

PREDMET		DINAMIKA KONSTRUKCIJA		
VODITELJ PREDMETA		Prof.dr. Mustafa Hrasnica		
CIKLUS STUDIJA	STATUS	SEMESTAR	SATI NASTAVE P+V	ECTS
M - K	obavezni	2	2+2	6
CILJEVI				
<ul style="list-style-type: none"> □ Uvesti studente u područje Dinamike konstrukcija sa naglaskom na modele građevinskih konstrukcija. Objasniti specifičnost djelovanja dinamičkog opterećenja na nosive konstrukcije, različiti dinamički modeli, metode rješavanja i sposobnost tumačenja rezultata dinamičke analize modela nosivih konstrukcija. 				
ISHODI UČENJA				
<ul style="list-style-type: none"> □ Razumijevanje djelovanja dinamičkog opterećenja na konstrukcije, sile inercije, vlastite frekvencije, periodi oscilovanja, vlastite forme/oblici oscilovanja, utjecaj prigušenja. □ Sposobnost analize dinamičkih modela nosivih konstrukcija, sistemi sa jednim i više stupnjeva slobode, sistemi sa raspodjeljenom masom, izloženi raznim dinamičkim opt. ravnomjerna din. sila, udari/impulsi, harmonijsko opterećenje, pomak i ubrzanje tla itd.. □ Prepoznavanje osnovnog nosivog sistema i bitnih dinamičkih stupnjeva slobode. 				
SADRŽAJ PREDMETA				
<ul style="list-style-type: none"> □ Uvod. statičko vs. dinamičko opt. dinamički odgovor i sile inercije, moment inercije mase. □ Općenito sistem s jednim stupnjem slobode (1SS), D'Alambertov princip, translacioni i rotacioni stupnjevi slobode, masa, krutost, prigušenje, frekvencije, periodi oscilovanja. □ Slobodne i prigušene oscilacije sistema 1SS, razine prigušenja, logaritamski dekrement. Prisilne oscilacije sistema 1SS za djelovanje konstantne din. sile, pravokutni i sinusni impuls/udar, definiranje dinamičkog i trenutnog dinamičkog faktora, spektar odgovora. □ Harmonijsko opterećenje, rezonanca, značaj prigušenja. Opće rješenje za sistem 1SS, Duhamelov integral, oscilacije sistema 1SS usljed pomjeranja oslonaca i ubrzanja tla. □ Oscilacije sistema sa više stupnjeva slobode (VSS). Redukcija dinamičkih stupnjeva slobode, metoda generaliziranih koordinata. Matrične dinamičke jednačbe ravnoteže. □ Primjeri mehaničkih modela za sistem 2SS, rješavanje homogenih jednačbi. Vlastite vrijednosti i vlastite forme, determinanta sistema, frekventna jednačba. □ Ortogonalnost vlastitih formi. Opće rješenje sistema 2SS. Približno određivanje vlastitih frekvencija i formi. Metoda Stodola-Vianello, metoda Rayleigh. □ Prisilne oscilacije sistema VSS sa i bez prigušenja, razdvajanje na n jednačbi, generalizirana promjenljiva, aproksimacija max. odgovora. Zamjensko prigušenje. □ Oscilacije sistema sa raspodjeljenom masom. Postavke i rješavanje dif. jedn. ravnoteže. Vlastite forma, usporedba sa VSS, ortogonalnost formi, rješenje prisilnih oscilacija sa i bez prigušenja, koeficijenti participacije vlastitih formi. Specifičnosti modela smičuće grede, primjer višekatni okviri sa krutim gredama. □ Oscilacije nelinearnih sistema, svojstva, približan postupak za rješavanje nelin. problema. 				
PREPORUČENA LITERATURA				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Predavanja nastavnika 2. Anil K. Chopra <i>Dynamics of structures</i>, Prentice Hall Int. Series, 1995-2015. 				
Način polaganja ispita:				
<p>Testovi u toku semestra (minimalno 2), dodatni samostalni rad (opcionalno).</p> <p>Formiranje ocjene: Rad u toku semestra minimalno 50 %, završni ispit maksimalno 50 %.</p>				

<i>Sedmica</i>	<i>Predavanja</i>	<i>Vježbe</i>
1	Uvod. Sadržaj i organizacija predmeta. Dinamička opterećenja, sile inercije, moment inercije mase, def. i primjer, mehanički model sistema sa jednim stupnjem slobode (1SS), krutost, prigušenje, koef. prigušenja, D'Alambertov princip, izvođenje dif. jedn. kretanja, sistem 1SS. Din. jedn. ravnoteže za sistem sa jednim rotacionim stupnjem slobode.	Napomena uz vježbe: Prvi časovi vježbi se koriste za predavanja. Ponavljanje osnovnih pojmova iz dinamike krutog tijela. Određivanje krutosti kod jednostavnih nosača, za ciljane stupnjeve slobode i naprezanja. Mase, momenti inercije mase, sile inercije, objašnjenja.
2	Slobodne oscilacije sistema 1SS bez prigušenja, izvođenje, definicija vlastita i tehnička frekvencija, period oscilovanja. Ekvivalentna krutost, serijske i paralelne veze u mehaničkim modelima. Slobodne prigušene oscilacije sistema 1SS, slučajevi malog i velikog prigušenja.	Primjeri za izračunavanje slobodnih oscilacija sistema 1SS, prirodna i tehnička frekvencija, periodi oscilovanja, ekvivalentna krutost, serijski i paralelno vezane opruge. Primjeri uz slobodne prigušene oscil.
3	Kritično prigušenje, def. koeficijenta prigušenja, odnos prigušenih i neprigušenih frekvencija, logaritamski dekrement. Prisilne oscilacije sistema 1SS, općenito, dinamička jedn., rješenja hom. + part. Djelovanje konstantne dinamičke sile, definiranje dinamičkog i trenutnog dinamičkog faktora, DF i TDF.	Nastavak primjera za slobodne prigušene oscilacije, logaritamski dekrement. Primjeri uz prisilne oscilacije sistema 1SS, izloženog djelovanju konstantne dinamičke sile, proračun dinamičkog i trenutnog dinamičkog faktora.
4	Udar/impuls sile., fizikalno objašnjenje, definicije, općenito rješenje. Pravokutni puls, ovisnost odgovora o odnosu duljine pulsa i perioda oscilovanja, spektri odgovora/reag. Puls u obliku sinusnog polutalasa. Usporedbe spektara odgovora za razne oblike udara.	Primjeri uz sistem 1SS izložen udaru (impulsu). Primjeri pravokutnog, sinusnog, trokutnog impulsa, usporedbe. Proračun spektara odgovora/reagovanja za različite oblike i dužine trajanja udara.
5	Primjer din. opt. koje se u kratkom vremenu poveća do konstantne sile. Zajednički spektar odgovora za sva prethodna opterećenja. Harmonijska (periodična) sila. Diskusija rješenja za sistem 1SS, grafičke ilustracije. Pojam rezonancije, utjecaj prigušenja, napomena realne konstrukcije.	Analiza utjecaja din. opt. koje se linearno poveća do konstantne sile. Definiranje zajedničkog spektra za DF. Primjeri za djelovanje periodične sile. Razmatranje utjecaja prigušenja na veličinu odgovora i problem pojave rezonance.
6	Opće rješenje problema prisilnih oscilacija, Duhamelov integral, fizikalno objašnjenje. Oscilacije uzrokovane pomakom oslonaca. Pomak u obliku sinusnog polutalasa. Oscilacije sistema 1SS usljed ubrzanja tla/potresa. Rješenja u obliku Duhamelovog integrala	Praktična objašnjenja uz opće rješenje prisilnih oscilacija sistema 1SS, integral konvolucije. Primjeri za opt. u vidu pomaka tla. Točak vozila prelazi preko neravnine. Pobuda u obliku ubrzanja tla.
7	Test 1.	Oscilacije sistema sa više stupnjeva slobode (VSS)- uvod. Modeli sa koncentričnim masama, redukcija dinamičkih stupnjeva slobode. Metode generaliziranih koordinata i konačnih elemenata.

8	Sistem VSS, D'Alambertov princip. Fizikalno objašnjenje. Matrična formulacija din. jedn. Def. članova matrica krutosti, prigušenja, utjecaj aksijalne sile. Određivanje krutosti jednostavnih 1-katnih okvira ovisno o odnosu krutosti grede i stubova. Diskretizacija sistema VSS na primjeru dvokatnog okvira. Dinamičke jedn. ravnoteže na mehaničkom modelu 2-katnog okvira.	Određivanje krutosti modela nosivih konstrukcija, prepoznavanje svrsishodne redukcije dinamičkih stupnjeva slobode sistema VSS. Formiranje matrica mase i krutosti.
9	Slobodne oscilacije sistema VSS, primjer 2-katni okvir., diferencijalne dinamičke jednadžbe ravnoteže, razvijena i matrična forma, Pojam vlastitih (sopstvenih) formi (oblika), rješavanje homogenog dinamičkog sistema jednadžbi Determinanta sistema, karakteristični polinom, frekventna jednadžba – vlastite vrijednosti – prirodne ili vlastite frekvencije, prva ili osnovna frekvencija/period, prva vlastita forma. Opće rješenje sistema 2SS, izvođenje, konstante.	Primjeri uz slobodne oscilacije sistema VSS, proračun vlastitih vrijednosti, frekvencija i formi oscilovanja. Formiranje determinante sistema, rješavanje karakterističnog polinoma – frekventne jednadžbe. Prva/osnovna i više forme oscilovanja. Opće rješenje problema slobodnih oscilacija/vibracija sistema VSS.
10	Rješavanje dif. jedn. sistema VSS u općem obliku. Određivanje matrice mase i matrice krutosti, matrica fleksibilnosti/gipkosti. Određivanje vlastitih vrijednosti i vlastitih formi približnim postupcima, zašto-razlozi. Iteraciona metoda Stodola (Stodola-Vianello), objašnjenje, dinamička matrica, konvergencija ka najnižoj ili najvišoj vlastitoj formi, primjeri. Postupak za preostale vlastite forme.	Vježbe uz proračun matrica mase, krutosti, fleksibilnosti. Primjeri uz metodu Stodola-Vianello. Primjene postupaka za direktan proračun prve (najniže) vlastite frekvencije i forme oscilovanja, kao i najviše frekvencije i forme. Proširenje postupka na proračun ostalih vlastitih frekvencija i formi.
11	Metoda Rayleigh-a za određivanje vlastitih frekvencija i formi, princip očuvanja energije. Prisilne oscilacije sistema VSS bez prigušenja. Uvođenje generalizirane funkcije, transformacija u n neovisnih jedn. Rješenje u analogiji sa 1SS, Duhamelov integral, Df_i , TDF_i . Participacija pojedinih vlastitih formi u ukupnom odgovoru. Aproksimacija max. odgovora.	Primjeri uz metodu Rayleigha, sistem 1SS i sistem VSS. Primjeri za prisilne oscilacije sistema VSS, odgovor kao kombinacija odgovora u pojedinim formama oscilovanja, faktori participacije. Opterećenja udarom, periodičnom silom itd. Procjena max. odgovora.
12	Prisilne oscilacije sistema VSS sa prigušenjem. Zamjensko prigušenje u sistemu VSS, postotak od kritičnog prigušenja u i -toj formi oscilovanja. Oscilacije sistema sa raspodjeljenom masom, specifičnosti u odnosu na VSS. Postavljanje dinamičke jednadžbe ravoteže. Slobodne oscilacije sistema sa raspodjeljenom masom, rješavanje dif. jedn. proizvod dvije funkcije po dvije varijable x i t .	Nastavak primjera proračuna prisilnih oscilacija, uključujući i prigušenje, a za djelovanje raznih din. opt. Matrica prigušenja kao kombinacija matrica masa i krutosti, proračun koeficijenata ovisno o iznosu prigušenja i vlastitim frekvencijama u pojedinim formama oscilovanja. Slobodne oscilacije raspodj. masa.
13	Nosači sa rasp. masom: prosta greda, konzola, ortogonalnost vlastitih formi, ukupno rješenje za slobodne oscilacije, kombinacija vlastitih formi. Prisilne oscilacije, n neovisnih jednadžbi po q , koeficijenti participacije, Duhamelov integral. Uvrštavanje prigušenja, aproks. max odgovora.	Primjeri proračuna vlastitih frekvencija i formi oscilovanja sistema sa raspodjeljenom masom. Usporedbe sa sistemom VSS. Primjeri proračuna za prisilne oscilacije sistema sa raspodjeljenom

	Smičuća greda, posebnost modela, postavljanje diferencijalne jednačbe smičuće grede, rješavanje, krutost smičuće grede, brzina širenja smičućih valova. Usporedba sa uobičajenim sistemom sa raspodjeljenom masom.	masom. Koeficijenti participacije pojedinih vlastitih formi. Slobodne oscilacije modela smičuće grede.
14	Rješenje za prisilne oscilacije smičuće grede. Primjene na visoku zgradu sa okvirima. Osnovna svojstva nelinearnog dinamičkog odgovora konstrukcija. Numerička integracija, „step by step“ procedure. Metod linearnog ubrzanja – Newmarkov postupak.	Primjeri proračuna sistema sa raspodjeleljnom masom, modeliran kao smičuća greda, višekratni okvir sa krutim gredama. Napomene uz numeričke postupke rješavanja nelinearnih problema.
15	Test 2	Konsultacije prije testa 2. Složeniji primjeri za sisteme VSS i sa raspodjeljenom masom.