

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I  
BRODOGRADNJE SPLIT**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**ANALIZA TORZIJSKIH VIBRACIJA  
OSOVIKOVOG VODA**

**DIPLOMSKI RAD**



**Ivan Tomac**

**Split, 2005.**

# PREGLED PREZENTACIJE

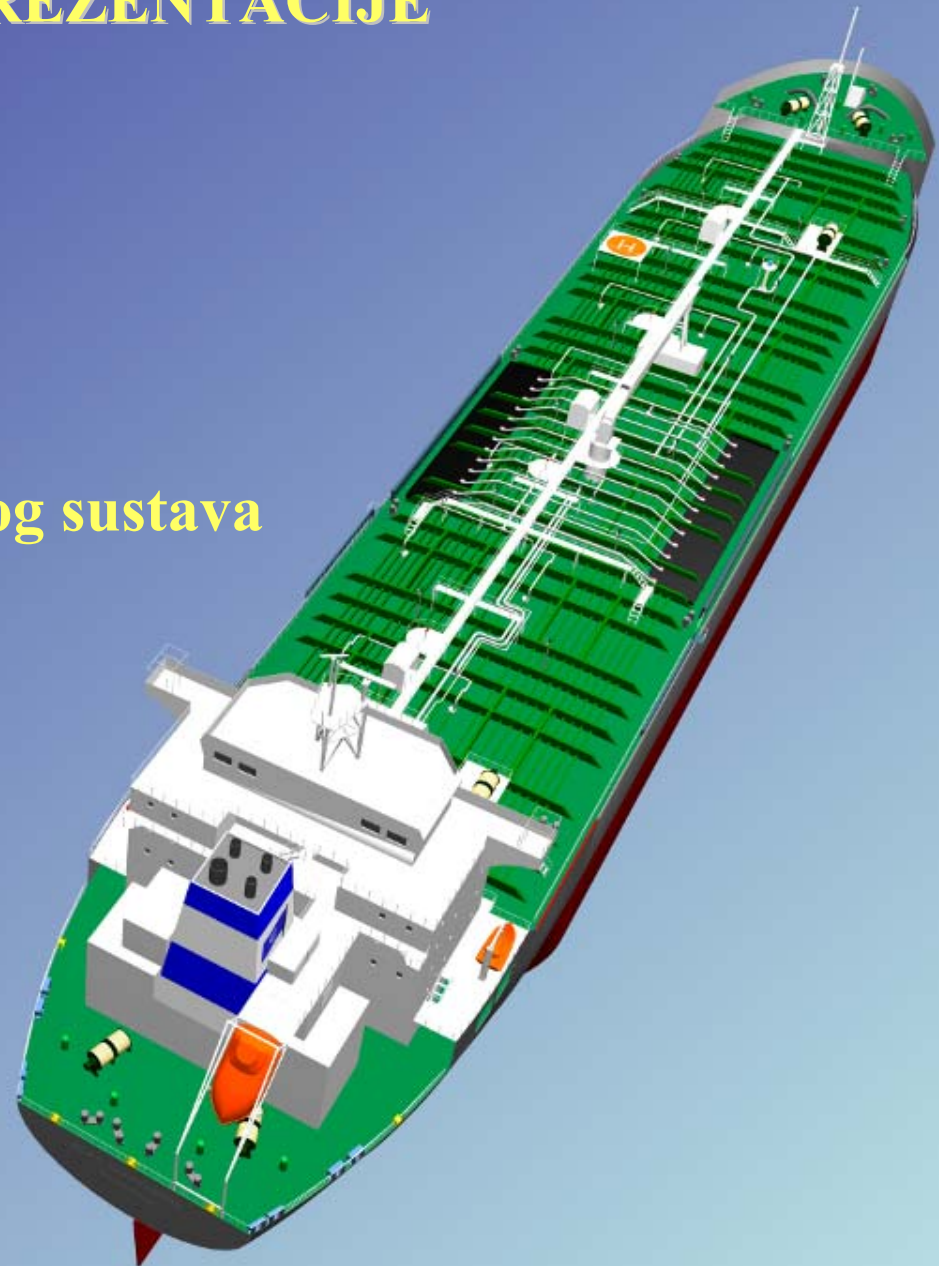
## ■ Opis propulzijskog sustava

- Pogonski stroj
- Osovinski vod
- Propeler
- Ostali dijelovi

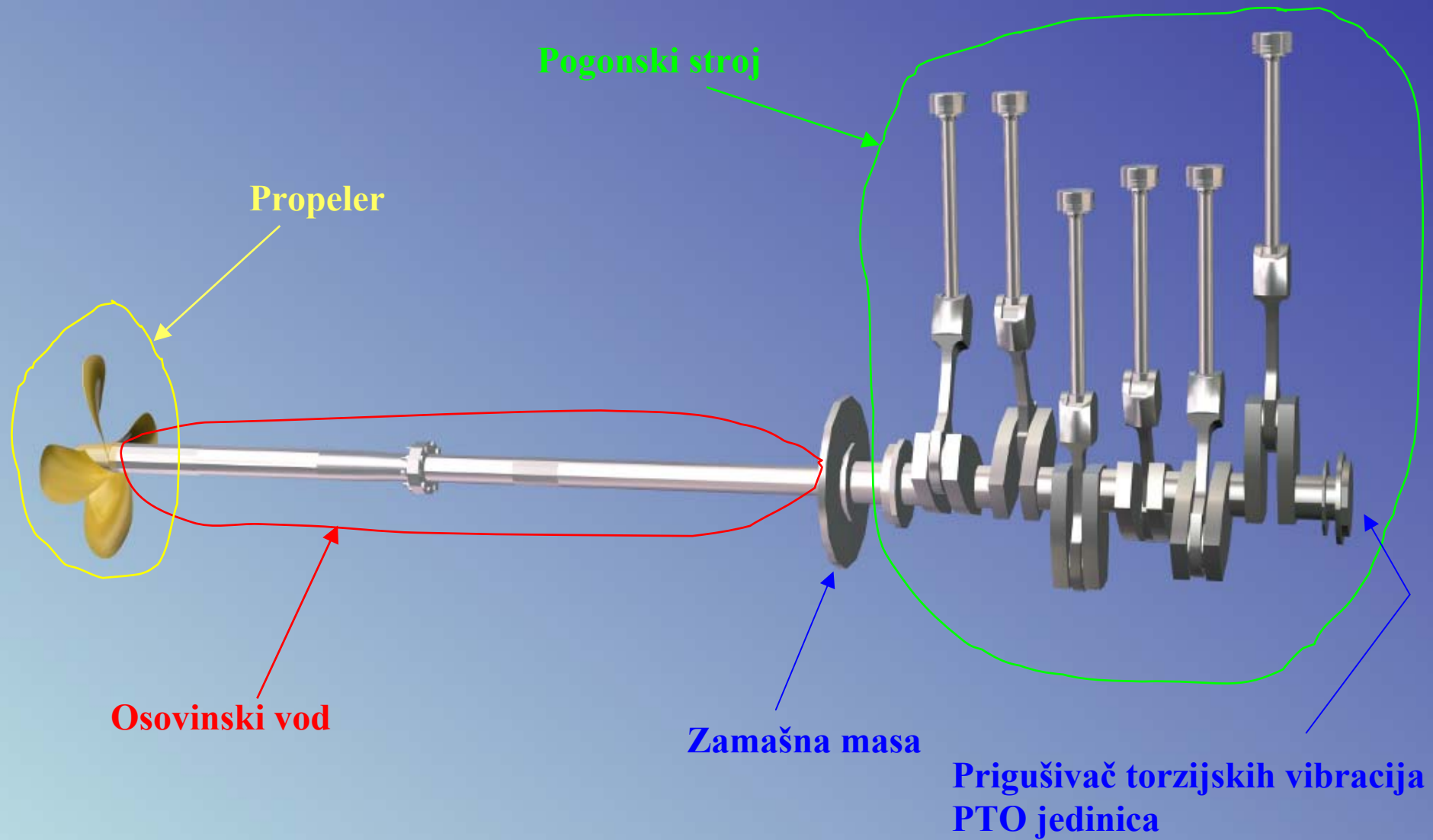
## ■ Model broskog propulzijskog sustava

- Slobodne vibracije bez prigušenja
- Forme vibriranja sustava
- Prisilne vibracije s prigušenjem
- Opterećenje propulzijskog sustava

## ■ Pregled rezultata

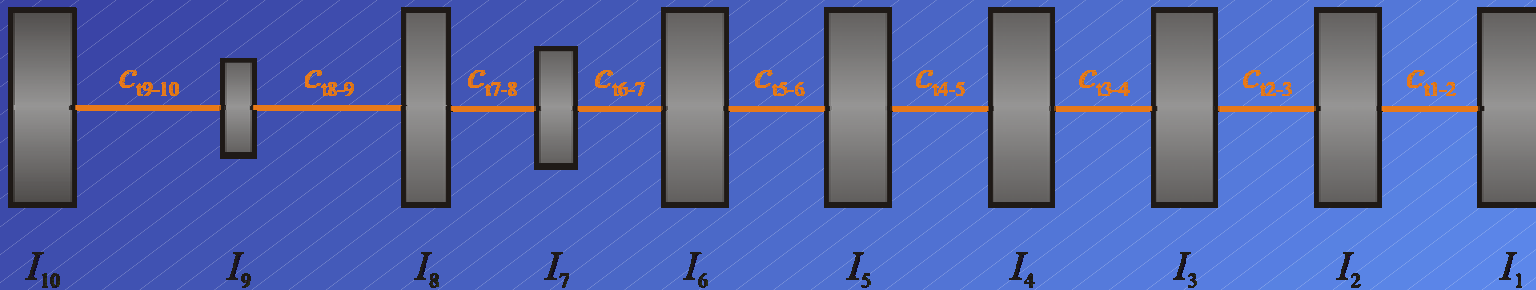


# Opis propulzijskog sustava



# Model brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija

Slobodne vibracije bez prigušenja



$$[I]\{\ddot{\varphi}\} + [c_t]\{\varphi\} = 0$$

$[I]$  - matrica tromosti masa

$[c_t]$  - matrica torzijske krutosti

Idealni model služi za određivanje vlastitih kružnih frekvencija sustava, koje se dobiju rješenjem slijedeće jednačbe:

$$\left| [I]^{-1} [c_t] - \lambda [1] \right| = 0$$

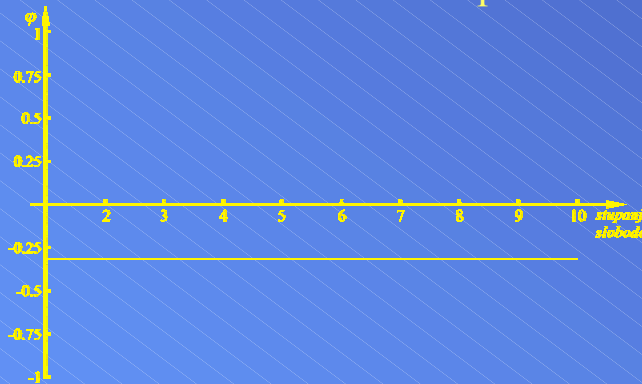
Korijeni prethodne jednačbe još se nazivaju i svojstvenom vrijednostima i kazuju za koje vrijednosti prisilne kružne frekvencije će doći do pojave rezonancije.

# Model brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija

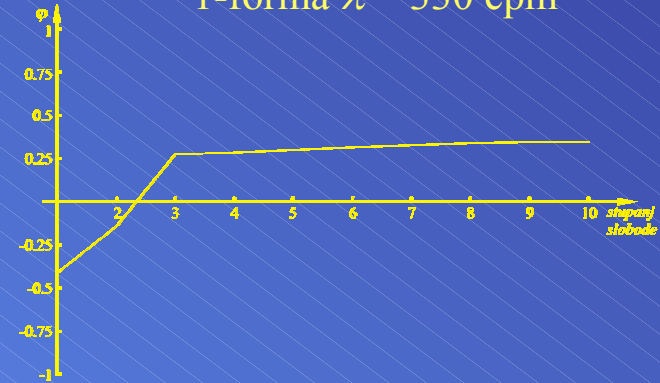
## Forme vibriranja sustava

- Forme vibriranja su prirodni način vibriranja slobodnog sustava pripadnom kružnom frekvencijom
- Sustav od  $n$  stupnjeva slobode ima  $n$  formi vibriranja

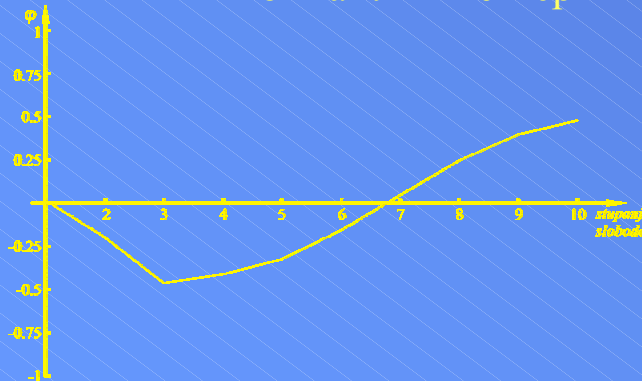
0-forma  $\lambda = 0$  cpm



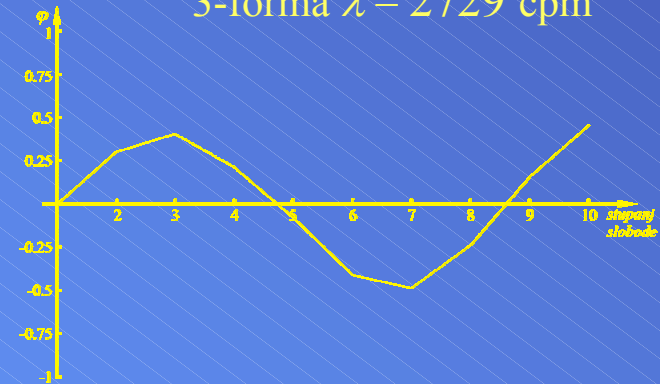
1-forma  $\lambda = 330$  cpm



2-forma  $\lambda = 1404$  cpm

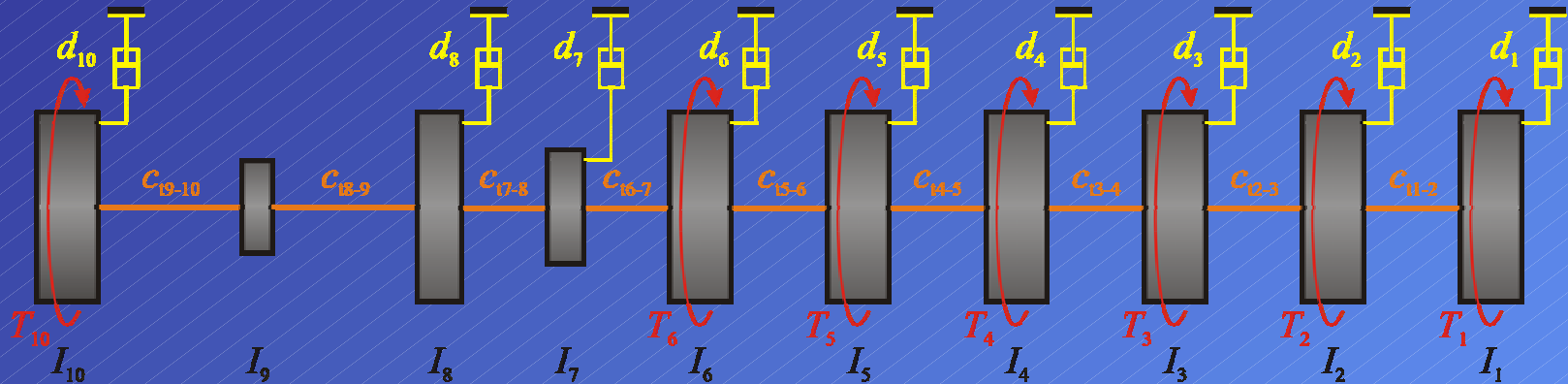


3-forma  $\lambda = 2729$  cpm



# Model brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija

## Prisilne vibracije s prigušenjem



$$[I]\{\ddot{\phi}\} + [d]\{\dot{\phi}\} + [c_t]\{\phi\} = \{T\}$$

$[d]$  - matrica prigušenja  
 $\{T\}$  – vektor opterećenja

Sustav  $2n$  linearnih jednadžbi čija su rješenja vrijednosti amplituda partikularnog rješenja diferencijalne jednadžbe

$$\begin{bmatrix} [c_t] - (n\omega)^2 [I] & -n\omega [d] \\ n\omega [d] & [c_t] - (n\omega)^2 [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{M\} \\ \{N\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{T_s\} \\ \{T_c\} \end{Bmatrix}$$

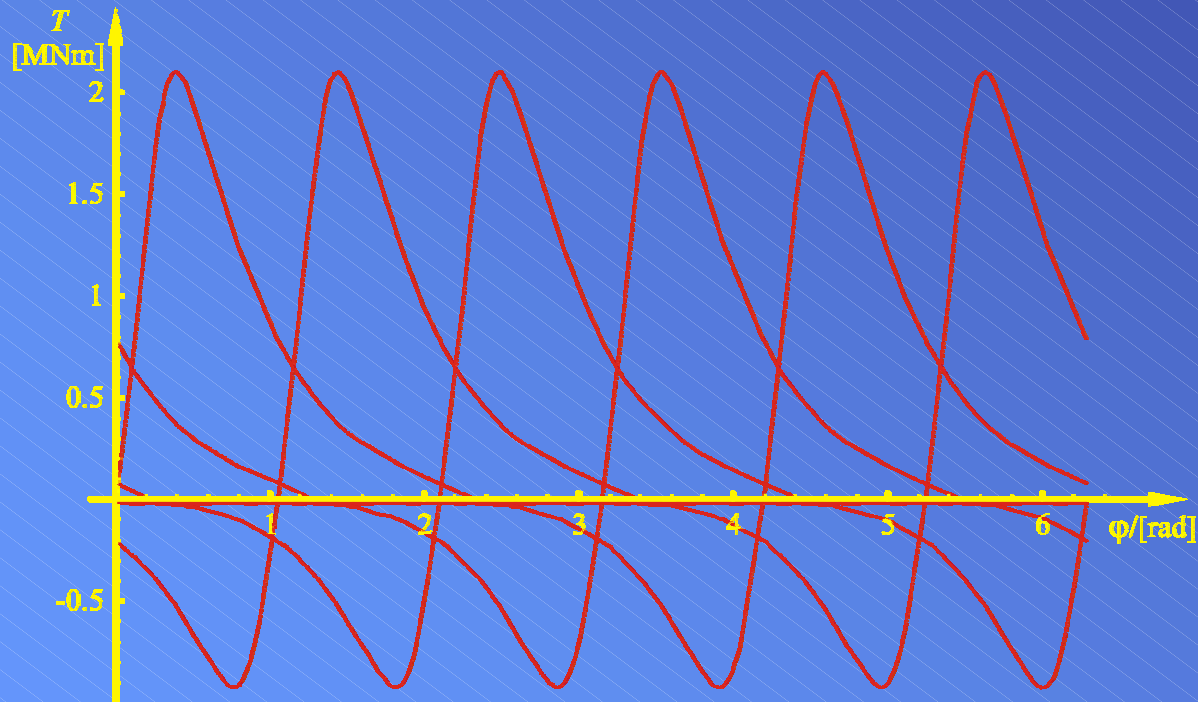
# Model brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija

## Opterećenje propulzijskog sustava

Opterećenje u pogonskome stroju (2T - dizelskom motoru) od izgaranja goriva

Opterećenje je izraženo razvojem srednjeg indiciranog tlaka u Fourierov red (vrijednosti  $a_k$  i  $b_k$  su dobivene od proizvođača)

$$\tilde{p}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{20} \left[ a_k \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) + b_k \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t) \right]$$

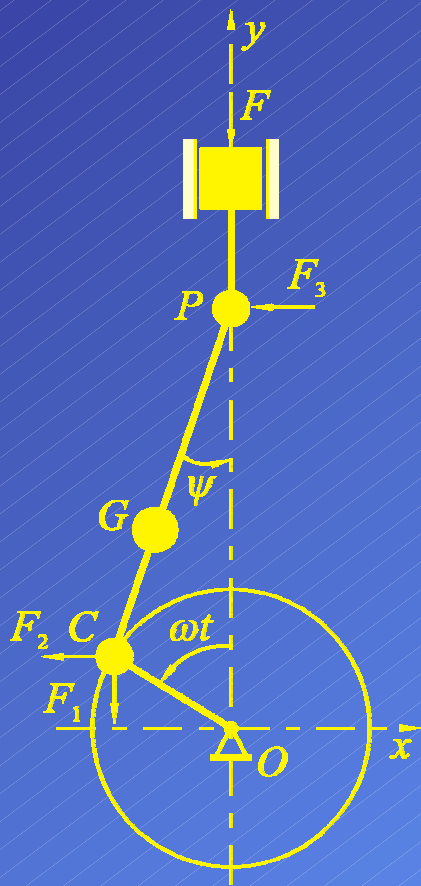


# Model brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija

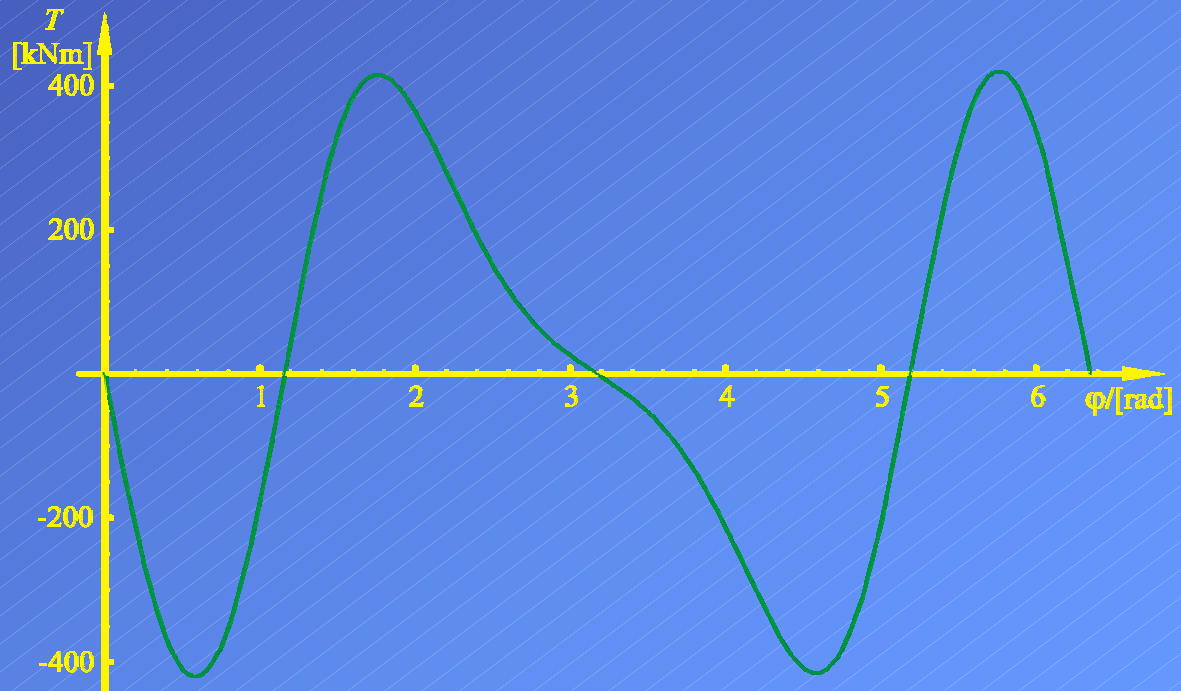
## Opterećenje propulzijskog sustava

Opterećenje u pogonskome stroju (2T - dizelskom motoru) uzrokovano složenim gibanjem masa

Opterećenje je izraženo razvojem momenta na koljeničastoj osovini u Fourierov red



$$T = -r \cdot [F_1 \cdot \sin(\omega t) + F_2 \cdot \cos(\omega t)]$$

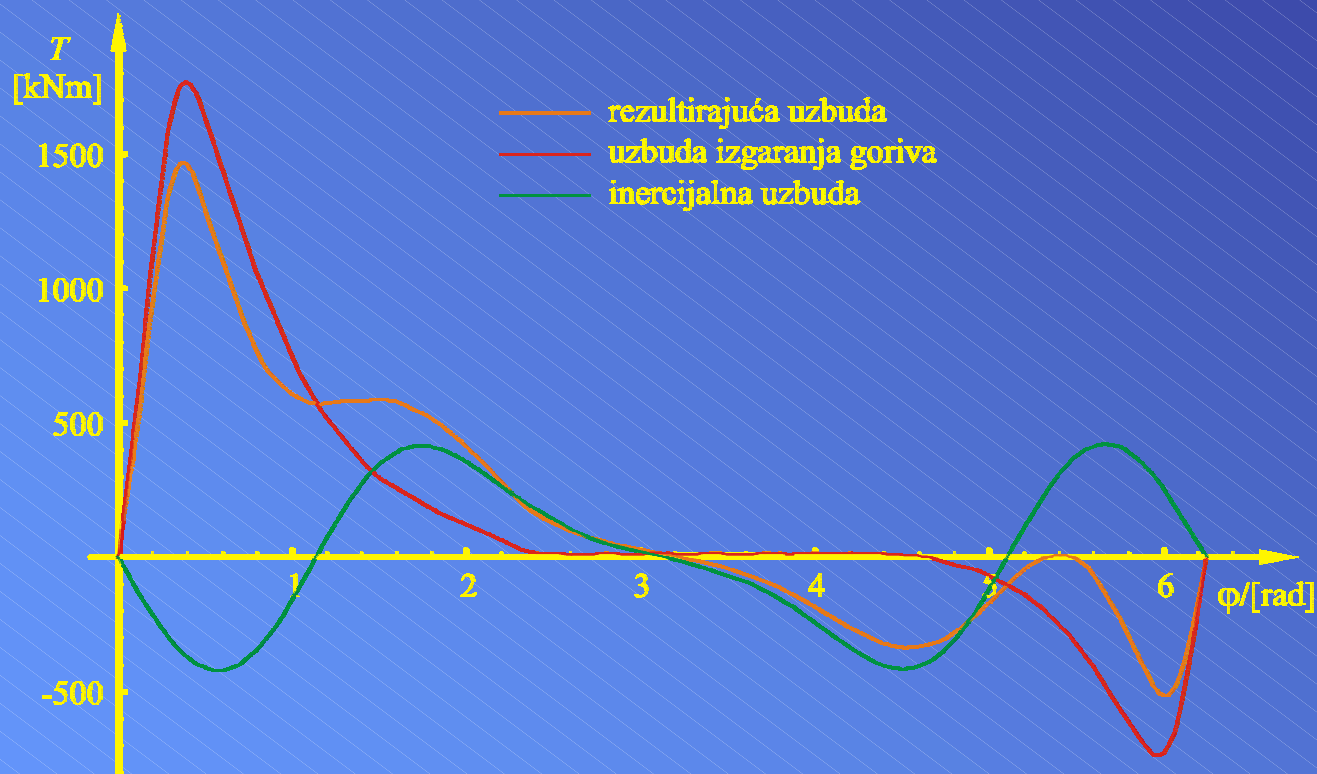




# Model brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija

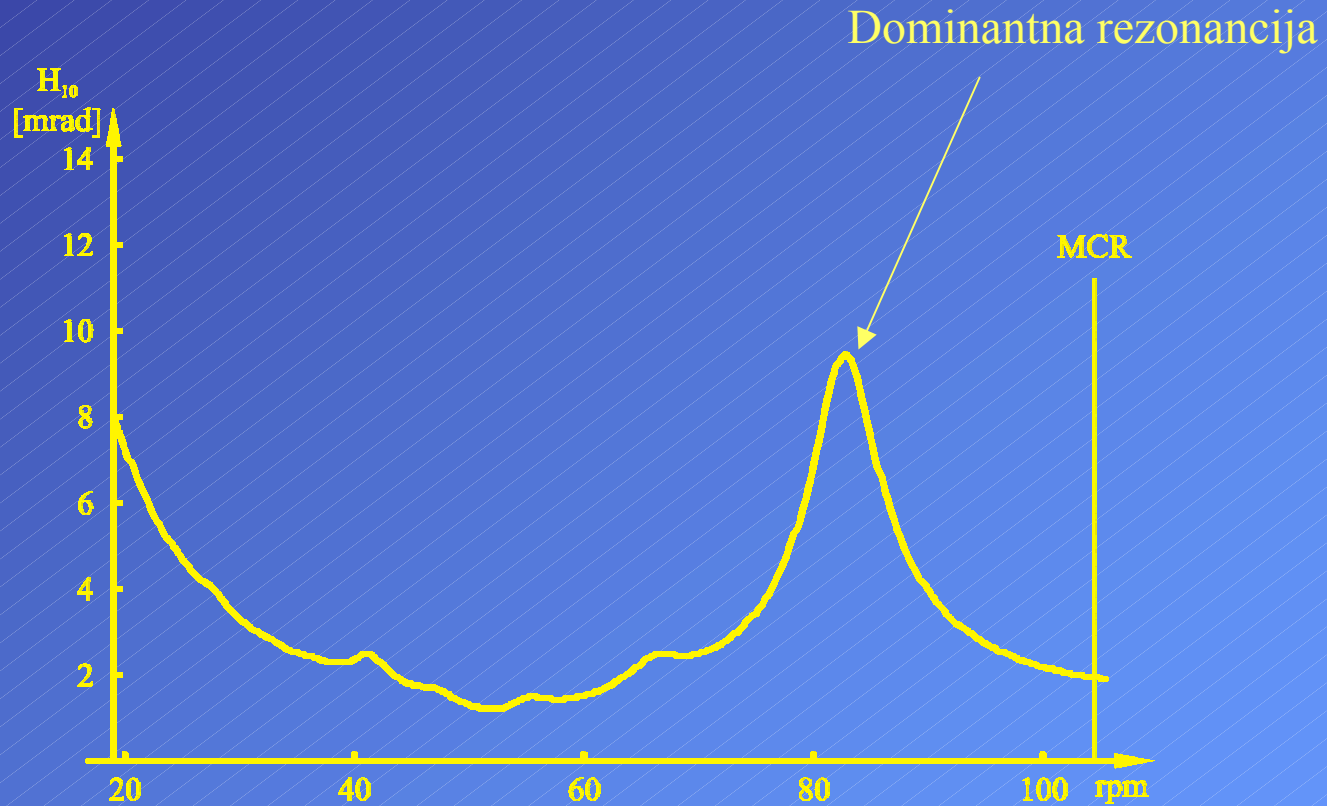
## Opterećenje propulzijskog sustava

Ukupno opterećenje na koljeničastome vratilu od jednog cilindra za jedan okret vratila



# Pregled rezultata

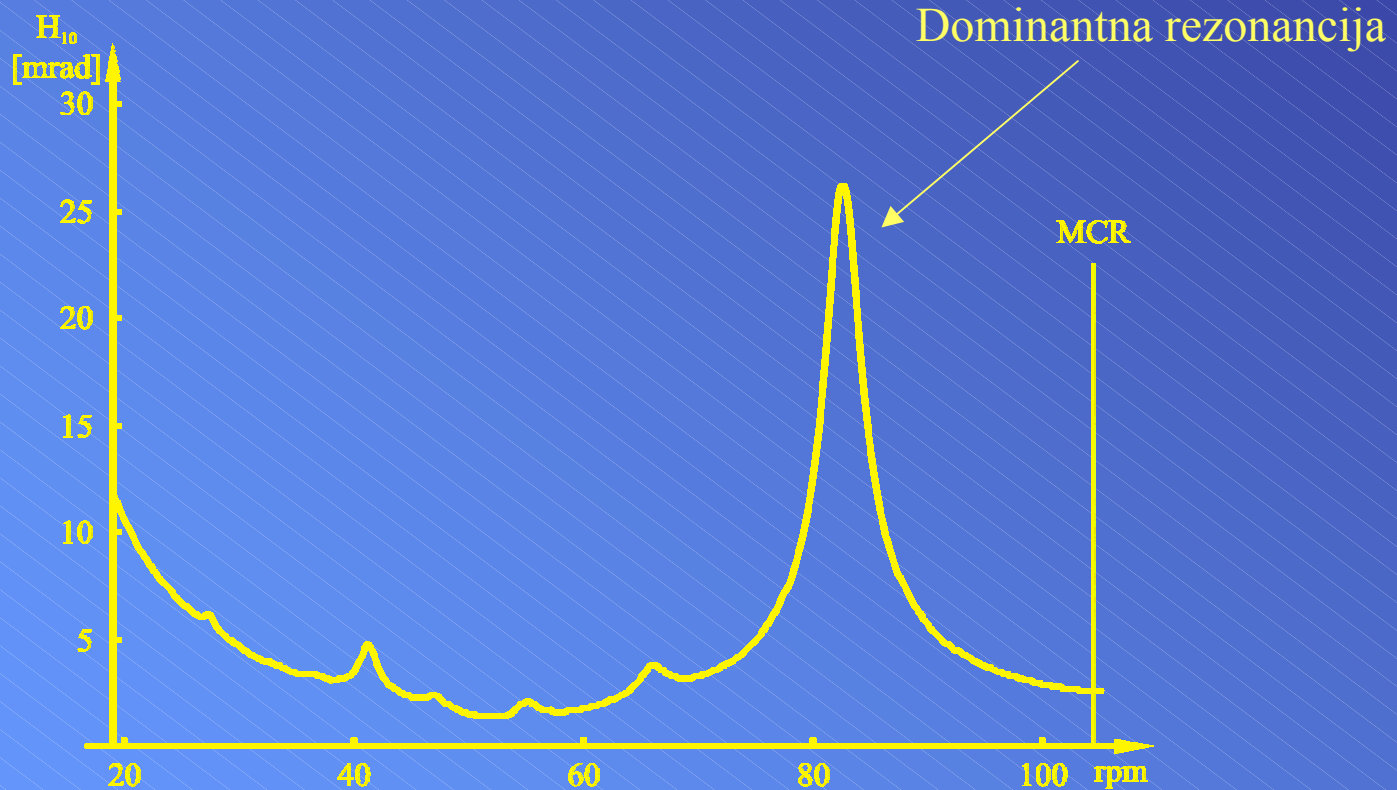
Odziv sustava u frekvencijskome području  
Sinteza odziva svih članova reda opterećenja



# Pregled rezultata

Odziv sustava u frekvencijskome području za prigušenje smanjeno 50% te propelerno opterećenje povećano 50%

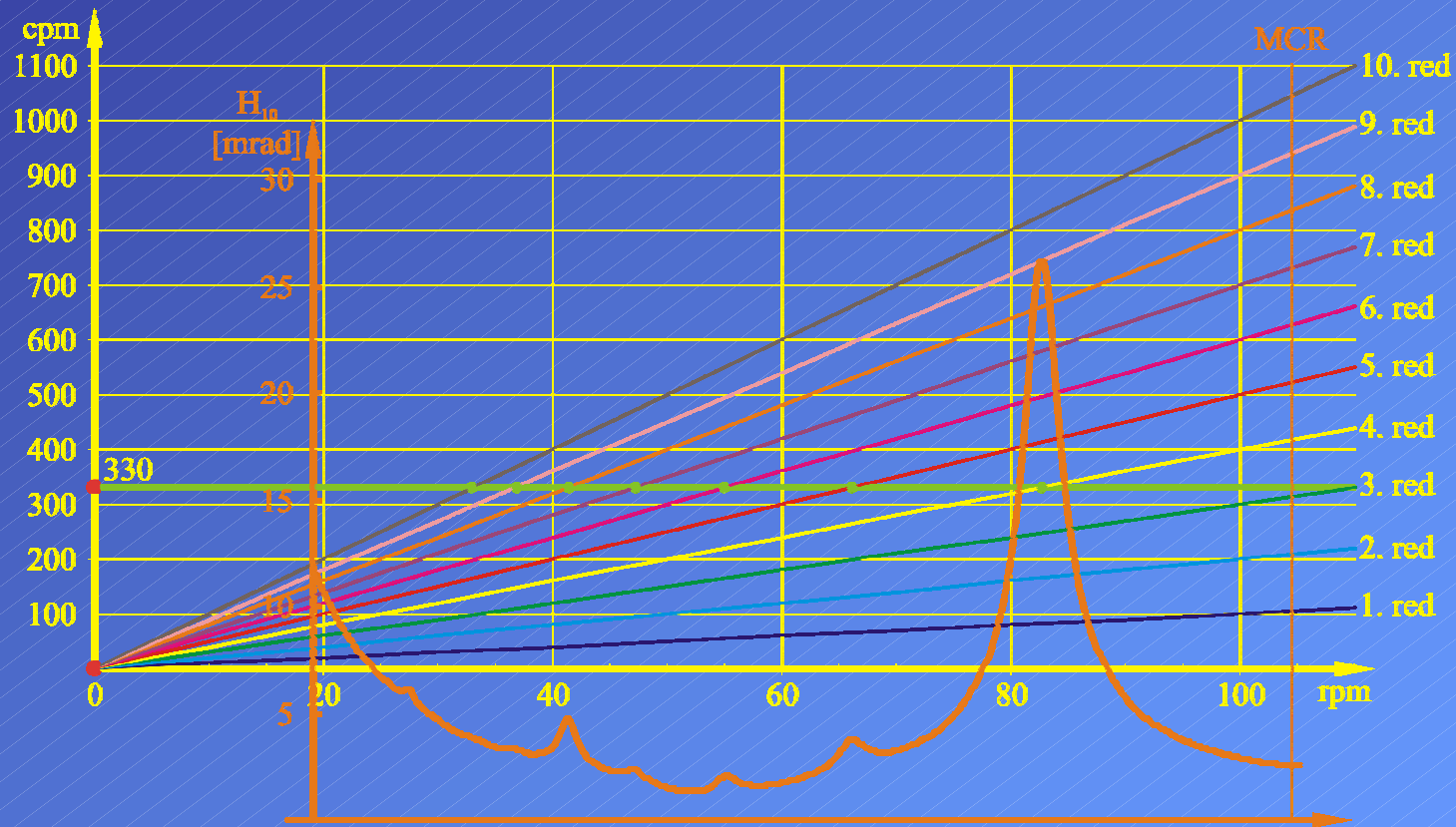
Sinteza odziva svih članova reda opterećenja



# Pregled rezultata

Integrirani prikaz režima rada, redova uzbude, vlastitih frekvencija (Campbell plot) i frekvencijskog odziva osovinskog voda.

Režimi rada i područja visokih amplituda.



# Zaključak

U radu su razvijena dva programa u MATHEMATICA-i:

- a) analiza torzijskih vibracija u vremenskome području
- b) analiza torzijskih vibracija u frekvencijskome području

Radom su obuhvaćena područja potrebna za sastavljanje modela brodskog propulzijskog sustava za slučaj torzijskih vibracija, modeliranje opterećenja, inercijskih masa, krutosti i prigušenja sustava.

Tijekom izrade ovog rada, suočio sam se s poteškoćom nabavke pojedinih ulaznih podataka, prigušenja i propelernog opterećenja pa su se isti usvajali prema sličnim primjerima.