

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

# Doktorské studium

*Seznam předmětů – 2019/2020*

*Katedra mechaniky*

**Předměty vědního základu**

**Dynamika strojů**

*Dynamics of Machines*

**Prof. Dr. Ing. Jan Dupal**

Matematické modelování pohybu vázaných mechanických soustav metodou Lagrangeových rovnic. Diskrétní modely lineárních kmitavých soustav v maticovém tvaru. Spektrální a modální matice. Modální metody vyšetřování dynamické odezvy. Ustálené harmonické a periodicky buzené kmity. Modelování rozsáhlých mechanických systémů metodou modální syntézy a kondenzace. Vybrané aplikace: dynamika rotorů, pružné ukládání strojů, torzní kmity pohonových soustav, kmitání hřídelových soustav s ozubenými koly, kmitání nosníkůvých a potrubních systémů, seismicky buzené kmity konstrukcí.

**Nelineární dynamické systémy a chaos**

*Nonlinear Dynamical systems and Chaos*

**Prof. Ing. Josef Rosenberg, DrSc.**

Nelineární oscilátory, základní pojmy z teorie dynamických systémů, bodové atraktory a limitní cykly v autonomních systémech, typy bifurkací. Floquetova teorie, metoda vícenásobných škál, kvaziperiodická řešení, periodické a chaotické atraktory buzených oscilátorů, stabilita a bifurkace iteračních zobrazení. Deterministický chaos v diskrétních dynamických systémech, typy přechodu k chaosu, chaos v Hamiltonovských systémech, vybrané aplikace.

**Mechanika stochastických systémů**

*Mechanics of Stochastic systems*

**Prof. Dr. Ing. Jan Dupal**

Úvod a nástroje statistické mechaniky. Funkce náhodné proměnné, náhodné procesy, jejich charakteristiky a zpracování. Stacionarita, časové průměry, ergodičnost, korelace, výkonové spektrum, normální procesy. Odezva lineárních diskrétních systémů a kontinuí na náhodné buzení, statistické charakteristiky výstupů systémů s náhodnými parametry. Nelineární mechanické systémy, statistické

charakteristiky výstupů nelineárních systémů pomocí linearizace a řešením Fokker-Planck-Kolmogorovy rovnice. Modelování náhodných procesů. Regrese a identifikace mechanických systémů. Výpočty poškození a odhadování životnosti.

### **Soustavy více těles**

*Multiple body systems*

**Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.**

Transformační matice základních pohybů, rychlosti, zrychlení bodů a těles. Kinematika současných pohybů těles v maticové formulaci. Složení a topologie vázaných mechanických soustav (VMS), popis struktury, vektorové a maticové metody řešení kinematických závislostí. Prostorové VMS s nižšími a vyššími kinematickými dvojicemi. Numerické řešení kinematických závislostí VMS. Maticové metody dynamického vyšetřování VMS aplikací bivektorů, rekurzivních metod a Lagrangeových rovnic smíšeného typu, numerické řešení pohybových rovnic. Dynamická analýza VMS s uvažováním poddajnosti těles a kinematických dvojic, kinetostatika VMS.

### **Analýza, syntéza a optimalizace VMS**

*Multibody Analysis, Synthesis and Optimisation*

**Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.**

Maticové metody řešení kinematických závislostí vázaných mechanických systémů (VMS). Transformační matice nižších a vyšších kinematických dvojic. Numerické kinematické řešení mechanismů. Kinematická analýza mechanismů s vyššími kinematickými dvojicemi, aplikace Bézierových-Bersteinových polynomů. Geometrická a kinematická syntéza VMS, syntéza vačkových mechanismů. Konstrukční rovnice geometrické a kinematické syntézy vodících a převodových mechanismů, generátory funkcí. Syntéza jako problém optimalizace. Přesnost a citlivost mechanismů a kinematických řetězců.

### **Syntéza a optimalizace mechanických soustav**

*Synthesis and optimization of mechanical systems*

**Prof. Dr. Ing. Jan Dupal**

Klasifikace vybraných úloh dynamické syntézy kmitavých mechanických systémů (kondenzace, ladění, optimalizace). Metody dynamické kondenzace. Metody spektrálního ladění. Citlivost vlastních veličin na změny návrhových parametrů. Formulace úloh parametrické optimalizace v dynamice strojů a konstrukcí. Algoritmy jednorozměrné a vícerozměrné nepodmíněné minimalizace. Podmíněná minimalizace. Software pro optimalizaci.

### **Teorie kmitání**

*Theory of Vibration*

**Prof. Dr. Ing. Jan Dupal**

Matematické modely diskrétních nekonzervativních lineárních soustav, jejich klasifikace a spektrálně-modální vlastnosti. Modální metody vyšetřování dynamické odezvy. Metody spektra odezva. Citlivost dynamických vlastností soustav na změnu návrhových parametrů. Modelování rozsáhlých mechanických systémů metodou modální syntézy. Analytické metody vyšetřování volných a vynucených kmitů jednorozměrných kontinuí. Klasifikace nelineárních soustav, modelování nelinearit a přibližné analytické metody vyšetřování kmitání.

## **Výpočtové metody dynamiky**

*Computational Methods of Dynamics*

**Prof. Dr. Ing. Jan Dupal**

Matematické modelování problémů dynamiky kontinua. Přibližné metody diskretizace. Určování modálních veličin. Výpočty odezev kontinuí reprezentovaných pomocí samoadjungovaných a nesamoadjungovaných operátorů a pomocí matic (po diskretizaci). Diskretizace konstrukcí typu nosník, rotující hřídel, deska a skořepina pomocí MKP a modelování konstrukcí složených z uvedených kontinuí. Napěťová a stabilitní analýza nesymetrických rotorů a prostorových těleso-nosníkových systémů. Numerické metody přímé integrace pohybových rovnic. Využití prostředí MATLAB v dynamice.

## **Lomová mechanika**

*Fracture Mechanics*

**Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.**

Griffithova teorie křehkého porušení. Lineární lomová mechanika. Irwin-Orowanův přístup, součinitelé intenzity napětí, lomová houževnatost, podmínka stability trhliny. Nelineární lomová mechanika: J-integrál, rozevření trhliny, metody jejich určení. Dvouparametrická lomová mechanika. Energetický přístup v lomové mechanice. Energetické principy. Kombinovaný mód zatížení. Numerické modelování úloh lomové mechaniky a jejich řešení pomocí MKP. Lomová mechanika ve vazbě na únavu materiálu.

## **Návrh a monitorování kompozitních konstrukcí**

*Design and Monitoring of Composite Structures*

**Doc. Ing. Robert Zemčík, Ph.D.**

Mechanika anizotropních materiálů. Víceškálové (mikro, mezo, makro) modely skořepinových jednosměrových a textilních kompozitních struktur s nelineární odezvou (degradace, anizotropní plasticita). Nestacionární napjatost, šíření napěťových vln a rázové děje. Identifikace materiálových charakteristik pomocí kombinace experimentálních testů, numerických simulací a optimalizačních metod. Bezkontaktní optické metody (korelace digitálního obrazu, stereofotogrametrie). Piezoelektrické materiály a měření pomocí piezoelektrických měničů. Pasivní a aktivní metody monitorování stavu konstrukcí pro rekonstrukci neznámého zatížení a identifikaci (detekce, lokalizace) defektů.

## **Optimalizace těles a konstrukcí**

*Optimization of Bodies and Structures*

**Prof. Dr. Ing. Eduard Rohan, DSc.**

Kritéria optimalizace konstrukcí a výběr návrhových parametrů. Numerické metody úloh vázaného extrému. Metody citlivostní analýzy v úlohách statiky a dynamiky kontinua, metoda adjungovaných systémů. Optimalizace prutových soustav, optimální topologie a geometrie. Tvarová optimalizace elastických a neelastických těles, formulace a řešení základních úloh, úlohy s kontaktem. Metody optimálního návrhu topologie těles, relaxace s využitím homogenizace mikrostruktury. Volná materiálová optimalizace, optimalizace geometrie mikrostruktur kompozitních materiálů a její využití při návrhu konstrukcí, funkčně gradované materiály. Optimalizace tvaru obtékaných těles a kanálů v úlohách proudění.

## **Porušování kompozitních materiálů**

*Damage and Failure of Composite Materials*

**Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.**

Mechanika kompozitních materiálů. Jednosměrový kompozit a stanovení jeho materiálových charakteristik. Klasická laminátová teorie. Makromechanická a mikromechanická kritéria porušování jednosměrových kompozitů. Moderní interaktivní kritéria porušování („Direkt mode“) např. Hashinovo, Puckovo kritérium a kritéria ze skupiny LaRC (NASA). Analýza postupného porušování laminátů. Numerická simulace porušování kompozitů jak při statickém, tak dynamickém zatěžování pomocí metody konečných prvků. Stanovení zbytkové pevnosti laminátu.

## **Vybrané statě z pružnosti a plasticity**

*Selected Chapters of Elasticity and Plasticity*

**Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.**

Matematický model lineárně pružného kontinua, řešení okrajových úloh., Rotačně symetrické úlohy. Přibližné numerické metody řešení. MKP, speciální prvky. Speciální problémy podle zaměření studia. Podmínky plasticity, plocha plasticity, plochy zatěžování. Teorie plasticity. Matematický model tělesa v pružně plastickém stavu. Numerické řešení okrajových úloh pomocí MKP.

## **Výpočtové metody mechaniky kontinua**

*Computational Methods of Mechanics of Continuum*

**Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.**

Variační principy a princip virtuálních prací. Přibližné metody řešení úloh mechaniky kontinua. Metoda konečných prvků a řešení úloh elastostatiky a dynamiky. Metoda hraničních prvků a řešení úloh mechaniky kontinua. Řešení nelineárních úloh – fyzikální nelinearita, kontaktní úlohy. Nestacionární napjatost, šíření elastických a plastických napěťových vln při rázu těles. Numerické řešení úloh lineární a nelineární lomové mechaniky s využitím výpočtových systémů (MARC, ANSYS aj.)

## **Modelování biomechanických systémů**

*Modeling of biomechanical systems*

**Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.**

Biomechanika svalově kosterního a srdečně cévního systému člověka. Bioviskoelasticita tuhých tkání, měkkých tkání a tekutin. Reologie biologických materiálů a biologických systémů. Mechanika kosterního a hladkého svalu, biomechanika srdečního svalu. Hillův a Huxleyho model svalu. Identifikace vlastností živých tkání. Lidská krev a viskozimetry. Mechanické vlastnosti a modely krve a krevních trubic. Biomechanika umělých náhrad, biotolerance, umělé kloubní náhrady. Biomechanika vazů a chrupavky, základy teorie mazání a synoviální tekutiny. Biomechanika plic a tkáňové inženýrství. Biomechanika močového ústrojí. Biodynamika pohybového systému člověka. Modelování tkání a orgánů na bázi nelineárního kontinua. Modely tkání na bázi směsí.

## **Impaktní biomechanika**

*Impact Biomechanics*

**Doc. Ing. Luděk Hynčík, Ph.D.**

Historie impaktní biomechaniky. Vymezení pojmů impaktní biomechaniky. Impaktní biomechanika a její vztah k dopravě. Statistika, databáze a jejich využití pro impaktní biomechaniku. Mechanismy a kritéria poranění. Stupnice poranění.

Prevence. Mechanické figuríny. Legislativa a její trendy. Testy a jejich vyhodnocování. Numerické modely a jejich využití pro impaktní biomechaniku. Impaktní biomechanika a virtuální testování.

### **Interakce kontinuí různých fází**

*Interaction of Continua of Different Phases*

**Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.**

Klasifikace problémů interakce kontinuí (slabě a silně vázané systémy) a základní formulace úlohy interakce typu tekutina – poddajné těleso. Lagrangeův a Eulerův popis charakteristik interagujících kontinuí, lineární a nelineární úloha interakce kontinuí. Sdružená a nesdružená metoda řešení úloh interakce, základní matematické modely. Zákony zachování v ALE popisu a aplikace ALE popisu v úlohách interakce kontinuí. Variační formulace úloh interakce, časová a prostorová diskretizace problémů interakce. Numerické metody řešení lineárních a nelineárních problémů interakce kontinuí.

### **Matematické modelování proudění tekutin**

*Mathematical Modelling of Fluid Flow*

**Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.**

Moderní numerická schémata metody konečných objemů formulovaná pro řešení problémů nevazkého a vazkého laminárního proudění stlačitelné Newtonské tekutiny. Základní charakteristiky turbulentního proudění, numerické řešení systému středovaných Navierových-Stokesových rovnic uzavřených vhodným modelem turbulence. Aplikace na úlohy proudění ve vnitřní a vnější aerodynamice. Matematické modelování proudění vazkých nestlačitelných tekutin. Aplikace v biomechanice, např. při modelování kardiovaskulárních problémů.

### **Nelineární mechanika kontinua**

*Non-linear Mechanics of Continuum*

**Prof. Dr. Ing. Eduard Rohan, DSc.**

Klasifikace a základní formulace nelineárních úloh mechaniky kontinua. Konjugované míry napjatosti a přetvoření, Lagrangeova formulace rovnováhy kontinua v přírůstkové formě, základní charakteristiky nelineárního kontinua. Princip virtuálních prací v Lagrangeově formulaci, totální a aktualizovaná Lagrangeova formulace nelineárních úloh. Konstitutivní vztahy nelineárních kontinuí. Rychlostní formulace nelineárních úloh mechaniky kontinua. Diskretizace nelineárního kontinua metodou konečných prvků, numerické řešení nelineárních rovnic v přírůstkovém tvaru.

### **Mechanika heterogenních a vícefázových kontinuí**

*Mechanics of Heterogeneous and Multiphase Continua*

**Prof. Dr. Ing. Eduard Rohan, DSc.**

Úvod do kontinuálního popisu heterogenních materiálů složených z pevných i tekutých fází, které jsou vzájemně promíseny. Modelování těchto materiálů pro řešení inženýrských úloh v akustice, v mechanice biologických tkání, ve stavební mechanice a v úlohách životního prostředí. Základy fenomenologické teorie porézních vícefázových materiálů, konceptu objemových poměrů, chemických potenciálů a efektivních napětí, odvození bilančních a konstitutivních vztahů. Metody popisu heterogenních médií založené na geometrické reprezentaci jejich mikrostruktury, průměrovací techniky, metoda homogenizace a dvouškálového modelování. Metodika počítačového modelování pro víceškálový popis.

## **Modelování a popis mikrostruktur pro biomechaniku a nanomechaniku**

*Modelling and Description of Microscopic Structures for Purposes of  
Biomechanics  
and Nanomechanics*

**Doc. Dr. RNDr. Miroslav Holeček**

Základy mikrokontinuálního popisu pro tvorbu zobecněných kontinuálních teorií, základy statistického popisu mikrostruktur a obecné podmínky přechodu k makroskopickému kontinuálnímu popisu (středování). Obecné termodynamické souvislosti a ilustrativní příklady z biomechaniky (modelování tkání od mikroskopické úrovně) a nanomechaniky (Cauchyho-Bornovo pravidlo).