

# Karakteristike dvoosoviničnih gusenica i specifičnosti proračuna njihovih osovinica

Rade Stevanović, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Analizirane su karakteristike dvoosoviničnih (spojenih) gusenica sa gumeno-metalnim zglobovima. Prikazan je proračun osovinice dvoosoviničnih gusenica, korišćenjem metode proračuna grede na elastičnoj podlozi. Određene su elastične linije i dijagrami momenata u osovinici, i uticaj broja spona na prečnik osovinice. Analizirano je nekoliko modela elastičnih zglobova gusenice.

*Ključne reči:* Tenk, gusenica, osovina, zglob, proračun.

## Korišćene oznake i simboli

$B$	– širina gusenice (mm);
$d$	– prečnik osovinice (mm);
$E$	– modul elastičnosti materijala osovinice (N/mm <sup>2</sup> );
$F_v$	– opterećenje gusenice (N);
$J$	– moment inercije osovinice (mm <sup>4</sup> );
$l$	– raspon grede (mm);
$l_k$	– širina krajnjih spona (mm);
$l_s$	– širina srednje spone (mm);
$m_\varepsilon$	– masa članka (kg);
$M(x)$	– napadni moment savijanja (Nm);
$Q(x)$	– transverzalna sila (N);
$t$	– korak gusenice (mm);
$w(x)$	– ugib grede (mm);
$\alpha$	– koeficijent proporcionalnosti gumenog oslonca (N/mm <sup>2</sup> );
$\theta(x)$	– nagib grede;
$\zeta$	– bezbedimenziona apscisa.

## Uvod

**G**USENIČNI lanac, za koji se uobičajeno koristi termin gusenica, ima funkciju da prenese vučnu silu sa pogonskog točka na tlo i da uz obezbeđenje kontinualnog kontakta preko oslonih točkova omogući kretanje guseničnog vozila po različitim terenima. Gusenica je izložena velikim zatežućim silama i značajnim udarnim opterećenjima, što se posebno uzima u obzir pri dimenzionisanju, pa joj masa dostiže i do 10 % od ukupne mase vozila.

Na borbeno vozila proizvedena posle Drugog svetskog rata, ugrađivana su tri tipa gusenica, i to:

- jednoosovinične ili šarnirne gusenice sa otvorenim zglobovima,
- jednoosovinične ili šarnirne gusenice sa gumeno-metalnim zglobovima i
- dvoosovinične ili spojene gusenice.

Jednoosovinične gusenice spajaju se jednom

zajedničkom osovinicom, što znači da u gusenici ima isti broj osovinica i članaka. Kod dvoosoviničnih gusenica, svaki članak ima dve osovinice koje se spajaju sponama. Dvoosovinične gusenice izrađuju se isključivo sa gumeno-metalnim zglobovima. Na savremena borbeno vozila ugrađuju se najčešće dvoosovinične gusenice, što je naročito izraženo kod vozila veće mase.

Masa dvoosoviničnih gusenica veća je nego kod jednoosoviničnih, a na nju presudno utiče prečnik osovinice. Proračun osovinice sa usvojenim konstantnim kontinualnim opterećenjem daje vrednosti napona znatno iznad stvarnih. Zbog toga je, radi analize opterećenja osovinice, primenjena metoda proračuna grede na elastičnoj podlozi, koja uzima u obzir uticaj ugiba osovinice na karakter kontinualnog opterećenja.

Za spajanje dvoosoviničnih gusenica koriste se dve ili tri spona, a samo na jednom prototipu gusenice primenjene su četiri spona. U radu se analizira uticaj promena broja spona na prečnik osovinice.

## Razvoj dvoosoviničnih gusenica

Dvoosovinične gusenice su konstrukciono izvedene tako da su članci gusenica, u čije otvore su utisnute dve gumirane osovinice spojeni kratkim čeličnim sponama, a njihov položaj fiksiran u odnosu na ugaona i aksijalna pomeranja.

Dvoosovinične, spojene gusenice, razvijene su 1932. godine. Vrlo brzo su zamenile čelične tenkovske gusenice sa otvorenim zglobovima na skoro svim borbenim vozilima američke proizvodnje, zbog znatno boljih svojstava gumeno-metalnog zgloba sa kojima se ovaj tip gusenica isključivo izvodi.

Gumeno-metalni zglobovi imaju sledeće prednosti:

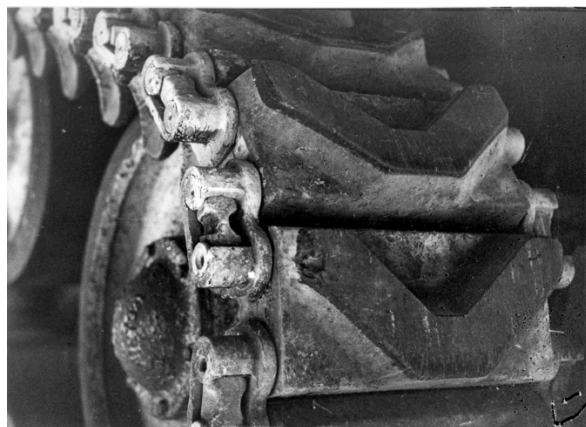
- malu masu i jednostavnu konstrukciju,
- povoljan odnos akumulirane energije i mase, zahvaljujući maloj gustini i velikoj relativnoj deformaciji gume,

<sup>1)</sup> Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

- nema trenja i habanja metalnih površina jer se zakretanje vrši na račun ugaone deformacije sabijenih gumenih prstenova,
- visoku nosivost pri periodičnim deformacijama koje dostižu  $10^6$ - $10^7$  ciklusa,
- bešuman rad jer nema kontakta metalnih površina,
- gumeno-metalni zglob istovremeno vrši funkciju ležišta i zaptivača, a podmazivanje je nepotrebno,
- snižava se dinamičko opterećenje, prigušenjem u gumenim čaurama,
- vek zgloba je mnogostruko veći u uslovima rada u agresivnoj sredini, jer je sprečen prodor abraziva, vode i blata i
- isključeno je naglo razaranje zgloba, jer i pri oštećenju spoja gume i metala, ili pojave razaranja gumene čaure, zglob neko vreme radi posredstvom trenja u njemu, čime je povećana njegova pouzdanost.

Prednost dvoosoviničnih gusenica u odnosu na jednoosovinične gusenice sa gumeno-metalnim zglobom je u većem radnom veku, zbog manjeg specifičnog pritiska u zglobu.

Prve konstrukcije dvoosoviničnih gusenica imale su jednodavno gumeno telo članka sa čeličnom armaturom, koja se sastojala od dve spone tela članka spojenih sa dve cevi tvrdim lemljenjem. Armatura je zalivena gumom sa uočljivim masivnim strelastim grebenom za zahvatanje tla. U cevi su utisnute gumirane osovinice, čiji su slobodni krajevi spojeni sa dve spone koje su otkovane izjedna sa grebenima za vođenje. Najistaknutiji primeri su gusenice tipa T48 (sl.1), koje su za vreme Drugog svetskog rata ugrađivane na tenk *SHERMAN*, kao i gusenice tipa T16 koje su ugrađivane na laki tenk *STEWART*, i druga borbena gusenična vozila. Karakteristike ovih gusenica su date u tabeli 1.



Slika 1. Dvoosovinična gumena gusenica sa dve spone, tipa T48

Tabela 1. Karakteristike dvoosoviničnih gumenih gusenica sa dve spone

Tip vozila	M5A1 STEWART	M4A3 SHERMAN
Tip gusenice	T16	T48
Širina gusenice $B$ (mm)	259.3	420.7
Korak gusenice $t$ (mm)	139.7	152.4
Masa članka $m_c$ (kg)	9.75	18.6
Prečnik osovinice $d$ (mm)	25.4	31.75
Masa jedinice dužine $m_c/t$ (kg/m)	69.8	122
Specifična masa $m_c/(t \cdot B^{1.5})$	435	447

Specifična masa, koja je prikazana u poslednjoj vrsti tabele 1, data je da bi se uporedile gusenice različite širine. Ako se pretpostavi da je visina članka proporcionalna širini, pa se jedinična masa deli sa kvadratom širine [1], visina gusenica lakih borbenih vozila bi bila dva puta manja u odnosu na neke tenkovske gusenice, što najčešće nije slučaj. Logično je i da masa podeljena sa dužinom i širinom kod gusenica teških borbenih vozila bude veća nego kod lakih borbenih vozila. Kriterijum za poređenje karakteristika mase, usvojen kao kompromis je;

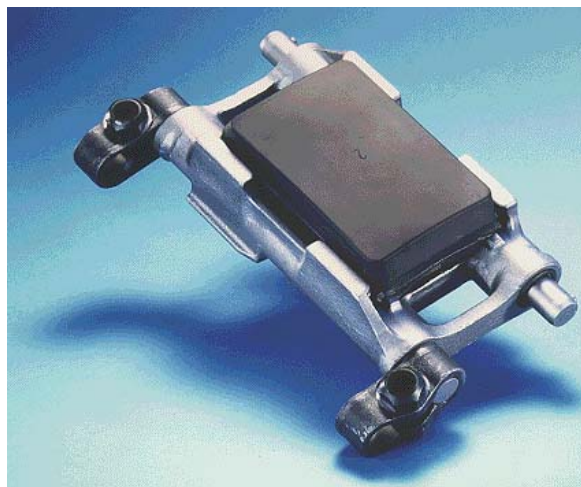
$$m_c/(t \cdot B^{1.5})$$

i nazvan je specifičnom masom.

Potom su osvojene i čelične varijante ovih tipova gusenica (T36 i T49) kod kojih su spone tela članka otkovane izjedna sa spoljašnjom gaznom pločom, na kojoj je bio masivni strelasti greben za zahvatanje tla. Kroz taj otkovak, provuku se i tvrdo zaleme cevi, a zatim se gumom formira unutrašnja gazna površina. Ove gusenice su bile namenjene za ratne uslove.

Danas se gusenice sa dve spone ugrađuju na laka borbena vozila, paralelno sa jednoosoviničnim gusenicama sa gumeno-metalnim zglobom. Članci se, najčešće, izrađuju od čeličnog liva izjedna sa grebenima za vođenje, mada ima i kovanih varijanti sa zavarenim grebenima za vođenje.

Na sl.2 prikazan je članak najsavremenije dvoosovinične gusenice sa dve spone i gumenim papučama, tipa DIEHL 513.



Slika 2. Članak gusenice DIEHL 513

Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica date su u tabeli 2.

Tabela 2. Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica sa 2 spone

Tip vozila	M5A1 STEWART	M4A3 SHERMAN	BMP 1	BVP M80
Tip gusenice	T36E6	T49		
Širina gusenice $B$ (mm)	295.3	420.7	300	310
Korak gusenice $t$ (mm)	139.7	152.4	138	134
Masa članka $m_c$ (kg)	12.47	21.55	7.46	7.7
Prečnik osovinice $d$ (mm)	25.4	31.75	25	25
Masa jedinice dužine $m_c/t$ (kg/m)	89.3	141.4	54.1	57.5
Specifična masa $m_c/(t \cdot B^{1.5})$	556	518	329	333

Kontinuirano povećanje mase borbenih vozila praćeno zahtevom da se održi relativno nizak specifični pritisak

gusenica na tlo, bilo je razlog uvođenja dvoosovinične gusenice sa dvodelnim člankom već kod prvih tenkova razvijenih posle Drugog svetskog rata. Uvođenje pored krajnjih spona i centralne, rasteretilo je osovinicu u odnosu na vučne sile, ali je sredina članka postala kritična u odnosu na vertikalna opterećenja koja nastaju kada je članak gusenice oslonjen krajevima. Osim toga, kod većine tipova gusenica kritična je i srednja spona, jer je povezivanje gornjeg dela, koji je ujedno i greben za vođenje, i donjeg dela izvedeno samo jednim vijkom sa navrtkom, usled čega se u donjem delu stvara složeno naprezanje sa pretežnim uticajem savijanja, a mogućnost zadovoljavajućeg dimenzionisanja je ograničena jer bi to dovelo do povećanja visine i mase gusenice. I pored ovih nedostataka, ovaj tip gusenice je našao široku primenu, a ugrađuje se i na neka najsavremenija borbena vozila (*LECLERC*, *T80* i *BMP3*).

Na sl.3 je prikazan članak gumene gusenice tenka starije generacije *M47 PATON*. Sa jednog tela članka uklonjena je guma pa se mogu uočiti spona tela članka i cevi koje čine armaturu.



Slika 3. Članak gusenice tipa T84E1 tenka *M47 PATON*

Telo članka starijih tipova američkih dvoosoviničnih gumenih gusenica sa dvodelnim člancima, rađeno je po istoj tehnologiji kao i gusenica tipa T-48. Centralni greben za vođenje sa centralnom sponom lakši je za izradu i veće je čvrstoće nego dva grebena sa krajnjom sponom, ali ostaje kao nedostatak što se aksijalno opterećenje sa grebena na članak ne prenosi direktno, već preko osovinice. U ovu grupu svrstana je i čelična gusenica sa integralnim gumenim papučama tenka *M1 ABRAMS*, koja je imala mali vek, kao i gumene gusenice, pa je zamenjena.

Karakteristike dvoosoviničnih gumenih gusenica sa dvodelnim člankom, su date u tabeli 3.

Tabela 3. Karakteristike dvoosoviničnih gumenih gusenica sa dvodelnim člancima

Tip vozila	<i>M47 PATON</i>	<i>M48</i>	<i>LEOPARD 1</i>	<i>M1 ABRAMS</i>
Tip gusenice	T84E1	T97E2	DIEHL 139E2	T156
Širina gusenice $B$ (mm)	594.2	711.2	550	635
Korak gusenice $t$ (mm)	152.4	176.2		193.7
Masa članka $m_c$ (kg)	22.95	26.72		26.3
Prečnik osovinice $d$ (mm)	31.75	31.75		35
Masa jedinice dužine $m_c/t$ (kg/m)	150.6	151.6	123	135.8
Specifična masa $m_c/(t \cdot B^{1.5})$	337	253	302	268

Dvoosovinične čelične gusenice sa dvodelnim člancima imaju duži vek ali i veću masu nego gumene gusenice.

Na sl.4 je prikazan presek kroz čeličnu armaturu tela članka jedne takve gusenice (*T80E6*), gde se uočavaju cevi i otkovak sa grebenom za zahvatanje tla.



Slika 4. Telo članka gusenice *T80E6*

Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica sa dvodelnim člankom, date su u tabeli 4.

Tabela 4. Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica sa dvodelnim člancima

Tip vozila	<i>BMP 3</i>	<i>T 80</i>	<i>M47 PATON</i>	<i>M48</i>
Tip gusenice			T80E6	T96E2
Širina gusenice $B$ (mm)	380	580	584.2	711.2
Korak gusenice $t$ (mm)	150	164	152.4	176.2
Masa članka $m_c$ (kg)	9.28	22.09	26.08	27.85
Prečnik osovinice $d$ (mm)			31.75	31.75
Masa jedinice dužine $m_c/t$ (kg/m)	62	135	171.1	158.1
Specifična masa $m_c/(t \cdot B^{1.5})$	265	306	383	264

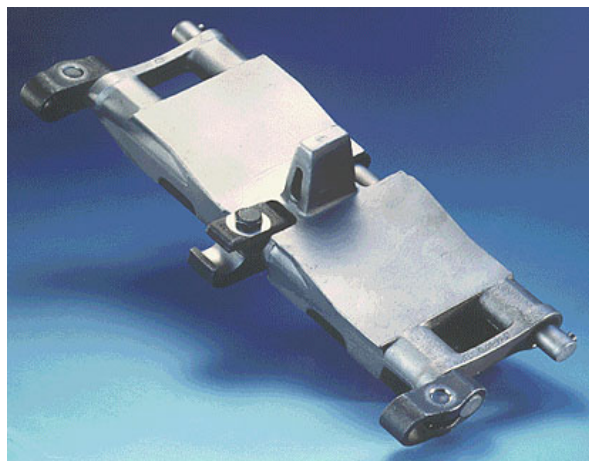
Zbog činjenice da je vek gumenih gusenica znatno kraći nego vek zgloba, a zbog dejstva čeličnih gusenica na podlogu u urbanim sredinama, gde izazivaju oštećenja na putevima, razvijene su gusenice sa demontažnim gumenim papučama, koje se menjaju tokom veka gusenice. Karakteristike dvoosoviničnih gusenica sa dvodelnim člancima i gumenim papučama date su u tabeli 5.

Tabela 5. Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica sa dvodelnim člancima i demontažnim gumenim papučama

Tip vozila	<i>LEOPARD 1A1</i>	<i>M60 A3</i>
Tip gusenice	DIEHL 640	T142
Širina gusenice $B$ (mm)	550	711.2
Korak gusenice $t$ (mm)	164	176.2
Masa članka $m_c$ (kg)	25.3	33.6
Prečnik osovinice $d$ (mm)	30	31.75
Masa jedinice dužine $m_c/t$ (kg/m)	154	191
Specifična masa $m_c/(t \cdot B^{1.5})$	378	318

Dvoosovinične gusenice sa jednodelnim člancima, koji se spajaju sa tri spona, proizvode se od sredine sedamdesetih godina. Kod ovog tipa gusenice problem velikog opterećenja središnjeg dela osovinice rešen je spajanjem dva dela tela članka uskim premošćenjem, iznad kojeg je odliven i greben za vođenje. Na sl.5 je prikazan

članak najnovijeg tipa gusenice DIEHL 570P, koja se ugrađuje na tenk *LEOPARD 2*. Ovaj tip gusenice može se izrađivati samo sa velikim vrednostima koraka. Od negativnih osobina, svojstvenih samo ovom tipu gusenice treba navesti i tehnološki problem pri utiskivanju osovinice, jer se polovina gumenih čaura mora provući kroz otvor u jednom delu članka, kroz alat u međuprostoru, a zatim i kroz otvor u drugom delu članka, zbog čega je neophodna precizna izrada.



Slika 5. Članak gusenice tipa DIEHL 570P

Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica sa jednodelnim člankom, sa tri spone i demontažnom gumenom papučom, date su u tabeli 4.

Tabela 6. Karakteristike dvoosoviničnih čeličnih gusenica sa jednodelnim člancima, sa tri spone i demontažnim gumenim papučama

Tip vozila	LEOPARD 1A5	LEOPARD 2
Tip gusenice	DIEHL 840	DIEHL 570F
Širina gusenice $B$ (mm)	550	635
Korak gusenice $t$ (mm)		183.5
Masa članka $m_c$ (kg)		33.5
Prečnik osovinice $d$ (mm)	30	32
Masa jedinice dužine $m_c/t$ (kg/m)	161	183
Specifična masa $m_c/(tB^{1.5})$	395	362

Analizom podataka o specifičnoj masi dvoosoviničnih gusenica može se generalno zaključiti da najmanju masu imaju gumene gusenice, veću masu imaju čelične gusenice, a najveću masu imaju čelične gusenice sa demontažnom gumenom papučom.

### Proračun osovinica dvoosoviničnih gusenica

Prečnik osovinica dvoosoviničnih gusenica, znatno utiče na njihovu masu i u najvećoj meri zavisi od rastojanja između spona koje kod svih savremenih dvoosoviničnih tenkovskih gusenica dostiže do 40%, a kod gusenica lakih borbenih vozila do 80 % od njene širine.

Prema metodi proračuna grede na elastičnoj podlozi [3] deo osovinice između spona posmatra se kao deo grede na elastičnoj podlozi sa proporcionalnim odnosom opterećenja i deformacije. Na delu grede gde nema spoljašnjeg opterećenja, važi diferencijalna jednačina elastične linije:

$$\frac{d^4 w(x)}{dx^4} = -\frac{\alpha}{EJ} w(x) \quad (1)$$

gde su:  $\alpha$  - koeficijent proporcionalnosti gumenog oslonca,  $E$  - modul elastičnosti materijala osovinice i  $J$  - moment inercije osovinice.

Jednačina (1) može se svesti na oblik pogodan za rešavanje zamenom  $EJ/\alpha=L^4/4$ , odakle je:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{\alpha}} \quad (2)$$

Zamenom nezavisne promenljive  $x$ , bezdimenzionom apscisom:

$$\xi = \frac{x}{L} \quad (3)$$

jednačina (1) se svodi na:

$$\frac{d^4 w}{d\xi^4} + 4w = 0 \quad (4)$$

Postavljanjem koordinatnog početka u krajnju levu tačku razmatranog dela i označavanjem ugiba, nagiba, napadnog momenta savijanja i transverzalne sile u toj tački, respektivno sa  $w_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$  i  $Q_0$ , dobijaju se rešenja:

$$w(x) = w_0 Y_1(\xi) + L \theta_0 Y_2(\xi) - \frac{L^2 M_0}{EJ} Y_3(\xi) - \frac{L^3 Q_0}{EJ} Y_4(\xi) \quad (5)$$

$$\theta(x) = \theta_0 Y_1(\xi) - \frac{L M_0}{EJ} Y_2(\xi) - \frac{L^2 Q_0}{EJ} Y_3(\xi) - \frac{4w_0}{L} Y_4(\xi) \quad (6)$$

$$M(x) = M_0 Y_1(\xi) + L Q_0 Y_2(\xi) + \alpha L^2 w_0 Y_3(\xi) + \alpha L^3 \theta_0 Y_4(\xi) \quad (7)$$

$$Q(x) = Q_0 Y_1(\xi) + \alpha L w_0 Y_2(\xi) + \alpha L^2 \theta_0 Y_3(\xi) - \frac{4}{L} M_0 Y_4(\xi) \quad (8)$$

gde su:  $w(x)$ - ugib grede,  $\theta(x)$ - nagib grede,  $M(x)$ - napadni moment savijanja i  $Q(x)$ - transverzalna sila.

Sa  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  i  $Y_4$  označene su funkcije Krilova:

$$Y_1(\xi) = \cosh \xi \cos \xi \quad (9)$$

$$Y_2(\xi) = \frac{1}{2} (\cosh \xi \sin \xi + \sinh \xi \cos \xi) \quad (10)$$

$$Y_3(\xi) = \frac{1}{2} \sinh \xi \sin \xi \quad (11)$$

$$Y_4(\xi) = \frac{1}{4} (\cosh \xi \sin \xi - \sinh \xi \cos \xi) \quad (12)$$

Prema izloženoj metodi proračuna uz pretpostavljenu krutu vezu osovinice i spona, određena su opterećenja i elastične linije osovinice (sl.6) poznate gusenice, za sledeće slučajeve:

1. kada su oslonci grede u obliku uklještenja, tj. kada se osovinice i otvori spona izrađuju tako da između njih nema zazora i kada je veza apsolutno kruta, sl. 6f i sl. 6a [2];
2. kada oslonci grede imaju mogućnost neometanog zakretanja (prosta greda) sl. 6g i sl. 6b;
3. kada kod osovinica sa tri oslonca krajnje spona omogućavaju nesmetano zakretanje osovinica, a srednja spona čvrsto obuhvata osovinicu, sl. 6h i sl. 6c;
4. kada su u sredini grede dva oslonca sa razmakom koji

odgovara širini srednje spone, a na krajevima grede su uklještenja, što odgovara slučaju kada između krajnjih spona i osovinice nema zazora, a kod srednje spone postoji toliki zazor da ne ometa savijanje osovinice, sl 6j i sl. 6d [2];

5. kada su u sredini grede dva oslonca sa razmakom koji odgovara širini srednje spone, a sa krajeva grede su dva oslonca sa razmakom koji odgovara širini krajnje spone, pri čemu je spoljni oslonac pomeren za vrednost zazora između osovinice i spona od  $z=0,07$  mm, sl.6k i sl.6e [2]; Tok proračuna je sledeći: u jednačine (5-8) uvrste se početni uslovi proračuna desnog dela osovinice, za slučajeve 1-5, kao u tabeli 7. Rešavanjem sistema jednačina dobijaju se vrednosti  $w_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$  i  $Q_0$ , čijom se zamenom u jednačini (5) dobija elastična linija, a zamenom u jednačini (7), momenti, odnosno naponi u osovinici.

Tabela 7. Početni uslovi pri proračunu osovinice

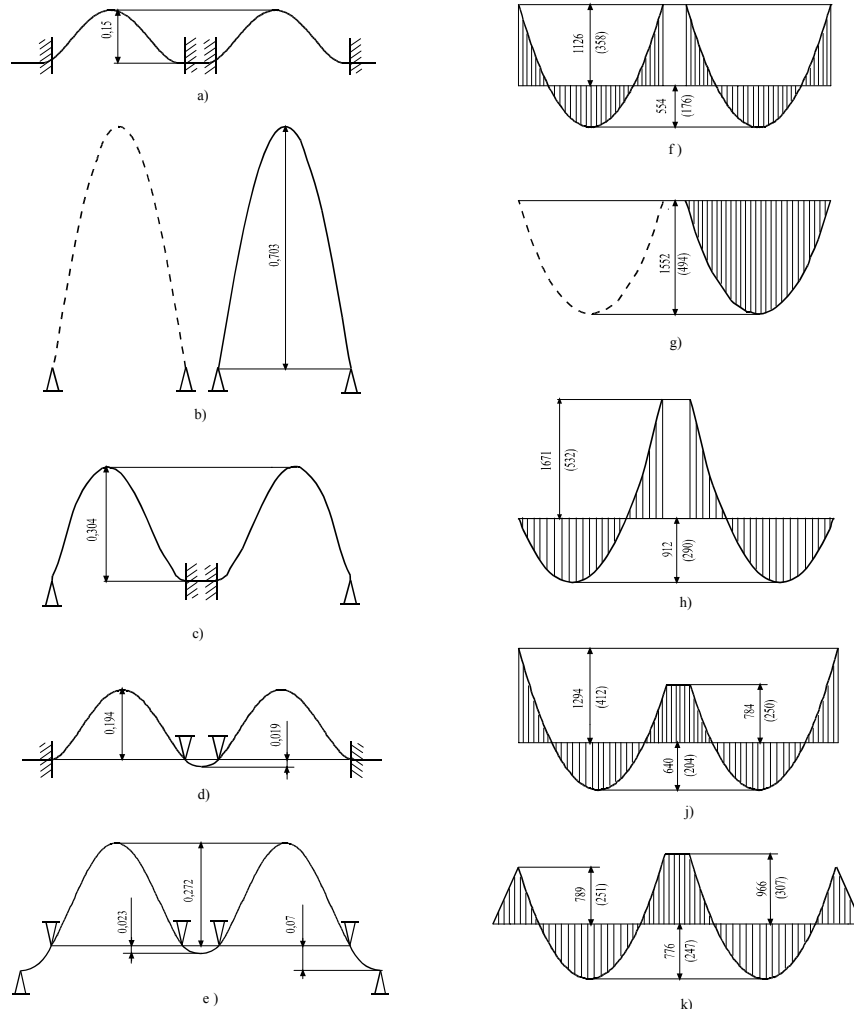
Slučaj	Ugib	Nagib	Moment	Transverzalna sila
1.	$w_0 = w_l$	$\theta_0 = \theta_l = 0$		$Q_0 - Q_l = F_v$
2.	$w_0 = w_l$		$M_0 = M_l = 0$	$Q_0 - Q_l = F_v$
3.	$w_0 = w_l$	$\theta_0 = 0$	$M_l = 0$	$Q_0 - Q_l = F_v$
4.	$w_0 = w_l$	$\theta_0 = \frac{M_0 l_s}{2EJ}$ , $\theta_l = 0$		$Q_0 - Q_l = F_v$
5.	$w_0 = w_l$	$\theta_0 = \frac{M_0 l_s}{2EJ}$ , $\theta_l = \frac{M_l l_k + z}{3EJ}$		$Q_0 - Q_l = F_v$

Veličine ugiba, nagiba i transverzalne sile iz table 1 sa indeksom  $l$  odnose se na desni oslonac, gde je;  $l_s$  širina srednje spone,  $l_k$  širina krajnjih spona,  $F_v$  opterećenje gusenice. Na dijagramima a, b, c, d i e, na sl.6, prikazane su elastične linije osovinica sa naznačenom maksimalnom vrednošću ugiba  $u$  (mm), a na dijagramima f, g, h, j i k, na sl.6, prikazani su napadni momenti savijanja, sa naznačenim ekstremnim vrednostima momenta  $u$  (Nm) i napona u osovinici  $\sigma$  (N/mm<sup>2</sup>) (u zagradi), za slučajeve 1, 2, 3, 4 i 5, respektivno, sa usvojenim koeficijentom proporcionalnosti gumenog oslonca 250 N/mm<sup>2</sup>.

U prvom slučaju ugibi osovinica su najmanji (sl.6a), što omogućuje povoljne uslove rada gumeno-metalnog zgloba, ali su naponi u blizini spona znatno veći nego na sredini neoslonjenog dela osovinice (sl.6f). Kod gusenica sa tri spone, preko srednje spone se prenosi 50 % opterećenja gusenice, koliko prenose i obe krajnje spone. Ovo je nepovoljno, jer se srednja spona izrađuje kao dvodelna, a spajanje se obično vrši pomoću jednog vijka i navrtke. Tada je srednja spona izložena složenom naprezanju, sa pretežnim uticajem savijanja od komponente sile koja teži da razdvoji sponu.

U drugom slučaju ugibi osovinica su najveći (sl.6b), a moment na sredini neoslonjenog dela osovinice je znatno veći od maksimalnog momenta u prethodnom slučaju (sl.6g). Pretpostavke usvojene u ovom slučaju, najviše odstupaju od stvarnosti, ali su rezultati ipak prikazani jer, sa prvim slučajem, ukazuju na ekstremne vrednosti mogućih opterećenja dvoosoviničnih gusenica sa dve spone.

Treći slučaj mogao bi se koristiti za proračun osovinice oslonjene na tri oslonca, kada krajnje spone omogućavaju



Slika 6. Dijagrami elastičnih linija i napadnih momenata, za slučajeve 1-5

nesmetano zakretanje osovinica, a srednja spona čvrsto obuhvata osovinicu. U ovom slučaju, naprezanje osovinice je veće nego u prethodnom (sl.6h), a ugib osovinice je oko dva puta veći nego u prvom slučaju (sl.6c). Raspodela opterećenja po sponama je još nepovoljnija od konzolno oslonjene osovinice, pa opterećenje srednje spone iznosi oko 63 % od ukupnog opterećenja gusenice. Povoljna raspodela opterećenja spona mogla bi se ostvariti pod pretpostavkom da je na krajevima uklještenje, a da je u sredini omogućeno zakretanje, tj. da je osovinica prekinuta u sredini. Tada bi krajnje osovinice prenosile po 31,5%, a srednja 37 % ukupnog opterećenja. Ovo je, ipak, nepraktično rešenje, jer bi naprezanje osovinice bilo povećano za ≈50 %, a spoj prekinute osovinice jednom dvodelnom sponom bio bi nepouzdan.

U četvrtom slučaju opterećenje srednje spone iznosi ≈46 % ukupnog opterećenja gusenice, što je neznatno rasterećenje u odnosu na prvi slučaj. I u ovom slučaju, naprezanje na savijanje osovinice kod krajnjih spona je znatno veće nego oko sredine neoslonjenog dela osovinice, ali je savijanje kod srednje spone smanjeno (sl.6j). Ipak, sa gledišta opterećenja osovinice ovaj slučaj je povoljniji nego drugi i treći. Treći i četvrti slučaj ukazuju na ekstremne vrednosti mogućih opterećenja dvoosoviničnih gusenica sa tri spone. Sa gledišta karaktera elastične linije, ovaj slučaj je najpovoljniji posle prvog (sl.6d).

U petom slučaju, kada se i krajnje spone postavljaju sa zazorom (0,07 mm), opterećenje srednje ušice je ≈51% ukupnog opterećenja gusenice, a savijanje kod srednjih spona je po apsolutnoj vrednosti nešto veće nego kod krajnjih spona i oko sredine neoslonjenog dela osovinice (sl. 6k). Ekstremna vrednost napona kod petog slučaja manja je nego u ostalim slučajevima. Ipak, peti slučaj, sa usvojenim znatnim zazorom, ne može se smatrati poželjnim, jer su ugibi osovinice skoro dvostruko veći nego u prvom slučaju (sl.6e), što nepovoljno utiče na gumene čaure, koje su svakako ugroženije od osovinice.

Tačniji rezultati proračuna dobili bi se uzimanjem u obzir elastičnosti kontakta osovinice sa sponama.

Analizom svih slučajeva može se zaključiti da treba smanjiti zapore između osovinice i otvora spona, a površine u kontaktu treba da imaju što veću tvrdoću.

### Izbor broja spona

Za dimenzionisanje osovinice radi određivanja najpovoljnijeg broja spona, usvojen je maksimalan napon iz prvog slučaja opterećenja (sl.6a), iz prethodnog paragrafa.

Iz jednačina (5 i 6), pod uslovima 1 iz tabele 7, sledi:

$$w_0[1 - Y_1(\xi_l)] + \frac{L^2 M_0}{EJ} Y_3(\xi_l) = -\frac{L^3 Q_0}{EJ} Y_4(\xi_l) \quad (13)$$

$$\frac{4w_0}{L} Y_4(\xi_l) + \frac{LM_0}{EJ} Y_2(\xi_l) = -\frac{L^2 Q_0}{EJ} Y_3(\xi_l) \quad (14)$$

pa se, eliminisanjem  $w_0$ , dobija odnos momenata i transversalne sile pored levog oslonca grede:

$$M_0 = L \cdot Q_0 \cdot \frac{Y_3(\xi_l)[1 - Y_1(\xi_l)] - 4Y_4(\xi_l)^2}{Y_2(\xi_l)[1 - Y_1(\xi_l)] - 4Y_3(\xi_l)Y_4(\xi_l)} \quad (15)$$

Leva i desna strana jednačine (15) se podeli sa otpornim momentom osovinice, pri čemu se prečnik osovinice izražava preko  $L$ . Iz jednačine (2), unošenjem  $J = d^4 \pi / 64$ , dobija se:

$$L = d \cdot \sqrt[4]{\frac{E\pi}{16\alpha}} \quad (16)$$

što za vrednost koeficijenta proporcionalnosti gumenog oslonca od 250 N/mm<sup>2</sup> i modula elastičnosti  $E=210000$  N/mm<sup>2</sup> iznosi  $d=0.279L$ . Zamenom  $L=l/\xi_l$  dobija se:

$$\sigma = \frac{234,4 \xi_l^2 Q_0}{l^2} \cdot \frac{\sinh \xi_l - \sin \xi_l}{\cosh \xi_l - \cos \xi_l} \quad (17)$$

U tabeli 8, u prvoj vrsti dati su podaci osnovne varijante, sa tri spone. U prvoj koloni je broj spona, u drugoj koloni su vrednosti transversalne sile kod levog oslonca  $Q_0$ , a u trećoj koloni je raspon neoslonjenog dela grede. Vrednost  $\xi_l$ , koja se dobija iz jednačine (17) unošenjem vrednosti napona  $\sigma_0$  sa slike 6f, data je u četvrtoj koloni. U petoj koloni, data je vrednost  $L$ , a prečnik osovinice je dat u šestoj koloni.

Tabela 8. Izbor broja spona

Broj spona	$Q_0$ (daN)	$l$ (mm)	$\xi_l$	$L$ (mm)	$d$ (mm)
3	3250	212	1.8632	113.781	31.75
4	2167	137	1.5891	86.212	24.06
5	1625	100	1.4163	70.609	19.7
2	6500	450	2.4722	182.026	50.8

Očigledno je da bi se smanjenjem broja spona (2) prečnik osovinice enormno povećao, a time i masa gusenice. Povećanjem broja spona (4) prečnik osovinice bi se smanjio približno za četvrtinu, odnosno za trećinu bi se povećao površinski pritisak u zglobu. Dvoosoviničnu gusenicu sa 4 spone, proizvela je nemačka firma *GERLACH* i konkurisala je za ugradnju na američki tenk *MI ABRAMS*. Prečnik osovinice je bio 30mm, što je samo za sedminu manje nego na američkoj gusenici T156, ili samo 6% manje od gusenice nemačke firme *DIEHL*, koje su takođe razmatrane za ugradnju na tenk *MI ABRAMS*. I pored manjeg prečnika, gusenica firme *GERLACH* je imala veću masu, pa je odbačena.

Povećanjem broja spona na 5 ili više, površinski pritisak u zglobu bi bio kao kod jednoosoviničnih gusenica ili veći, što se ne može smatrati prihvatljivim. Osim toga, postupak utiskivanja osovinice bi se dalje komplikovao, što bi izazvalo povećanje škarta.

### Zaključak

- Predloženi metod proračuna osovinice dvoosovinične gusenice omogućuje dovoljno tačno određivanje opterećenja osovinice pri različitim slučajevima naleganja osovinice i otvora u sponama koje znatno utiče na napone u osovinici.
- Proračun je omogućio uočavanje određenih nedostataka i kod najsavremenijih rešenja tenkovskih gusenica i dao smernice za projektovanje novih rešenja gusenica za potrebe borbenih vozila.
- Broj spona bi se kod borbenih guseničnih vozila najveće mase, mogao povećati na 4. Dalje povećanje broja spona, ne bi omogućilo smanjenje prečnika, zbog prekomernog povećanja površinskog pritiska u zglobu.

### Literatura

- [1] STEVANOVIĆ, R. *Analiza konstrukcijskih rešenja gusenica savremenih borbenih vozila*. KNTI VTI VJ Beograd, 1998.
- [2] STEVANOVIĆ, R. *Analiza opterećenja elastičnog zgloba*

dvoosovinične tenkovske gusenice. *JUMV*, Beograd, 1999.

Rad primljen: 26.4.2000.god.

- [3] PISARENKO, G.S. Soprotivlenie materialov. *Vishcha shkola*, Kiev, 1979.