

# DINAMIKA STROJEV IN KONSTRUKCIJ

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

**Predmet:** Dinamika strojev in konstrukcij

**Course title:** Dynamics of machines and structures

**Članica nosilka/UL Member:** UL FS

**Študijski programi in stopnja**

**Študijska smer**

**Letnik**

**Semestri**

**Izbirnost**

Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski (od študijskega leta 2024/2025 dalje)

Mehanika (smer)

1. letnik

2. semester

obvezni

**Univerzitetna koda predmeta/University course code:**

0566899

**Koda učne enote na članici/UL Member course code:**

6038-M

**Predavanja**  
**a**  
**/Lectures**

**Seminar**  
**/Seminar**

**Vaje**  
**/Tutorials**

**Klinične vaje**  
**/Clinical tutorials**

**Druge oblike študija**  
**/Other forms of study**

**Samostojno delo**  
**/Individual student work**

**ECTS**

30

30

65

5

**Nosilec predmeta/Lecturer:**

Gregor Čepon, Miha Boltežar

**Izvajalci predavanj:**

**Izvajalci seminarjev:**

**Izvajalci vaj:**

**Izvajalci kliničnih vaj:**

**Izvajalci drugih oblik:**

**Izvajalci praktičnega usposabljanja:**

**Vrsta predmeta/Course type:**

Obvezni strokovni predmet na smeri Mehanika, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Mechanics, which is an elective specialised course in other fields of study.

**Jeziki/Languages:**

Predavanja/Lectures:

Slovenščina

Vaje/Tutorial:

Slovenščina

**Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:****Prerequisites:**

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Magistrski študijski program II. stopnje Strojništvo - Razvojno raziskovalni program.

Meeting the enrollment conditions for the Master's study programme of Mechanical Engineering - Research and Development program.

**Vsebina:****Content (Syllabus outline):**

1. Uvod v dinamiko strojev in konstrukcij
  - Predstavitev gradnikov strojev in konstrukcij
  - Predstavitev metod diskretizacije zveznih dinamskih sistemov
2. Elasto-dinamski popis zveznih sistemov
  - Princip virtualnega dela (zapis dinamičnega ravnotežja zveznih sistemov)
  - Kinetična in potencialna energija zveznih sistemov
  - Definiranje dinamskih robnih pogojev
3. Rayleigh-Ritzova metoda
  - Izbira aproksimacijskih funkcij
  - Numerična modalna analiza ter predstavitev algoritmov za reševanje problema lastnih vrednosti
4. Metoda končnih elementov v linearni dinamski analizi
  - Predstavitev oblikovnih funkcij
  - Izpeljava masne matrike

1. Introduction to the dynamics of machines and structures
  - Presentation of structural members
  - Presentation of discretization methods for continuous dynamic systems
2. Elasto-dynamics description of continuous systems
  - Principle of virtual work
  - Kinetic and potential energy of continuous systems
  - Definition of dynamics boundary conditions
3. Rayleigh-Ritz method
  - Approximation functions
  - Numerical modal analysis, algorithms for solving eigenvalue problem
4. Finite element method in linear dynamic analysis
  - Presentation of shape functions
  - Derivation of mass matrix
5. Mode superposition methods
  - Definition of modal truncation

<p>(vztrajnostne sile)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Metode modalne superpozicije <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definicija modalnega odreza</li> <li>- Metoda efektivnih modalnih mas</li> </ul> </li> <li>6. Metode modalne redukcije <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definicija generaliziranih prostostnih stopenj</li> <li>- Statične modalne oblike</li> <li>- Dinamske modalne oblike</li> <li>- Predstavitev Guyanove metode</li> </ul> </li> <li>7. Integracija modelov dušenja v metodo končnih elementov <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viskozno dušenje</li> <li>- Histerezno dušenje</li> <li>- Viskoelastično dušenje</li> </ul> </li> <li>8. Dinamika jermenskih gonil <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vodilna enačba osno-premikajočega se kontinuuma</li> <li>- Določitev kritičnih hitrosti jermenskih gonil</li> </ul> </li> <li>9. Dinamika rotacijskih strojev <ul style="list-style-type: none"> <li>- Masna neuravnoteženost</li> <li>- Torzijska in upogibna nihanja vrtečih se delov</li> </ul> </li> <li>10. Dinamika prožnih rotorjev <ul style="list-style-type: none"> <li>- Določevanje kritičnih obratov več-masnih rotorjev</li> <li>- Uravnoteženje prožnih rotorjev</li> </ul> </li> <li>11. Dinamski model kotalnih ležajev <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zapis dinamskega modela kotalnega ležaja preko upoštevanja Hertzeve teorije kontakta.</li> <li>- Integracija analitičnega modela ležaja z metodo končnih elementov</li> </ul> </li> <li>12. Dinamika batnih strojev <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uravnoteženje kolenčastih gredi</li> <li>- Vibroizolacija pri batnih strojih</li> </ul> </li> <li>13. Vibracije in hrup transformatorjev(1) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Karakterizacija pojava magnetostricije</li> <li>- Dinamika lameliranih struktur</li> </ul> </li> <li>14. Vibracije in hrup transformatorjev(2) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibracije transformatorskih tuljav (Lorentzove sile)</li> <li>- Strukturni hrup</li> </ul> </li> <li>15. Zaključek predmeta ter predstavitev uporabe predstavljenih metod na realnih inženirskih aplikacijah.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Additional mass method</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Reduction methods <ul style="list-style-type: none"> <li>- Generalized degrees of freedom</li> <li>- Static modal shapes</li> <li>- Dynamic modal shapes</li> <li>- Guyan method</li> </ul> </li> <li>7. Integration of damping into the finite element models <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viscous damping</li> <li>- Hysteretic damping</li> <li>- Viscoelastic damping</li> </ul> </li> <li>8. Dynamics of belt drives <ul style="list-style-type: none"> <li>- Governing equation of axially moving continuum</li> <li>- Critical speeds of belt drives</li> </ul> </li> <li>9. Rotor dynamics <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mass imbalance</li> <li>- Torsional and bending vibration of rotating structures</li> </ul> </li> <li>10. Dynamic of flexible rotors <ul style="list-style-type: none"> <li>- Critical speed of multi-mass flexible rotors</li> <li>- Balancing of flexible rotors</li> </ul> </li> <li>11. Dynamics model of rolling-element bearings <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dynamics model of a roller bearing using Hertz contact theory</li> <li>- Integration of the analytical bearing formulation into the finite element method</li> </ul> </li> <li>12. Dynamics of piston machinery <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crankshaft balancing</li> <li>- Vibration isolation</li> </ul> </li> <li>13. Transformer vibration and noise (1) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Characterization of magnetostriction phenomena</li> <li>- Dynamics of laminated structures</li> </ul> </li> <li>14. Transformer vibration and noise (2) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformer coil vibration (Lorentz forces)</li> <li>- Structural borne noise</li> </ul> </li> <li>15. Finalizing the course and application of presented methods to real-life engineering structures.</li> </ol>
--	--

## Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Boltežar Miha: *Mehanska nihanja - 1.del (2. popravljena izdaja)*, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2010 [COBISS.SI-ID [253726720](#)]
2. Rao, S.S.: *Mechanical vibrations.- 5rd ed.- Reading etc. : Addison-Wesley Publishing Company, cop. 2011*, [COBISS.SI-ID [138737667](#)]
3. N. M. M. Maia, J. M. M. Silva: *Theoretical and Experimental Modal Analysis*, Research Studies Press, 1997, [COBISS.SI-ID [11736603](#)]
4. Craig, R., Kurdila, A. *Fundamentals of Structural Dynamics* (Wiley, 2006), [COBISS.SI-ID [9717787](#)]

## Cilji in kompetence:

### Cilji:

1. Spoznati osnovne konstrukcijske elemente v okviru linearno-elastične dinamske analize
2. Spoznati metode diskretizacije zveznih sistemov
3. Spoznati mehanizme dušenja ter njihovo integracijo v strukturne modele
4. Spoznati dinamske lastnosti strojev in njihovih sestavnih delov

### Kompetence:

1. Sposobnost pravilne razčlenitve zveznih dinamskih sistemov (S7-MAG, P3-MAG)
2. Sposobnost fizikalno-matematičnega popisa realnih kompleksnih izdelkov (S2-MAG, P4-MAG)
3. Sposobnost razvoja poenostavljenih veljavnih dinamskih modelov (S1-MAG, P1-MAG)
4. Obvladovanje aplikativnih znanj, ki so temeljna v procesu razvoja novih izdelkov (S7-MAG, S8-MAG, S10-MAG, P2-MAG)

## Objectives and competences:

### Objectives:

1. Characterization of basic structural elements in the framework of linear dynamics analysis
2. To get acquainted with discretization method for continuous systems
3. Understand the damping mechanisms and their integration into structural models
4. Competent presentation of the dynamic properties of machines and their components

### Competencies:

1. Ability to decouple continuous dynamics systems (S7-MAG, P3-MAG)
2. Ability to develop physical-mathematical models of real complex systems (S2-MAG, P4-MAG)
3. Ability to develop simplified valid dynamic models (S1-MAG, P1-MAG)
4. Ability to use applicative skills that are fundamental in the process of new product development (S7-MAG, S8-MAG, S10-MAG, P2-MAG)

## Predvideni študijski rezultati:

### Znanja:

Z2: Poglobljeno teoretično in praktično

## Intended learning outcomes:

### Knowledge:

Z2: Theoretical and practical

<p>razumevanje vodilnih enačb strukturne dinamike linearno-elastičnih sistemov.</p> <p>Z2: Poglobljeno poznavanje metod diskretizacije v okviru dinamike zveznih sistemov</p> <p>Z2: Sposobnost karakterizacije dinamskih lastnosti realnih inženirskih sistemov</p> <p>Spretnosti:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S2.1 Obvladovanje metod diskretizacije za potrebe dinamskih analiz</li> <li>2. S2.2 Samostojno načrtovanje ter razvoj kompleksnih modelov za namen virtualne napovedi dinamskih lastnosti sistemov</li> <li>3. S2.3 Karakterizacija dinamskih lastnosti sistemov ter njihova kritična presoja z vidika ustreznosti koncepta/zasnove.</li> </ol>	<p>knowledge of governing equations in linear-elastic structural dynamics</p> <p>Z2: In-depth knowledge of discretization methods in the field of continuous systems</p> <p>Z2: Ability to characterize the dynamics properties of real engineering systems</p> <p>Skills:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S2.1 Mastering the discretization methods for dynamics analyses.</li> <li>2. S2.2 Independent design and development of complex models to virtually predict the dynamic properties of systems.</li> <li>3. S2.3 Characterization of dynamics properties of systems and their evaluation in terms of design adequacy.</li> </ol>
---	--

#### **Metode poučevanja in učenja:**

#### **Learning and teaching methods:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih teoretičnih in praktično uporabnih primerov.</li> <li>2. P3 Avditorne vaje v računalniški učilnici, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri.</li> <li>3. P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog z obravnavanega področja.</li> <li>4. P10 Izvedba interaktivnega poučevanja preko uvajanja anket v realnem času pri osvajanju novih znanj.</li> <li>5. P14 Prikaz razvoja virtualnih modelov, izvajanje virtualnih eksperimentov.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. P1 Lectures with solving of selected theoretical and practical examples.</li> <li>2. P3 Practical classes where theoretical knowledge of the lessons is supported by computational examples.</li> <li>3. P8 Individualized applied seminars.</li> <li>4. P10 Use of instant real-time surveys.</li> <li>5. P14 Presentation of virtual models and virtual experiments.</li> </ol>
--	---

#### **Načini ocenjevanja:**

#### **Delež/ Weight**

#### **Assessment:**

Samostojno delo na laboratorijskih vajah.	5,00 %	Independent work in the laboratory tutorials.
---	--------	---

Preizkus iz vaj/seminarsko delo (uspeh vsaj 50%).	45,00 %	Exam/seminar work (at least 50%).
Preizkus iz teorije (uspeh vsaj 50%). Ustni zagovor predloga ocene.	50,00 %	Theoretical exam (at least 50%). Oral defense of the proposed grade.

### Ocenjevalna lestvica:

### Grading system:

5 - 10, pri čemer velja, da je pozitivna ocena od 6 - 10	5 - 10, a student passes the exam if he is graded from 6 to 10
--	--

### Reference nosilca/Lecturer's references:

#### Miha Boltežar:

- JAVORSKI, Matija, ČEPON, Gregor, SLAVIČ, Janko, **BOLTEŽAR, Miha**. A generalized magnetostrictive-forces approach to the computation of the magnetostriction-induced vibration of laminated steel structures. *IEEE transactions on magnetics*, ISSN 0018-9464, 2013, vol. 49, no. 1 [COBISS.SI-ID [13091611](#)],
- MRŠNIK, Matjaž, SLAVIČ, Janko, **BOLTEŽAR, Miha**. Vibration fatigue using modal decomposition. *Mechanical systems and signal processing : MSSP*, ISSN 0888-3270. [Tiskana izd.], Jan. 2018, vol. 98, str. 548-556. [COBISS.SI-ID [15513115](#)],
- OGRINEC, Primož, ČEPON, Gregor, **BOLTEŽAR, Miha**. Introduction of welds into dynamic model of laminated structures. *Strojniški vestnik*, ISSN 0039-2480, Feb. 2018, vol. 64, no. 2, str. 73-81. [COBISS.SI-ID [15918107](#)]

#### Gregor Čepon:

- POGAČAR, Miha, BREGAR, Tomaž, **ČEPON, Gregor**, BOLTEŽAR, Miha. *Near-to-node modal identification using multiple related response models*. Measurement : journal of the International Measurement Confederation, ISSN 0263-2241. [Print ed.], Feb. 2021, vol. 171, str. 1-12, ilustr. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224120312884?via%3Dihub>, doi: [10.1016/j.measurement.2020.108793](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108793). [COBISS.SI-ID [41183747](#)], [JCR, SNIP, WoS do 2. 3. 2021: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0, Scopus do 17. 12. 2020: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tip dela je verificiral OSICN, točke: 26.02, št. avtorjev: 4
- BREGAR, Tomaž, ZALETELJ, Klemen, **ČEPON, Gregor**, SLAVIČ, Janko, BOLTEŽAR, Miha. *Full-field FRF estimation from noisy high-speed-camera data using a dynamic substructuring approach*. Mechanical systems and signal processing, ISSN 0888-3270, Mar. 2021, vol. 150, str. 1-12, ilustr. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088832702030649X?via%3Dihub>, doi: [10.1016/j.ymssp.2020.107263](https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107263). [COBISS.SI-ID [31276803](#)], [JCR, SNIP, WoS do 9. 12. 2020: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0, Scopus do 29. 12. 2020: št. citatov (TC): 1, čistih

citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tip dela je verificiral OSICN, točke: 32.19, št. avtorjev: 5

3. KODRIČ, Miha, **ČEPON, Gregor**, BOLTEŽAR, Miha. *Experimental framework for identifying inconsistent measurements in frequency-based substructuring*. Mechanical systems and signal processing, ISSN 0888-3270, Jun. 2021, vol. 154, str. 1-19, ilustr.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327020309481?via%3Dihub>, doi: [10.1016/j.ymssp.2020.107562](https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107562). [COBISS.SI-ID [46607363](#)], [JCR, SNIP], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tip dela je verificiral OSICN, točke: 53.65, št. avtorjev: 3
4. STARC, Blaž, **ČEPON, Gregor**, BOLTEŽAR, Miha. *The influence of washing machine-leg hardness on its dynamics response within component-mode synthesis techniques*. International journal of mechanical sciences, ISSN 0020-7403, 2017, vol. 127, str. 23-30, ilustr.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020740316304027>. [COBISS.SI-ID [15686939](#)], [JCR, SNIP, WoS do 2. 7. 2018: št. citatov (TC): 1, čistih citatov (CI): 1, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0.33, Scopus do 29. 12. 2020: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 4, čistih citatov na avtorja (CIAu): 1.33] kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tip dela je verificiral OSICN, točke: 43.82, št. avtorjev: 3
5. **ČEPON, Gregor**, ROGELJ, Jakob, KNEZ, Luka, BOLTEŽAR, Miha. *On multibody-system equilibrium-point selection during joint-parameter identification: A numerical and experimental analysis*. Mechanism and machine theory, ISSN 0094-114X, Oct. 2018, vol. 128, str. 287-297, ilustr.  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/4DD5CFA769E4844C44957DC23A00BB0E4308D3BB4E503DF73B8751DAFE5811AE828E9444284C0DCDA803F3C3F90A1445>, doi: [10.1016/j.mechmachtheory.2018.06.006](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.06.006). [COBISS.SI-ID [16120347](#)], [JCR, SNIP, WoS do 23. 11. 2018: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0, Scopus do 22. 9. 2020: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tip dela je verificiral OSICT, točke: 29.32, št. avtorjev: 4