



EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA – 2022/2023

(Študijski izpitni red)

Izvajalec:

izr. prof. dr. Gregor Čepon (gregor.cepon@fs.uni-lj.si, 01 4771 229, kabinet DS-P6)

Predavanja	Vaje	Govorilne ure
Sreda: 12:00 - 14:00	Pon: 10:00-12:00 Pon: 12:00-14:00 Sre: 8:00-10:00 Sre: 10:00-12:00	Gregor Čepon Pet: 11:00-12:00 Domen Ocepek (po dogovoru na domen.ocepek@fs.uni-lj.si)

1. Opravljanje izpita

Načina A: Sprotno delo

S sprotnim delom lahko študent predmet opravlja le enkrat, pri čemer mora imeti predmet v danem študijskem letu vpisan v sistemu VIS.

Ocena predavanj:

Oceno predavanj lahko študent pridobi preko dveh kolokvijev, ki bosta izvedena tekom semestra.

Utež	Aktivnost	Min. prag uspešnosti
50%	Prvi kolokvij	min. 40%
50%	Drugi kolokvij	min. 40%
100%	Končni uspeh	min. 50%

Udeležba na zagovoru in vpisu ocene je obvezna.

Ocena vaj:

Za pozitivno ocenjene vaje se zahteva samostojna izdelava dveh seminarjev:

1. seminar: Eksperimentalna modalna analiza; identifikacija modalnih parametrov na akademski in realni strukturi.
2. seminar: Obratovalne deformacijske oblike in analiza prenosnih poti na realni strukturi.

Utež	Aktivnost	Min. prag uspešnosti
50%	Prvi seminar	min. 40%
50%	Drugi seminar	min. 40%
100%	Končni uspeh	min. 50%

Način B: Klasični izpit

(Pogoj: Pozitivna ocena vaj na osnovi obeh seminarjev)

Utež	Aktivnost	Min. prag uspešnosti
100%	Izpit iz teorije	min. 50%
100%	Končni uspeh	min. 50%

2. Okvirna lestvica ocen

%	0-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-100
Ocena	Negativno	6	7	8	9	10

(Opomba: Dejanska ocena se določi glede na rezultate kolokvijev/pisnega izpita ter ustnega zagovora.)

3. Potek predavanj in snov kolokvijev

	Tematika
Teden 1	Uvod v eksperimentalno modalno analizo: <ul style="list-style-type: none">- fizikalna domena za MDOF sistem- analitična izpeljava frekvenčne prenosne funkcije sistema- prehod v modalno domeno- modalna superpozicija
Teden 2	Predstavitev frekvenčne domene za modeliranje dinamskih lastnosti sistemov: <ul style="list-style-type: none">- impedančna in admitančna matrika- oblike frekvenčne prenosne funkcije- predstavitev merilne opreme za modalno testiranje- načini vzbujanja sistemov- načrtovanje preizkusov
Teden 3	Pregled različnih modelov dušenja: <ul style="list-style-type: none">- proporcionalno dušenje- histerezo dušenje- viskozno dušenje
Teden 4	Metode modalne identifikacije: <ul style="list-style-type: none">- predstavitev pristopov ter poglobljene razlike med SDOF in MDOF sistemi- predstavitev in izpeljava metode polovične moči
Teden 5	Metoda prilagajanja kroga: <ul style="list-style-type: none">- predstavitev in teoretična izpeljava metode
Teden 6	Ewins-Glessonova metoda: <ul style="list-style-type: none">- predstavitev in teoretična izpeljava metode- kriteriji vrednotenja rezultatov (MAC, coh, LAC, MCF)
Teden 7	Metoda kompleksnih eksponentov z najmanjšo kvadratično napako: <ul style="list-style-type: none">- predstavitev in teoretična izpeljava metode- uporaba in razširjenost metode v industriji- uporaba stabilizacijskega diagrama v kombinaciji z metodo LSCF- predstavitev odprtokodnih rešitev (pyFBS)
Teden 8	Merjenje dinamskega modela strukture med obratovanjem: <ul style="list-style-type: none">- obratovalne deformacijske oblike- obratovalna modalna analiza
Teden 9	Obisk strokovnjaka iz industrije: <ul style="list-style-type: none">- predstavitev uporabe eksperimentalne modalne analize v industriji
Teden 10	Dinamika podstruktur (1): <ul style="list-style-type: none">- uvod v koncept podstrukturiranja- predstavitev sklapljanja v frekvenčni domeni- zapis kompatibilnostnih in ravnotežnih pogojev- izpeljava primarnega sklapljanja
Teden 11	Dinamika podstruktur (2): <ul style="list-style-type: none">- izpeljava primarnega sklapljanja (LM-FBS)- problem eksperimentalnega sklapljanja- uvod v projekcijske in razširitvene metode
Teden 12	Analiza prenosnih poti (1): <ul style="list-style-type: none">- problem prenosa vibracij iz aktivnih na pasivne komponente- metode ekvivalentnih sil
Teden 13	Analiza prenosnih poti (2): <ul style="list-style-type: none">- klasične metode- obratovalna analiza prenosnih poti- regularizacijske tehnike
Teden 14	Uporaba eksperimentalne modalne analize, metod podstrukturiranja in analize prenosnih poti v slovenski industriji

4. Literatura

- [1] Michael Häußler. *Modular sound & vibration engineering by substructuring*. PhD thesis, Universität München, 2021.
- [2] Miha Boltežar. *Mehanska nihanja-1. del*. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2010.
- [3] N.M.M. Maia and J.M.M. Silva. *Theoretical and experimental modal analysis*. Research Studies Press, 1997.
- [4] David J Ewins. *Modal testing: Theory and practice*. Research Studies Press, 1984.
- [5] Peter Avitabile. *Modal testing: A practitioner's guide*. John Wiley & Sons, 2017.
- [6] Peter Verboven. *Frequency-domain system identification for modal analysis*. PhD thesis, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, 2002.
- [7] Zhi-Fang Fu and Jimin He. *Modal analysis*. Elsevier, 2001.
- [8] M. Van der Seijs. *Experimental dynamic substructuring: Analysis and design strategies for vehicle development*. PhD thesis, TU Delft, 2016.
- [9] Carlo Rainieri and Giovanni Fabbrocino. Operational modal analysis of civil engineering structures. *Springer, New York*, 142:143, 2014.
- [10] Christof Devriendt and Patrick Guillaume. The use of transmissibility measurements in output-only modal analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(7):2689–2696, 2007.
- [11] D. Klerk, D. Rixen, and S. Voormeeren. General framework for dynamic substructuring: History, review, and classification of techniques. *AIAA Journal*, 46:1169–1181, 05 2008.
- [12] P. Tiso, Allen M., D. Rixen, T. Abrahamsson, M. Van der Seijs, and R. Mayes. *Substructuring in Engineering Dynamics - Emerging Numerical and Experimental Techniques*. Springer, 09 2019.
- [13] M. van der Seijs, D. de Klerk, and D. Rixen. General framework for transfer path analysis: History, theory and classification of techniques. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 68:217–244, 2016.
- [14] Tomaž Bregar, Ahmed El Mahmoudi, Miha Kodrič, Domen Ocepek, Francesco Trainotti, Miha Pogačar, Mert Göldeli, Gregor Čepon, Miha Boltežar, and Daniel J. Rixen. pyFBS: A python package for frequency based substructuring. *Journal of Open Source Software*, 7(69):3399, 2022.
- [15] E. Pasma, M. van der Seijs, S. Klaassen, and M. van der Kooij. Frequency based substructuring with the virtual point transformation, flexible interface modes and a transmission simulator. In *Dynamics of Coupled Structures, Volume 4*, pages 205–213. Springer, 2018.
- [16] S. Klaassen, M. van der Seijs, and D. de Klerk. System equivalent model mixing. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 105:90–112, 2018.
- [17] John C O'Callahan. System equivalent reduction expansion process. In *Proc. of the 7th Inter. Modal Analysis Conf., 1989*, 1989.