UDK 621.7 YU ISSN 0354-6446

Časopis PROIZVODNO MAŠINSTVO

Godina 11 Novi Sad, 1994. god. Broj 1-2

https://doi.org/10.24867/JPE-1994-11-229

Lj. Đorđević *
D. Domazet
M. Trajanović
P. Popović

PRIMENA METODA KONAČNIH ELEMENATA NA REŠAVANJE PROBLEMA TEMELJA KOVAČKIH MAŠINA

Rezime

Kovački čekići u procesu oblikovanja izradaka, proizvode velike udarne impulse, koji u pojedinačnom ili serijskom delovanju, izazivaju pojavu vibracija i opterećenje svih elemenata koji čine vibracioni sistem. U radu su prezentirani rezultati ispitivanja opterećenja temelja čekića, klasičnog postavljanja mašina udarnog dejstva, a u smislu identifikacije kritičnih naprezanja, kritičnih deformacija i pomeranja.

1. UVOD

Problem nalaženja racionalnih metoda projektovanja i oblikovanja temelja mašina je jedan od najsloženijih problema na koji nailaze projektanti mašina, pored ostalih problema koji su pri tome prisutni u fazi projektovanja mašina, uređaja i postrojenja. Pri projektovanju temelja mašina udarnog dejstva , i svih ostalih mašina, mora se voditi računa o nekim važnim detaljima, a posebno o vrstama opterećenja kovačkih čekića.

1.1. VRSTE OPTEREĆENJA

Opterećenja temelja mašina radilica, a i mašina za obradu deformisanjem nastaju kao rezultat neuravnoteženih inercijalnih sila,odnosno kao posledica oblika kretanja pojedinih mehanizama i njihovih sastavnih elemenata, koji izvode mehaničke operacije u okviru tehnološkog procesa, zbog koga je mašina projektovana i instalirana.

Kretanja koje proizvode inercijalne-poremećajne sile, mogu biti rotaciona ili translatorna. I kod jednog i kod drugog kretanja javljaju se ove sile, koje izazivaju pored deformacija elemenata sistema, i pojavu vibracija u njima.

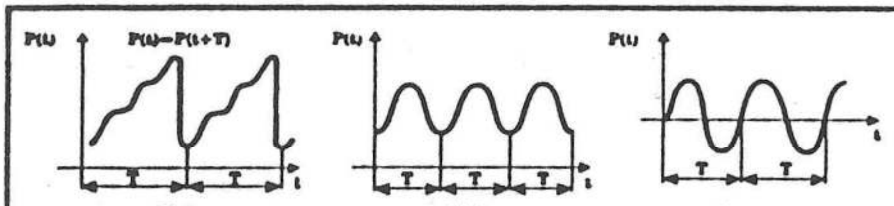
Konstruktori se sreću najčešće sa sledećim oblicima dinamičkih opterećenja:

1.1.1. PERIODIČNA OPTEREĆENJA

Ponavljaju se u jednakim vremenskim intervalima (T), koji predstavlja perod opterećenja (sl.1).

*Dr Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu
Dr Dragan Domazet , red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu
Mr Miroslav Trajanović, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu
Dr Predrag Popović, red. prof. Mašinski fakultet u Nišu

Rad je saopšten na 25. Savetovanju proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, septembar 1994.



Sl.1 Sl.2 Sl.3

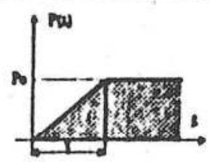
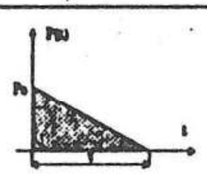
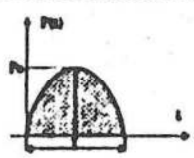
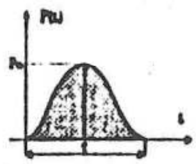
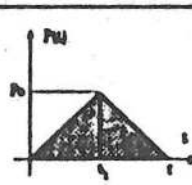
Posebni slučaj periodičnog opterećenja jeste harmonijsko periodično opterećenje (sl.2). Kada je srednja vrednost ovog opterećenja nula, ono se naziva oscilatorno opterćenje (sl.3).
Harmonijsko opterećenje stvaraju mašine i mehanizmi koji rotiraju (elektromotori , zamajci itd.).

1.1.2. UDARNA OPTEREĆENJA

1.1.2.1. POJEDINAČNI IMPULSI

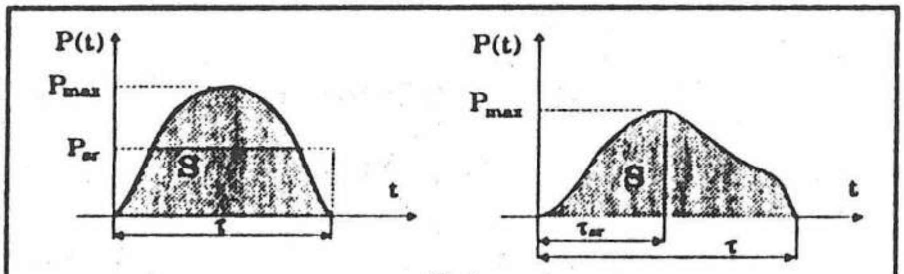
Impulsnim opterećenjem nazivamo kratkotrajno opterećenje velikog intenziteta koje ne menja smer dejstva. Oblik impulsa može biti različit (Tabela 1.).

Tabela 1.

Br.	Oblik impulsa	Vremenski interval	Pobudni impuls	Pomeranje
1.		$0 \le t \le \tau$ $\tau \le t$	$P(t) = P_0 \frac{t}{\tau}$ $P(t) = P_0$	$Z_{(t)} = \frac{2P_0}{k}\left[\frac{t}{\tau} - \frac{\sin \omega t}{\omega\tau}\right]$ $Z_{(t)} = \frac{P_0}{k}[1 - \cos \omega t]$
2.		$0 \le t \le \tau$ $\tau \le t$	$P(t) = P_0\left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$ $P(t) = P_0$	$Z_{(t)} = \frac{P_0}{k}\left[1 - \frac{t}{\tau} - \cos \omega t + \frac{\sin \omega t}{\omega\tau}\right]$ $Z_{(t)} = \frac{P_0}{k}\left[\frac{\sin \omega(t - t_1)}{\omega\tau} + \frac{\sin \omega t}{\omega\tau} - \cos \omega t\right]$
3.		$0 \le t \le \tau$ $\tau \le t$	$P(t) = P_0 \sin \frac{\pi t}{\tau}$ $P(t) = 0$	$Z_{(t)} = C \sin(\lambda t + \varphi) + \frac{P_0 \sin \omega t}{m\left(\lambda^2 - \omega^2\right)}$
4.		$0 \le t \le \tau$	$P(t) = \frac{P_0}{2}\left(1 - \cos\frac{2\pi \cdot t}{\tau}\right)$	$Z_{(t)} = \frac{S}{m\lambda} \sin \lambda t$
5.		$0 \le t \le \frac{\tau}{2}$ $\frac{\tau}{2} \le t \le \tau$ $\tau \le t$	$P(t) = 2P_0 \frac{t}{\tau}$ $P(t) = 2P_0\left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$ $P(t) = 0$	$Z_{(t)} = \frac{2P_0}{k}\left[\frac{t}{\tau} - \frac{\sin \lambda t}{\lambda t}\right]$ $Z_{(t)} = \frac{2P_0}{k}\left[1 - \frac{t}{\tau} - \frac{\sin \lambda t}{\lambda t} + \frac{2}{\lambda t}\sin\lambda\left(t - \frac{\tau}{2}\right)\right]$ $Z_{(t)} = \frac{P_0}{k}\left[\frac{8\sin^2\frac{\lambda\tau}{4}}{\lambda\tau} \cdot \sin\left(t - \frac{\tau}{2}\right)\right]$

1.1.2.2. OBLIK POJEDINAČNIH IMPULSA KOVAČKIH ČEKIĆA

Kovački čekići u procesu deformisanja, u trenutku udara bata čekića o otkovak, stvaraju udarne impulse, za čije potpuno definisanje moramo znati njihov oblik, vreme trajanja i metod određivanja njihove veličine (sl.4).



Sl. 4.

Slika 4. -Karakteristike udarno-impulsnog opterećenja.

Veličina impulsa može se odrediti ako se izračuna površina S :

$$S = \int_0^{\tau} P(t) \cdot dt = P \int_0^{\tau} f(t) \cdot dt = P_{sr} \cdot \tau \tag{01}$$

Za vrlo male vrednosti $\frac{\tau}{T_m}$, može se vrednost impulsa odrediti preko :

$$S = \int_0^{\tau} P(t) \cdot dt = m \cdot \dot{Z}_s \tag{02}$$

U gornjem izrazu brzina $\dot{Z}_s$ je:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_s \cdot \sin \lambda t = \frac{S}{m\lambda} \sin \lambda t = \lambda \cdot \sin \lambda t \cdot \int_0^{\tau} \frac{P(t) \cdot dt}{K} \tag{03}$$

K - krutost podloge

λ - sopstvena ugaona brzina

$\dot{Z}_s$ - brzina mase m pod uticajem dejstva impulsa S

U praktičnim razmatranjima za pojedinačne impulse velikog intenziteta, vreme trajanja impulsa τ uzima se :

$$\tau \leq 2.5 \cdot T_m \tag{04}$$

T_m - period sopstvenih oscilacija

U prisutnim istraživanjima razlikuju se dva karakteristična slučaja :

- za nagle impulse uzima se

$$\tau < 0.1 \cdot T_m \tag{05}$$

- za kratkotrajne impulse

$$Z(t) = \frac{V_s}{\lambda_z} e^{-\rho t} \sin \lambda_z t \tag{06}$$

Vrednost za τ može da se odredi na tri načina i to u zavisnosti od veličine impulsa S ili njegove maksimalne vrednosti P_0, odnosno oblika funkcije: $f(t) = \frac{P(t)}{P_0}$, pri čemu je:

T_{mn} - najmanja vrednost perioda sopstvenih oscilacija

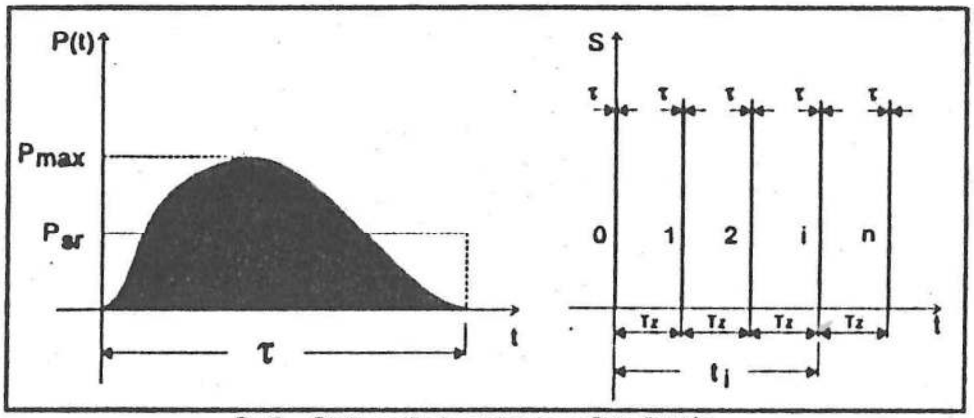
T_{m1} - najveća vrednost perioda sopstvenih oscilacija

Za sistem sa jednim stepenom slobode uzima se da je $T_{mn} = T_{m1}$, a za sisteme sa više stepena slobode kretanja sa dovoljnom tačnošću može se uzeti :

$$T_m = 0.05T_{m1} \qquad (07)$$

1.1.2.3 OBLIK SERIJE IMPULSA KOVAČKIH ČEKIĆA

Karakteristika procesa dinamičkog oblikovanja na kovačkim čekićima jeste delovanje na izradak pojedinačnim impulsima - udarima ili serijom impulsnih udara, koje potpuno može da definiše veličina impulsa S, kao i vremenski interval koji definiše posle koliko vremena se novi impuls pojavljuje, odnosno vreme dejstva impulsa na izradak (sl. 5).



Sl. 5 Oblik serije impulsa kovačkih čekića

Prvi impuls koji se pojavljuje i čije dejstvo analiziramo do drugog impulsa može se prikazati jednačinom:

$$z_{1,2} = \frac{S}{m \cdot \lambda} \cdot \sin \lambda t \qquad (08)$$

Jednačina kretanja posle dejstva n-tog impulsa može se tretirati na dva načina:

$t = n \cdot T_Z$	$t > n \cdot T_Z$
$Z_t = \frac{S}{m \cdot \lambda} \sum_{i=0}^{n-1} \sin(n-i)\lambda \cdot T_Z$ (09)	$Z_t = \frac{S}{m \cdot \lambda} \sum_{i=0}^{n} \sin(t - t_i)\lambda$ (10)

t_i - vreme između prvog i i- tog impulsa

U praktičnim razmatranjima može se koristiti izraz (10) za $t > n \cdot T_z$, formulisan od stane KRILOVA :

$$Z_t = \frac{S}{m\lambda} \cdot (C \cdot \cos \lambda t + D \cdot \sin \lambda t) \qquad (11)$$

gde su:

$$C = -\frac{\sin(n+1) \cdot \pi \cdot \frac{T_z}{T_m} \cdot \sin(n \cdot \pi)\frac{T_z}{T_m}}{\sin \pi \frac{T_z}{T_m}} \qquad (12)$$

$$D = -\frac{\sin(n+1) \cdot \pi \cdot \frac{T_z}{T_m} \cdot \cos(n \cdot \pi)\frac{T_z}{T_m}}{\sin \pi \frac{T_z}{T_m}} \qquad (13)$$

T_z - period sopstvenih oscilacija

T_m - period oscilacije sistema pod uticajem udarnog impulsa

Izraz za C i D koristi se ako je $T_z/T_m < 1$

U slučaju kada $T_z \to T_m$, odnosno $T_z/T_m = 1$, jednačina koja definiše kretanje postaje :

$$Z_t = \frac{S}{m\lambda}(n+1)\cos\lambda t \tag{14}$$

koja pokazuje neograničeni rast amplitude u zavisnosti od broja impulsa n.

Najveća vrednost amplitude oscilatornog sistemaje:

$$Z_t = \frac{S_0}{m_s \lambda_{ms}} \tag{15}$$

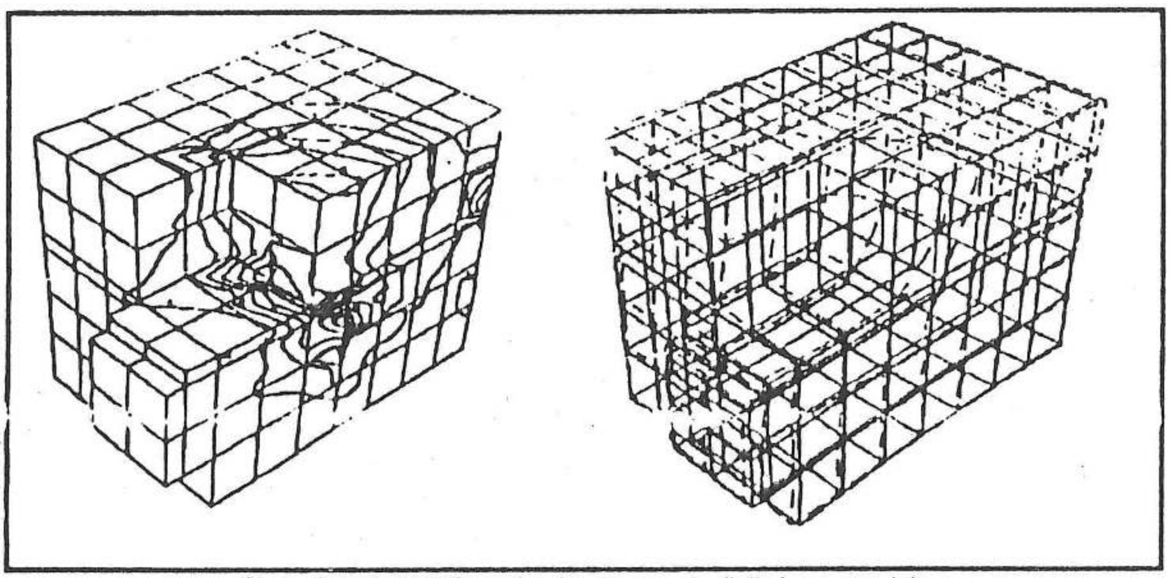
Amplituda oscilatornog sistem sa uključenim prigušenjem , što se u realnim uslovima događa, izračunava se po obrascu :

$$Z(t) = \frac{V_s}{\lambda_z} e^{-\rho t} \sin \lambda_z t \tag{16}$$

2. ANALIZA POMERANJA I OPTEREĆENJA BLOKA TEMELJA

Blokovi temelja kod mašina udarnog dejstva su najopterećeniji delovi u oscilatornom sistemu, s obzirom na vrstu i oblik opterećenja. Predmet ove analize jeste sagledavanje kritičnih opterećenja i pomeranja bloka temelja, uz pomoć METODA KONAČNIIH ELEMENATA (MKE) (The Finite Element Method). Mr Miroslav Trajanović je u računskom centu Mašinskog fakulteta u Nišu , izvršio neophodnu pripremu kako bi se ovakva analiza mogla da sprovede.

Blok temelja može da se podeli na četiri dela koji su međusobno isti kako sa stanovišta geometrije tako i sa stanovišta opterećenja. MKE definiše se mreža četvrtine temelja koja sadrži 1457 čvorova, a pored toga i ulazni podaci koji se odnose na veličinu i vrstu opterećenja, podaci koji uzimaju u obzir karakteristike armirano-betonske strukture od koje je blok napravljen (modul elastičnosti, gustina, itd.) a iza toga uz pomoć računarskog programa I-DEAS-BERSAFE, dobijaju rezultati MKE analize koji su prezentirani na (sl.6).



Sl. 6. -Rezultati MKE analize (ekvinaponske linije i pomeranja)

Analiza pokazuje u kojim zonama bloka temelja imamo maksimalna pomeranja, a u kojim zonama kritična opterećenja , o čemu treba voditi računa prilikom projektovanja bloka temelja i postavljanja armature u zonama sa kritičnim opterećenjem .

Posle određenog vremena moguće je da dođe do pucanja bloka u oblasti gde se javljaju kritična opterećenja , kao što je bio slučaj sa kovačkim čekićem MPM --5000 , u IMK " 14 OKTOBAR " u Kruševcu , zbog čega je čekić bio van proizvodnje preko 60 dana.

5. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazuje koliko je problem koji je razmatran složen i interdisciplinaran . Pored poznavanja problematike koju tretira dinamika konstrukcija javljaju se problemi posebno vezani za udarna -- impulsna opterećenja i njihovo definisanje posebno u pogledu veličine ivremena dejstva . Postavljanje i definisanje matematičkog modela, i u odnosu na njega, uz određene aproksimacije, proračunskog modela predstavljaju posebni problem jer se sanjegovim uspešnim rešavanjem stvaraju nužne predpostavke da računarski programi koji prate ovu problematiku mogu da daju odgovarajuće rezultate.

Rezultati koji su dobijeni iniciraju i razmišljanja o novim koncepcijskim rešenjima blokova temelja kod kojih bi armirano betonska konstrukcija bloka mogla da se zameni nekim pogodnijom materijalom uz odgovarajuće promene primenjenih prigušnih i opružnih elemenata.

LITERATURA :

[1] ĐORĐEVIĆ LJ.: Razvoj metoda za proračun i projektovanje temelja mašina udarnog dejstva, Doktorska disertacija , Niš- 1990- str 289.

[2] ĐORĐEVIĆ LJ. POPOVIĆ P. SATTELMEIR K. KRSTIĆ M.: Prilog razmatranju problema temelja mašina za obradu deformisanjem, CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala , Kopaonik 92 , Zbornik radova str. 87 - 94.

[3] ĐORĐEVIĆ LJ. POPOVIĆ P. SATTELMEIR K. KRSTIĆ M.: Prilog razmatranju problema direktne amortizacije čekića, 24. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, septembar 1992., Novi Sad ,Zbornik radova - knjiga I str. 2. 103 -- 2. 110.

[4] LIPINSKI J.: Fundamenty pod maszyny , Arkady - Warszawa 1985 . str- 688.

[5] LEVY J. P. D. WILKINSON: The component Element Metod in Dynamics, With application earthquake and vehicle engineering, Mc Graw-HillInternational Book Company, New York, 1976. str. 363.

[6] DOMAZET D.: TRAJANOVIĆ M. MANIĆ M.: Uvod u računarski integrisane proizvodne sisteme knjiga 1. Naučna knjiga , Beograd 1989. str.375.

Lj. Đorđević

D. Domazet

M. Trajanović

P. Popović

APPLICATION OF THE FINITE ELEMENTS METHODS FOR SOLVING THE FORGING MACHINES FOUNDATION PROBLEMS

Summary

During the product shaping process, forge hammers produce strong impact pulses which, either by single or serial action, provoke vibrations and loading of all the elements of the vibration system. This paper presents the hammer loading testing results, using a classical installation of machines causing impact effects, with a purpose of identifying critical stresses, deformations and displacements.