

## **SPOLEHLIVOST STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

Sylabus předmětu na Katedře konstrukcí pozemních staveb, FSv ČVUT v Praze

Doc.Ing. Milan Holický, DrSc.

Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6

Tel.: 24353842, Fax: 24355232, E-mail: holicky@vc.cvut.cz

### **Anotace**

Předmět je zaměřen na pravděpodobnostní metody teorie spolehlivosti, které jsou základem současných mezinárodních předpisů pro navrhování stavebních konstrukcí (Eurokódů i dokumentů ISO). Výklad pravděpodobnostních metod teorie spolehlivosti a životnosti nových i existujících konstrukcí zahrnuje rovněž statistické metody vyhodnocování numerických souborů, a dále nové postupy navrhování na základě zkoušek. Obecné teoretické poznatky jsou ilustrovány řadou praktických aplikací včetně numerických příkladů ověřování spolehlivosti základních konstrukčních prvků. U všech tématických okruhů se systematicky uvádějí možnosti využití dostupných softwarových produktů. Předmět rozšiřuje základní znalosti z teorie pravděpodobnosti, matematické statistiky i teorie konstrukcí a poskytuje nové poznatky z teorie spolehlivosti stavebních konstrukcí.

### **Těžiště a cíl předmětu**

Těžiště předmětu je výklad obecných pravděpodobnostních metod a výpočetních postupů teorie spolehlivosti stavebních konstrukcí. Důraz se klade na praktické aplikace obecných metod při ověřování stavebních konstrukcí i na nepřímé uplatnění obecných zásad v současných předpisech Evropského výboru pro normalizaci CEN i dokumentů Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO. Na obecné teoretické základy navazují operativní výpočetní postupy (analytické, numerické, aproximativní analytické a simulační). Předmět systematicky využívá dostupné výpočetní programy (EXCEL, MATHCAD, MATLAB) i specializované softwarové produkty (VaP, COMREL). Tyto programy se aplikují při řešení základních úloh teorie spolehlivosti zaměřených na prvky stavebních konstrukcí. Získané teoretické znalosti i praktické zkušenosti mají usnadnit další hlubší studium i samostatné tvůrčí uplatňování obecných pravděpodobnostních postupů při ověřování spolehlivosti nových i existujících konstrukcí.

## **Osnova předmětu**

Předmět je rozvržen do čtrnácti samostatných přednášek, jejichž odbornou náplň je vhodné přizpůsobit znalostem posluchačů. Ukazuje se, že přednášky pro studenty magisterského studia je účelné rozšířit o výklad nezbytných poznatků z teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky; pak je zpravidla nutné omezit odvozování některých obecných postupů. Přednášky pro studenty doktorandského studia lze naopak o tyto teoretické postupy rozšířit.

**1. Historický úvod a základní pojmy.** Vývoj metod navrhování konstrukcí, dovolená namáhání, stupeň bezpečnosti, metoda dílčích součinitelů v dokumentech ČSN, CEN a ISO, pravděpodobnostní metody, definice spolehlivosti, bezpečnosti, použitelnosti a životnosti, příklady poruch historických i nových konstrukcí.

**Klíčová slova:** metody navrhování, spolehlivost, bezpečnost, použitelnost, životnost, porucha, stupeň poruchy, prvky spolehlivosti uplatňované v předpisech

**2. Nejistoty při navrhování a hodnocení konstrukcí.** Nejistoty, neznalost, náhodnost, neurčitost, statistické nejistoty, modelové nejistoty, definiční neurčitosti, klasické a moderní metody jejich popisu, pravděpodobnostní a fuzzy-pravděpodobnostní pojetí, nejistoty v technických podkladech pro navrhování nových a hodnocení existujících konstrukcí.

**Klíčová slova:** nejistoty, neznalost, náhodnost, neurčitosti, teorie pravděpodobnosti, fuzzy množiny

**3. Pravděpodobnost jako základní ukazatel spolehlivosti.** Náhodný jev, jevové pole, homogenní podmínky, pravděpodobnost, podmíněná pravděpodobnost, úplná pravděpodobnost, pravidla pro výpočet pravděpodobnosti kombinace jevů, náhodné veličiny a funkce v teorii spolehlivosti.

**Klíčová slova:** náhodný jev, pravděpodobnosti, podmíněná pravděpodobnosti, výpočet pravděpodobnosti, náhodná veličina

**4. Pravděpodobnostní modely základních veličin.** Teoretické modely rozdělení pravděpodobností, normální, lognormální, gama, gumbelovo, weibulovo a beta rozdělení, základní vlastnosti a parametry, vzájemná statistická závislost, vícerozměrné náhodné veličiny, korelace, regrese, funkce náhodných veličin, náhodné funkce a náhodné pole, dostupné softwarové produkty EXCEL, MATHCAD, MATLAB.

**Klíčová slova:** pravděpodobnostní modely, rozdělení pravděpodobnosti, korelace, regrese, náhodné funkce

**5. Vyhodnocování numerických souborů.** Výběr, histogram, jednorozměrné, dvourozměrné a vícerozměrné soubory, momentové charakteristiky, průměr, rozptyl, šikmost, špičatost, koeficient korelace, metoda nejmenších čtverců, lineární a nelineární regresní analýza, dostupné softwarové produkty EXCEL, MATHCAD, MATLAB.

**Klíčová slova:** výběr, histogram, momentové charakteristiky, průměr, rozptyl, šikmost, korelace, regresní analýza

**6. Metody statistické indukce v teorii spolehlivosti.** Náhodný výběr a jeho popis, výběrové charakteristiky a jejich rozdělení, odhady parametrů a kvantilu, klasické metody odhadu, pokryvná metoda, předpovědní metoda, Bayesovské postupy, stanovení teoretického modelu na základě zkoušek, testování hypotéz, dostupné softwarové produkty EXCEL, MATHCAD, MATLAB.

**Klíčová slova:** výběrové charakteristiky, metody odhadu, statistické testy, kvantil náhodné veličiny

**7. Pravděpodobnostní modely odolnosti konstrukce.** Základní typy pravděpodobnostních modelů, charakteristické a návrhové hodnoty materiálových vlastností, vzájemná závislost základních veličin, analytické a numerické metody stanovení modelů výsledných veličin, simulace odolnosti konstrukce.

**Klíčová slova:** materiálové vlastnosti, základní veličiny, výsledné veličiny

**8. Klasifikace zatížení konstrukcí a vlivů prostředí.** Vývoj klasifikace zatížení, zatížení stálá, nahodilá a mimořádná, kombinace zatížení při ověřování spolehlivosti podle mezních stavů použitelnosti a únosnosti, degradační vlivy prostředí a jejich pravděpodobnostní popis, EXCEL, MATHCAD, MATLAB.

**Klíčová slova:** klasifikace zatížení, zatížení stálá a nahodilá, kombinace zatížení, vliv prostředí

**9. Pravděpodobnostní modely zatížení a jejich kombinací.** Pravděpodobnostní modely časově nezávislých a závislých zatížení, charakteristické, reprezentativní a návrhové

hodnoty, pravděpodobnostní popis kombinace zatížení, nejistoty výpočetního modelu, dostupné softwarové produkty EXCEL, MATHCAD, MATLAB.

**Klíčová slova:** charakteristické, reprezentativní a návrhové hodnoty, součinitele kombinace

**10. Pravděpodobnostní rozbor spolehlivosti.** Klasifikace pravděpodobnostních metod teorie spolehlivosti, pravděpodobnost poruchy při dvou a více základních veličinách, návrhový bod, index spolehlivosti, výpočetní postupy FORM a SORM, dostupné softwarové produkty EXCEL, MATHCAD, MATLAB, VaP, COMREL.

**Klíčová slova:** pravděpodobnost poruchy, index spolehlivosti, výpočetní postupy, softwarové produkty

**11. Metoda dílčích součinitelů spolehlivosti.** Obecné zásady navrhování metodou dílčích součinitelů podle dokumentů ČSN, CEN a ISO, součinitele spolehlivosti pro zatížení a jejich kombinace, součinitele materiálů a modelových nejistot, kalibrace dílčích součinitelů.

**Klíčová slova:** dílčí součinitele, součinitele kombinace, kalibrace součinitelů

**12. Navrhování na základě zkoušek.** Typy zkoušek, jejich plánování, metody statistické indukce pro vyhodnocení výsledků zkoušek, stanovení modelových součinitelů, zkoušky pro kontrolu jakosti a průkazní zkoušky.

**Klíčová slova:** typy zkoušek, vyhodnocení zkoušek, modelové nejistoty

**13. Spolehlivost existujících staveb.** Prohlídky a hodnocení spolehlivosti a životnosti existujících konstrukcí, hodnocení spolehlivosti poškozených konstrukcí, zbytková životnost, zásady navrhování při přestavbách a rekonstrukcích v předpisech ČSN, evropských normách EN a v nových dokumentech ISO.

**Klíčová slova:** existující konstrukce, prohlídky, hodnocení, životnost

**14. Rozbor příčin poruch a příklady rekonstrukcí.** Rozbor příčin poruch stavebních konstrukcí doma i v zahraničí, příklady poruch a rekonstrukcí vybraných pozemních a inženýrských staveb.

**Klíčová slova:** příčiny poruch, příklady rekonstrukcí