

FAST-BDA007 – STATIKA II

3. ročník Bc: Stavební inženýrství, letní semestr 2025/26 (2+2 hod.) – zápočet, zkouška

přednášející: Jan Eliáš, David Lehký

cvičící: Jan Mašek, Václav Sadílek, Martina Sadílková Šomodíková, Hana Šimonová,
Zbyněk Vlk

Studijní podklady

- Teorie: kniha *Statika stavebních konstrukcí II.* autorů Jaroslava Kadlčáka & Jiřího Kytýra, nakladatelství VUTIUM (dostupná k vypůjčení ve studovně).
- Příklady: skripta *Statika II: řešené příklady* autorů Jiřího Kytýra, Romana Gratzy, Jana Pláška, Tomáše Ridoška & Jana Ekra, nakladatelství CERM (dostupná k vypůjčení ve studovně).
- Elektronické podklady: www.stm.fce.vutbr.cz/study/materials.
- On-line software: STRIAN – Structural analyser <http://structural-analyser.com>, autoři Petr Frantík & Miroslav Stibor

Harmonogram přednášek

1. Příčinkové čáry na staticky neurčitých konstrukcích
opakování analytické metody na prostém nosníku, výpočet příčinkové čáry na oboustranně vetknutém nosníku
2. Příčinkové čáry na spojitém nosníku
výpočet příčinkové čáry na spojitém nosníku
3. Podstata deformační metody, její vznik a vývoj
motivace, základní rovnice osově namáhaného prutu, jednoduchý příklad s dvěma rovnoběžnými osově namáhanými pruty, rozdíly oproti silové metodě, historický vývoj deformační metody
4. Skalární forma deformační metody pro příhradové konstrukce
výpočtový model a stupeň přetvárné neurčitosti pro příhradovou konstrukci, příklad se silovým zatížením v uzlech, příklad s poklesem podpor a teplotním zatížením
5. Maticová forma deformační metody pro příhradové konstrukce
Zápis předchozích dvou příkladů se silovým zatížením pomocí matic, odvození matice tuhosti příhradového prutu, lokalizace vektorů a matic pro celou konstrukci
6. Princip virtuálních sil a přemístění, minimalizace potenciální a doplňkové energie, vlastnosti matice tuhosti
Vysvětlení základních principů elastostatiky pro příhradové konstrukce, získání matice tuhosti jako Hessovy matice potenciální energie, symetrie a pozitivní definitnost
7. Skalární forma deformační metody pro rovinné prutové konstrukce s vodorovnými pruty
koncové reakce prutu připojeného kloubově a tuze, jednoduchý příklad zatížený ve styčnicích včetně dopočítání vnitřních sil

8. Zatížení na prutech – primární stav, včetně teplotního zatížení
výpočtový model a stupeň přetvárné neurčitosti, jednoduchý příklad vypočtený skalárním zápisem a různé formy zatížení konstrukce
9. Konstrukce s libovolně natočenými pruty, transformace mezi lokálním a globálním souřadnicovým systémem
transformace koncových reakcí mezi globálním a lokálním systémem, příklad s šikmými pruty
10. Maticová forma deformační metody pro rovinné prutové konstrukce
Plný zápis deformační metody, primární stav, lokalizace, rovnice rovnováhy, sekundární stav, vnitřní síly
11. Volba volných kinematických proměnných, zjednodušená deformační metoda
Omezení volných kinematických proměnných, styčnicková a patrová rovnice
12. Prut proměnného průřezu
Výškový přímkový náběh, určení deformačních součinitelů – analytické řešení, numerická integrace
13. Diskuze, informace ke zkoušce
Zakončení výuky, doplnění výkladu, dotazy a různé

Harmonogram cvičení

1. Představení a základy práce ve statickém softwaru
Představení komplexnějšího programu (například RFEM) pro analýzu konstrukcí na počítači a jednoduššího on-line programu pro výuku mechaniky na mobilu či tabletu (například STRIAN)
2. Představení a základy práce ve statickém softwaru
Modelování složitějších konstrukcí ve statickém softwaru, jednotky, chybné podepření konstrukce, před výpočtem kvalitativní odhad průběhu posunů a momentů
3. Příčinkové čáry na jednoduchém staticky neurčitém nosníku
Statické a kinematické určitosti prutových soustav, opakování silové metody, příčinkové čáry na staticky neurčitých nosnících, porovnání se softwarem
4. Příčinkové čáry spojitého nosníku
Včetně aplikace pro výpočet vnitřních sil a odhad nejhoršího umístění zatížení, porovnání se softwarem
5. Základy deformační metody
Jednoduché příklady procvičující principy deformační metody, diskuze, porovnání se softwarem
6. Řešení příhradových konstrukcí deformační metodou bez maticového zápisu
Styčnickové zatížení i zatížení teplotou a poklesem podpor, diskuze, porovnání se softwarem
7. Maticový zápis deformační metody pro příhradové konstrukce
Navázání na skalární formu, porovnání se softwarem a diskuze
8. Maticový zápis deformační metody pro příhradové konstrukce
1. TEST *kvalitativní řešení příčinkových čar na staticky neurčité konstrukci; řešení příhradové konstrukce deformační metodou, skalárně či s využitím maticového zápisu*
9. Pravoúhle lomená prutová konstrukce se styčnickovým zatížením řešená skalární formou
Včetně vykreslení vnitřních sil, porovnání se softwarem a diskuze
10. Pravoúhle lomená prutová konstrukce se libovolným zatížením řešená skalární formou
Pokles podpor, teplotní zatížení a zatížení na prutech, primární a sekundární stav, porovnání se softwarem a diskuze
11. Obecná konstrukce s libovolným zatížením, maticová forma deformační metody
porovnání se softwarem a diskuze

12. Obecná konstrukce s libovolným zatížením, maticová forma deformační metody
2. TEST řešení prutové konstrukce deformační metodou, skalárně či s využitím maticového zápisu; postačuje sestavení modelu a zapsání rovnic rovnováhy, řešení soustavy rovnic k nalezení uzlových přemístění a dopočítání vnitřních sil není nutné
13. Cílená redukce stupňů volnosti, zjednodušená deformační metoda
porovnání se softwarem a diskuze

Podmínky získání zápočtu

- Aktivní účast ve cvičeních: zjevná nepřipravenost bude hodnocena jako neomluvená neúčast.
- Maximálně jedna neomluvená a jedna omluvená absence (z celkem počtu 13 dvouhodinových cvičení).
- Úspěšné vypracování obou testů (hodnocení A-E je úspěšné). Každý test je možné opravit maximálně jednou.
- Neomluvená absence v termínu testu znamená automaticky hodnocení testu F .

Pokyny ke zkoušce

- Studenti potřebují ke zkoušce pouze papír a psací potřeby, klasickou kalkulačku a studijní průkaz. Žádné další pomůcky, kromě tabulek zmíněných níže, nejsou povoleny.
- Každý student dostane tabulky lokálních primárních vektorů a globálních matic tuhosti. Celá zkouška probíhá bez použití jiné literatury či dalších zdrojů.
- Každý student pracuje samostatně, komunikace je možná jen s přítomným učitelem.
- Zkouška má tři části: vstupenku, příklady a ústní část. Je nutné všechny tyto části splnit ve stejný den.
- Začíná se **vstupenkou**:
 - Čas na vypracování vstupenky je 10 minut.
 - Úkolem studenta je vykreslit vnitřní síly na prutu ze znalosti *koncových sil v globální souřadnicové soustavě a zatížení na prutu*. Vstupenka tedy zahrnuje transformaci sil do lokální souřadnicové soustavy a řešení vnitřních sil na nosníku.
 - Jakákoliv zásadnější chyba v této části znamená neúspěšné ukončení zkoušky.
- Po krátké přestávce, během které se vyhodnotí vstupenka, následuje **příkladová** část zkoušky:
 - Studenti, kteří nesplní vstupenku, se této části zkoušky již neúčastní.
 - Čas na vypracování příkladové části je 80 min.
 - Po uplynutí předepsané doby bude vybráno vypracované řešení numerického příkladu včetně zapůjčených tabulek.
 - K úspěšnému splnění zkoušky je potřeba získat alespoň 50 % maximálního počtu bodů.
 - Numerický příklad bude nejčastěji řešením jednoduché staticky neurčité rovinné prutové soustavy (rámu) nebo příhradové konstrukce se silovým i deformačním zatížením. Je možno využít skalární nebo maticovou formu deformační metody, tento výběr je ponechán na studentovi.

- Příkladů může být i více. Je také možné zadat pouze část celého výpočtu, například vykreslení vnitřních sil na prutu se zadanými koncovými reakcemi.
- Následuje delší pauza (přibližně 1-2 hodiny), během které vyučující opraví a oboduje příkladovou část.
- Poté proběhne závěrečná, **ústní** část zkoušky:
 - Studenti, kteří nesplní příkladovou část, se této části zkoušky již neúčastní.
 - Student si vylosuje sadu otázek (jednu z každé oblasti) a po krátké přípravě na ně bude odpovídat.
 - Vyučující má možnost doptat se na detaily nebo položit další, s předchozími nesouvisející otázky.
 - Na konci ústní části zkoušky bude stanoveno celkové hodnocení.

Příklady teoretických otázek

Oblast A: Příčinkové čáry & analýza prutu

- A1 Jak se určí pořadnice příčinkové čáry podporového momentu, mezipodporového momentu a posouvající síly v daném průřezu oboustranně vetknutého nosníku?
- A2 Jaký je tvar příčinkové čáry podporového momentu, mezipodporového momentu, posouvající síly v daném průřezu či reakce v podpoře spojitého nosníku kinematickou metodou?
- A3 Tvar příčinkové čáry mezipodporového momentu či posouvající síly v daném průřezu jednoduchého rovinného rámu kinematickou metodou?
- A4 Jak se nazývají tři základní rovnice definující chování mechanicky namáhaných prutů? Jaké okrajové podmínky se předepisují?
- A5 Zapište kinematické rovnice, konstitutivní rovnice a rovnice rovnováhy pro osově namáhaný prut.
- A6 Zapište kinematické (geometrické) rovnice pro Euler-Bernoulliho prut a vysvětlete význam jednotlivých členů.
- A7 Zapište konstitutivní (fyzikální) rovnice pro Euler-Bernoulliho prut a vysvětlete význam jednotlivých členů.
- A8 Zapište rovnice rovnováhy pro Euler-Bernoulliho prut a vysvětlete význam jednotlivých členů.
- A9 Jaké jsou předpoklady pro odvození Euler-Bernoulliho prutu? V čem se liší od Timoshenkova prutu a jaké to má důsledky.

Oblast B: Obecné otázky k deformační metodě

- B1 Které veličiny se v deformační metodě volí za neznámé a jaké podmínky se použijí k jejich nalezení?
- B2 Lze řešit staticky určitou prutovou soustavu deformační metodou? Zdůvodněte.
- B3 Jaká je znaménková konvence pro složky přemístění uzlu, koncové síly a uzlové zatížení.
- B4 Co vyjadřuje stupeň přetvárné neurčitosti a jak souvisí s volbou výpočtového modelu.
- B5 Jaká je podstata deformační metody? Jaký význam mají koncové síly na prutech pro řešení konstrukcí deformační metodou?
- B6 Jakými způsoby lze modelovat převislý konec v rámovém styčnicku v obecné deformační metodě?
- B7 Jakým způsobem lze modelovat vnitřního kloubu u rámu řešeného deformační metodou.

- B8 Jaký je rozdíl při modelování prutu kloubově připojeného do uzlu pomocí prutu oboustranně vetknutého či jednostranně kloubově ukončeného?
- B9 V jakých případech je vhodné vkládat do prutové soustavy nadbytečný uzel?
- B10 Jaký postup následuje po vyřešení soustavy rovnic až po vykreslení průběhů vnitřních sil na prutech?
- B11 Jak se určí složky reakcí v podpoře s jedním a více pruty?
- B12 Jaké jsou možné kontroly výsledků při řešení prutové soustavy deformační metodou.
- B13 Jak se do výpočtu zahrne vlivu daného nepružného přemístění podpor?

Oblast C: Detailní výpočet deformační metodou

- C1 Jaký je význam primárních a sekundárních účinků na prutu?
- C2 Odvoďte lokální primární vektor prutu oboustranně upnutého s konstantním příčným zatížením q .
- C3 Odvoďte lokální primární vektor prutu jednostranně kloubově ukončeného zatíženého změnou teplotou ΔT_1 .
- C4 Co vyjadřuje geometrická transformace a kterých veličin se týká?
- C5 Co je to lokální a globální souřadnicová soustava? Proč se k analýze prutu používá lokální souřadnicová soustava?
- C6 Odvoďte vztahy mezi globálními a lokálními koncovými silami prutu (se schématem rozkladu vektorů).
- C7 Odvoďte vztah mezi lokálními a globálními složkami posunutí uzlu (se schématem rozkladu vektorů).
- C8 Proč jsou v lokální matici tuhosti přímého prutu některé prvky nulové?
- C9 Jaký je fyzikální význam prvků v jednotlivých sloupcích matice tuhosti prutu a jak se určují?
- C10 Proč je matice tuhosti prutu symetrická?
- C11 Proč jsou některé submatice v transformační matici nulové?
- C12 Vysvětlete pojem lokalizace a postup při lokalizaci?
- C13 Kdy vzniká singulární matice tuhosti prutové soustavy a jak singularitu odstraníme?