_{KS}}{P_P} = \frac{\frac{1}{2}(\rho - \rho_R)[q_d\eta_R + (1 + q_d)]}{(\rho - \frac{1}{2})(\rho_R - \frac{1}{2})\eta_T} \quad (15a)$$

Veliki uticaj na ukupni bilans snage pri zaokretu ima svojstvo pojedinih sistema za upravljanje, koji svojom kinematikom omogućuju da se pri određenim uslovima (sila vuče na unutrašnjoj gusenici deluje suprotno kretanju vozila) snaga od podloge, kao rezultat reakcije podloge preko unutrašnje gusenice, i elemenata sistema za upravljanje i prenos snage prenosi na spoljašnju gusenicu. Ova pojava je poznatija pod nazivom rekuperacija snage. Snaga rekuperacije (P_R) određuje se prema sledećem izrazu:

$$P_R = \frac{P_2}{\eta_{T2}} - P_1\eta_R \quad (16)$$

gde su:

P_2 – snaga koja se od pogonskog motora prenosi na spoljašnju gusenicu:

$$P_2 = F_2 v_2 = \frac{(1 + q_d)\rho P_P}{(\rho + q_k) \eta_T}$$

η_{T2} – stepen korisnosti prenosa snage od motora do spoljašnje gusenice uzimajući u obzir i stepen korisnosti gusenice,

P_1 – snaga koja se od unutrašnje prenosi na spoljašnju gusenicu:

$$P_1 = F_1 v_1 = \frac{(1 + q_d)\rho_R - q_d(\rho_R - 1)\eta_R P_P}{(\rho_R + q_k) \eta_T}$$

Zamenom izraza za P_1 i P_2 u izraz za P_R i određenim transformacijama, dobija se konačan izraz za snagu rekuperacije:

$$P_R = \frac{q_k[(q_d + 1)(\rho - \rho_R) + q_d(\rho_R - 1)\eta_R] + q_d\rho(\rho_R - 1)\eta_R P_P}{(\rho - q_k)(\rho_R - q_k) \eta_T} \quad (17)$$

odnosno,

$$\frac{P_R}{P_P} = \frac{q_k[(q_d + 1)(\rho - \rho_R) + q_d(\rho_R - 1)\eta_R] + q_d\rho(\rho_R - 1)\eta_R}{(\rho - q_k)(\rho_R - q_k)\eta_T} \quad (17a)$$

Za $q_k = 0$ dobija se izraz za nesimetričan pogon:

$$P_{RN} = \frac{q_d(\rho_R - 1)\eta_R P_P}{\rho_R \eta_T} \quad (18)$$

odnosno,

$$\frac{P_{RN}}{P_P} = \frac{q_d(\rho_R - 1)\eta_R}{\rho_R\eta_T} \quad (18a)$$

Za $q_k = -0,5$ dobija se izraz za simetričan pogon:

$$P_{RS} = \frac{q_d(\rho_R - 1)(\rho - \frac{1}{2})\eta_R - \frac{1}{2}(q_d + 1)(\rho - \rho_R) P_P}{(\rho + \frac{1}{2})(\rho_R + \frac{1}{2}) \eta_T} \quad (19)$$

odnosno,

$$\frac{P_{RS}}{P_P} = \frac{q_d(\rho_R - 1)(\rho - \frac{1}{2})\eta_R - \frac{1}{2}(q_d + 1)(\rho - \rho_R)}{(\rho + \frac{1}{2})(\rho_R + \frac{1}{2})\eta_T} \quad (19a)$$

Ako se u izraze (9-11, 13-15, 17-19) uvrste izrazi za q_d , q_k , ρ , ρ_R i P_P , dobijaju se izrazi za P_{OZ} , P_{MZ} , P_K i P_R u funkciji od sila vuče (F_1 , F_2) i brzine (v_p) kojom vozilo ulazi u zaokret (tabela 1).

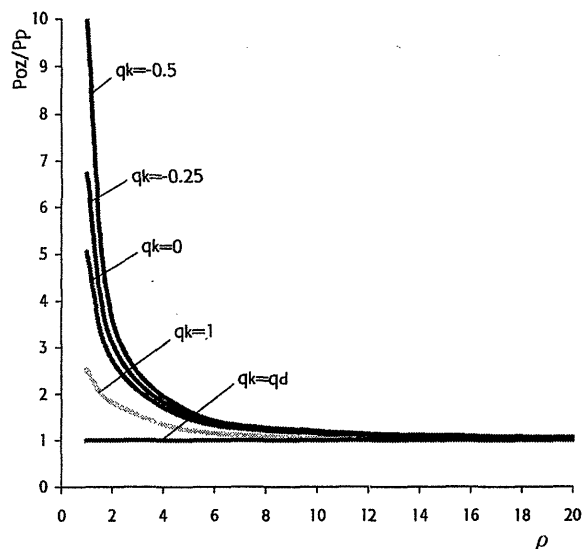
Tabela 1

Snaga	$F_1 < 0$
P_{OZ}	$\frac{RF_2 - F_1(R - B)}{R + q_k B} v_p$
P_{OZN}	$\frac{RF_2 - F_1(R - B)}{R} v_p$
P_{OZS}	$\frac{RF_2 - F_1(R - B)}{R - \frac{B}{2}} v_p$
P_{MZ}	$\frac{F_2 R_R - F_1(R_R - B)\eta_R}{(R_R + q_k B) \eta_T} v_p$
P_{MZN}	$\frac{F_2 R_R - F_1(R_R - B)\eta_R}{R_R \eta_T} v_p$
P_{MZS}	$\frac{F_2 R_R - F_1(R_R - B)\eta_R}{(R_R - \frac{B}{2}) \eta_T} v_p$
P_K	$\frac{(R - R_R)(q_k + 1)BF_1\eta_R - (R - R_R)q_k BF_2}{(R + Bq_k)(R_R + Bq_k) \eta_T} v_p$
P_{KN}	$\frac{F_1(R - R_R)B\eta_R}{R_R R \eta_T} v_p$
P_{KS}	$\frac{(R - R_R)(F_1\eta_R + F_2) \frac{B}{2}}{(R_R - \frac{B}{2})(R - \frac{B}{2}) \eta_T} v_p$
P_R	$\frac{q_k F_2(R - R_R) + F_1\eta_R[q_k(R_R - B) + R(R_R - B)]}{(R + q_k B)(R_R + q_k B) \eta_T} v_p$
P_{RN}	$\frac{(R - B)F_1\eta_R}{R_R \eta_T} v_p$
P_{RS}	$\frac{F_1\eta_R(R - \frac{B}{2})(R_R - B) - F_2 \frac{B}{2}(R - R_R)}{(R - \frac{B}{2})(R_R - \frac{B}{2}) \eta_T} v_p$

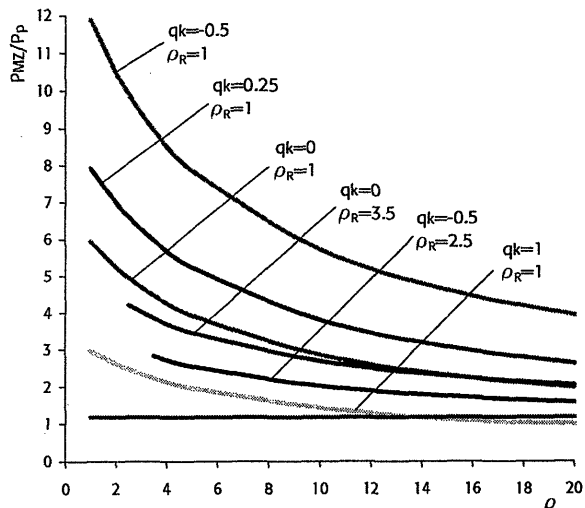
Izvedeni izrazi omogućuju da se izvrši analiza uticaja kinematičkih (q_k , ρ_R) i eksploatacionih (q_d , ρ) parametara sistema za upravljanje na komponente snage, koje čine bilans snage pri zaokretu.

Na osnovu izraza (1a, 9a, 13a i 17a) urađeni su dijagrami, koji prikazuju zavisnost relativnih snaga P_{OZ}/P_P (sl.2),

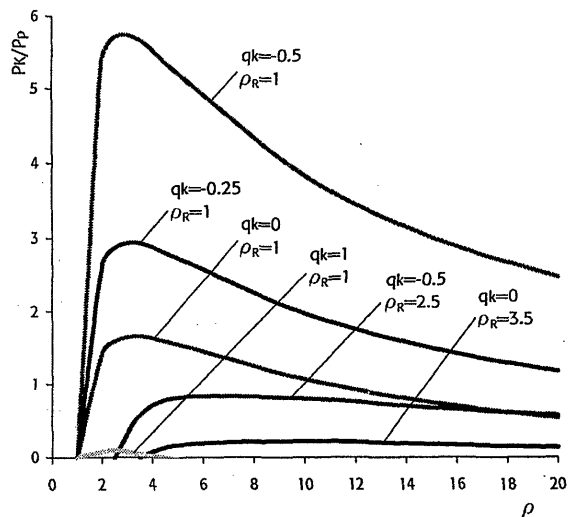
P_{MZ}/P_P (sl.3), P_K/P_P (sl.4) i P_R/P_P (sl.5) u funkciji relativnog poluprečnika zaokreta. Pri izradi dijagrama usvojene su sledeće vrednosti pojedinih parametara: $f=0,07$, $\mu_{\max}=0,85$, $L/B=1,5$, $\eta_T=0,85$ i $\eta_R=0,7$.



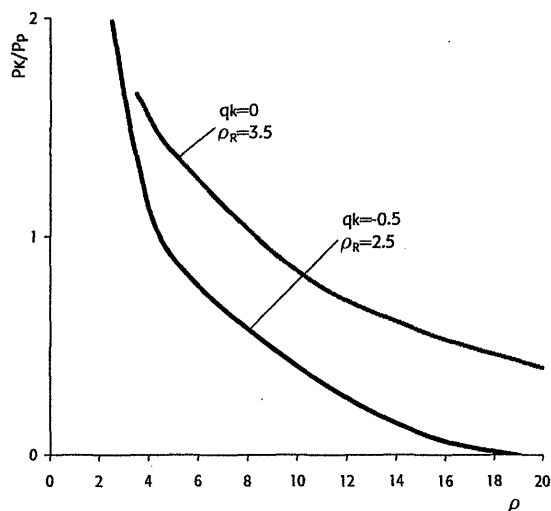
Slika 2. Zavisnost P_{OZ}/P_P od relativnog poluprečnika zaokreta ρ



Slika 3. Zavisnost P_{MZ}/P_P od relativnog poluprečnika zaokreta ρ



Slika 4. Zavisnost P_K/P_P od relativnog poluprečnika zaokreta ρ



Slika 5. Zavisnost P_R/P_P od relativnog poluprečnika zaokreta ρ

Zavisno od kinematičkog faktora q_k , svi sistemi za upravljanje mogu se podeliti u tri grupe:

- sistemi za upravljanje kod kojih brzinu pravolinijskog kretanja, koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret, zadržava zamišljena tačka koja se nalazi van vozila ($q_k > 0$),
- sistemi za upravljanje kod kojih brzinu pravolinijskog kretanja, koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret, zadržava tačka koja se nalazi na uzdužnoj osi spoljašnje gusenice ($q_k = 0$),
- sistemi za upravljanje, kod kojih brzinu pravolinijskog kretanja, koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret, zadržava tačka koja se nalazi na uzdužnoj osi vozila ili između uzdužne ose i ose spoljašnje gusenice ($q_k < 0$).

Kod sistema za upravljanje prve grupe - pri zaokretu se smanjuju brzina spoljašnje i unutrašnje gusenice, kod druge grupe - brzina spoljašnje gusenice se ne menja, a smanjuju se brzina unutrašnje gusenice i brzina središta vozila, kod vozila treće grupe - brzina spoljašnje gusenice se povećava, dok se za istu vrednost smanjuje brzina unutrašnje gusenice, a brzina središta vozila ostaje jednaka brzini koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret.

Kod vozila prve grupe dolazi do smanjenja brzine središta vozila, što ugrožava njegovu dinamiku. Zbog toga izlazak iz zaokreta može biti otežan, ako dođe do zaustavljanja ili zagušenja motora, posebno ako je q_k veliko.

Pri $q_k = 0$, dolazi takođe do smanjenja brzine središta vozila, ali samo do određene vrednosti u odnosu na brzinu pri pravolinijskom kretanju.

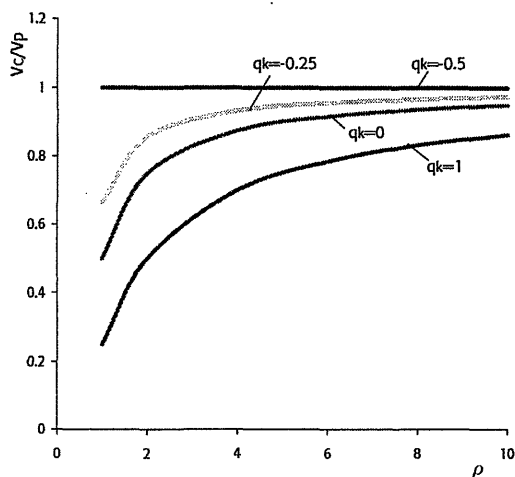
Iz plana brzina (sl.b), na osnovu sličnosti trouglova, dobija se izraz koji daje zavisnost odnosa v_C/v_P od ρ i q_k :

$$\frac{v_C}{v_P} = \frac{\rho - \frac{1}{2}}{\rho + q_k} \quad (20)$$

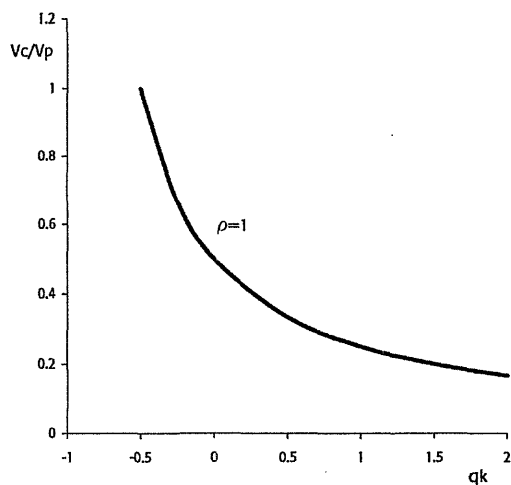
Koristeći izraz (20), urađeni su dijagrami prikazani na sl.6 i 7.

Sa dijagrama sl.6 se vidi da se povećanjem q_k i smanjenjem ρ , smanjuje brzina središta vozila. Minimalna vrednost brzine središta vozila se postiže pri $\rho = 1$. Porastom q_k pri $\rho = 1$ smanjuje se brzina središta vozila (sl.7).

Sa dijagrama sl.7 se vidi da vozilo ostvaruje najveću brzinu središta vozila pri $q_k = -0,5$, a najmanju pri $q_k = 1$.



Slika 6. Zavisnost relativne brzine središta vozila u funkciji relativnog poluprečnika zaokreta ρ , pri $q_k = \text{const.}$



Slika 7. Zavisnost relativne brzine središta vozila u funkciji od kinematičkog faktora q_k , pri $\rho = 1$

Analizirajući izraze (1a, 9a i 13a) može se zaključiti da se povećanjem q_k smanjuje snaga potrebna za savlađivanje spoljašnjih otpora zaokretu, snaga motora potrebna za zaokret i kočiona snaga.

Parametar q_k utiče i na veličinu snage rekuperacije, tako što se povećanjem q_k povećava snaga rekuperacije, a što se vidi sa dijagrama (sl.5).

Kinematički parametar q_k karakteriše i moment zaokreta, koji ostvaruje pogonski motor, jer je $M_{MZ} = F(q_d B + B/2)$, dok dinamički faktor q_d karakteriše moment otpora zaokretu $M_{OZ} = F(q_d B + B/2)$ [4].

Kada je $q_d \neq q_k$, vozilo vrši zaokret promenljivom ugaonom brzinom, a ako je $F \neq F_M$ (sl.1b), vozilo se kreće promenljivom obimnom brzinom po trajektoriji krivine.

Sa dijagrama sl.2 se vidi da relativna snaga spoljašnjih otpora zaokretu raste sa smanjenjem poluprečnika krivine, što se objašnjava povećanjem deformacije podloge, a samim tim i povećanjem koeficijenta otpora zaokretu, dok se povećanjem q_d povećava snaga spoljašnjih otpora.

Veličina snage pogonskog motora za zaokret direktno je zavisna od snage spoljašnjih otpora zaokretu. Kao što se iz izraza (1a) vidi, snaga spoljašnjih otpora zavisi od q_k , q_d i ρ a ne zavisi od ρ_R , dok ρ_R ima veliki uticaj na snagu koju motor treba da obezbedi za zaokret, što se vidi iz izraza (9a) i dijagrama (sl.3). Smanjenjem ρ_R povećava se potrebna snaga pogonskog motora za zaokret. Pri neizmenjenoj uga-

onoj brzini kolenastog vratila, pri istom prenosnom odnosu u transmisiji za različite sisteme za upravljanje, najveća snaga motora za zaokret će biti pri $q_k = -0,5$ i $\rho_R = 1$. Smanjenjem q_k pri $\rho_R = \text{const.}$ povećava se vrednost snage pogonskog motora potrebna za zaokret, dok se povećanjem ρ_R pri $q_k = \text{const.}$ ova snaga smanjuje (sl.3).

Relativni proračunski poluprečnik zaokreta (ρ_R) takođe utiče na kočionu snagu. Pri $q_k = \text{const.}$ povećanjem ρ_R smanjuje se kočiona snaga (sl.4), kao i povećanjem relativnog poluprečnika (ρ), kojim se vrši zaokret.

Parametri q_d , q_k , ρ_R i ρ utiču i na snagu rekuperacije. Povećanjem ρ , smanjuje se snaga rekuperacije, dok se smanjenjem ρ_R i povećanjem q_k povećava.

Zaključak

Na osnovu izvršenih istraživanja, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- osnovni zadatak pri izboru sistema za upravljanje je da se odabere takav sistem koji će obezbediti visoke vučne karakteristike vozila pri zaokretu, odgovarajući poluprečnik zaokreta i sigurno održavanje pravca pri pravolinijskom kretanju, posebno pri kretanju maksimalnim brzinama,
- visoke vučne karakteristike i lako upravljanje vozilom kako pri pravolinijskom kretanju tako i pri zaokretu mogu obezbediti transmisije sa kontinualnom promenom prenosnog odnosa sa automatskom promenom i sistemom za upravljanje koji nije automatski, a obezbeđuje kontinualnu promenu poluprečnika zaokreta. Kod ovih transmisija sistem za upravljanje treba da bude diferencijalnog tipa (simetričan pogon), jer u tom slučaju vozilo zadržava brzinu središta jednaku brzini koju je vozilo imalo pre ulaska u zaokret, tako da kinetička energija vozila može da se racionalno iskoristi pri povećanju otpora pri zaokretu, usled smanjenja poluprečnika. Kada bi bio ugrađen sistem za upravljanje sa nesimetričnim pogonom, moglo bi pri povećanju otpora zaokretu, ukoliko vozilo nema dovoljnu rezervu snage, da dođe do tolikog smanjenja brzine središta vozila, da nastane problem pri izlasku iz zaokreta,
- ako se zaokret vrši poluprečnikom većim od proračunskog ($R > R_R$), zbog proklizavanja upravljajućih elemenata dolazi do nesigurnog zaokreta, do gubitka snage, povećanog zagrevanja i habanja frikcionih elemenata. Zbog toga sistemi za upravljanje, u slučaju da ne obezbeđuju kontinualnu promenu poluprečnika zaokreta, treba da obezbede u svakom stepenu prenosa po više poluprečnika zaokreta, čija vrednost treba da se odredi u funkciji uslova eksploatacije i namene vozila,
- transmisije sa sistemom za upravljanje diferencijalnog tipa (simetričan pogon) treba ugrađivati u vozila koja poseduju veliku specifičnu snagu, odnosno veliku rezervu snage, kako bi se ostvarile veće prosečne brzine kretanja, dok transmisije sa sistemom za upravljanje sa nesimetričnim pogonom treba ugrađivati u vozila sa manjom specifičnom snagom,
- osnovni parametri q_k , q_d , ρ i ρ_R imaju vrlo veliki uticaj na veličinu snage otpora zaokretu, snage pogonskog motora za zaokret, kočionu snagu i snagu rekuperacije,
- mada postoje kinematičke mogućnosti da se realizuju sistemi za upravljanje sa različitim vrednostima q_k , za sada se, uglavnom, realizuju sistemi za upravljanje sa simetričnim pogonom ($q_k = -0,5$) i sa nesimetričnim pogonom

($q_k=0$), jer za realizaciju ostalih sistema postoje određeni konstrukcioni i eksploatacioni problemi.

Literatura

- [1] KRASNENKOV, V.I.A., VAŠEĆ, D. *Proektirovanie planetarnih mehanizmov transportnih mašin*. Mašinostroenie, Moskva, 1986.
- [2] ZABAVNIKOV, N.A. *Osnovi teorij transportnih guseničnih mašin*. Mašinostroenie, Moskva, 1975.
- [3] ANTONOV, A.S. *Silovje predači kolesnih i guseničnih mašin*. Mašinostroenie, Lenjingrad, 1967.
- [4] PETROV, A.V. *Planetarnje i gidromehaničeskie predači kolesnih i guseničnih mašin*. Mašinostroenie, Moskva, 1966.
- [5] NOSOV, N.A. *Rasčet i konstruirovanje guseničnih mašin*. Mašinostroenie, Lenjingrad, 1972.

Rad primljen: 9.12.1999.god.