

## Téma 3 Nosné stavební konstrukce

- Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí
- Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí
- Prut (geometrický popis, vnější vazby, nehybnost, silové zatížení, složky reakcí)
- Složená prutová soustava



Katedra stavební mechaniky  
Fakulta stavební, VŠB - Technická univerzita Ostrava

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nosná stavební konstrukce

**Nosná stavební konstrukce** slouží k přenosu zatížení objektu do horninového masívu, na němž je objekt založen. Musí mít dostatečnou **únosnost** a dlouhodobou **použitelnost** (blíže předmět Pružnost a plasticita).

Skládá se z **horní** konstrukce a ze **základové** konstrukce



Kongresové centrum, Brno

---

---

---

---

---

---

---

---

## Třídění nosných konstrukcí podle geometrického tvaru

Konstrukce je obecně složena z konstrukčních prvků:

1. Prutový konstrukční prvek (**prut**) – délka je výrazně větší než dva příčné rozměry, idealizace dokonale tuhou čarou (přímá nebo zakřivená)
2. Plošný konstrukční prvek – tloušťka je výrazně menší než zbývající dva rozměry, idealizace rovinným nebo prostorově zakřiveným obrazcem.  
Dělí se na **stěny** (zatížení ve vlastní rovině), **desky** (zatížení kolmo k rovině) a **skořepiny** (zakřivený plošný prvek).

3. Masivní trojrozměrný konstrukční prvek

Nosnou konstrukci může tvořit jediný konstrukční prvek, zpravidla je tvořena několika konstrukčními prvky – **soustava** konstrukčních prvků.

Nosná konstrukce z lepeného lamelového dřeva, soustava prutových prvků a desky, Lahti, Finsko, foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.



---

---

---

---

---

---

---

---

## Prutová konstrukce



Pruty - příhradová konstrukce, Pavilon V z roku 2000, Brněnské výstaviště

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

4 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nosná stěna



Stěna – plošný nosný prvek, zatížený v rovině střednicové plochy

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

5 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nosná stěna



Stěna – plošný nosný prvek, zatížený v rovině střednicové plochy

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

6 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nosná deska



Deska – plošný nosný prvek, zatížený kolmo ke střednicové ploše, nadměrné pětvoření středky vlivem extrémního zatížení sněhem, foto: Prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

7 / 128

---

---

---

---

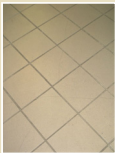
---

---

---

---

## Nosná deska



Deska – plošný nosný prvek, zatížený kolmo ke střednicové ploše

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

8 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Betonová skořepina – opera v Sydney



Autor Jorn Utzon, realizace 1953 - 1977

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

9 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Masivní betonová konstrukce – Hoover Dam, Nevada



Kombinace klenbové a tížné přehrady z roku 1935, výška 221,3 m, délka oblouku 379,2 m, šířka hráze nahoře 13,7 m a 201,2 m dole, 3,5 mil. m<sup>3</sup> betonu

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

10 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zatížení nosné konstrukce

Rozdělení zatížení:

- a) **silové** - vnější síly a momenty
- b) **deformační** - oteplení, sedání, poddolování, nelze řešit s předpokladem dokonale tuhé konstrukce



- a) **statické** - velikost, směr a umístění sil se v čase nemění, např. zatížení obytných budov
- b) **dynamické** - vyvoláno rychlou změnou velikosti, polohy nebo směru sil, vede k rozkmitání konstrukce, např. zatížení mostů jedoucimi vozidly

- a) **deterministické** - vlastnosti jednoznačně vymezeny normou, např. měrné tíhy stávků
- b) **stochastické** (pravděpodobnostní přístup) – velikost zatížení není předepsána jednou hodnotou, nýbrž pravděpodobnostní funkcí

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

11 / 128

---

---

---

---

---

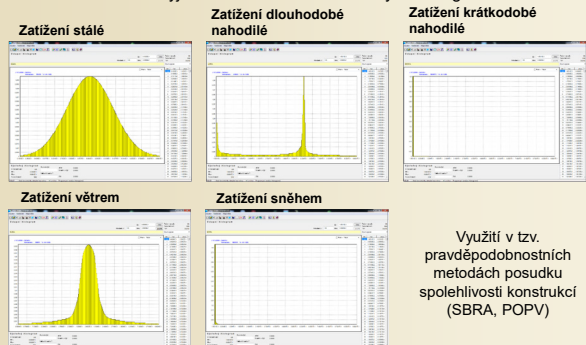
---

---

---

## Zatížení nosné konstrukce stochastické

Náhodnost zatížení vyjádřena formou tzv. useknutých histogramů



Využití v tzv. pravděpodobnostních metodách posudku spolehlivosti konstrukcí (SBRA, POPV)

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí

12 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---



## Klasifikace zatížení nosných konstrukcí

Podle proměnlivosti v čase

ČSN 73 0035	ČSN EN 1990
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stálá zatížení</li> <li>• Nahodilá zatížení                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dlouhodobá</li> <li>• Krátkodobá</li> <li>• Mimořádná</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stálá zatížení</li> <li>• Proměnná zatížení</li> <li>• Mimořádná zatížení</li> </ul>

*Poznámka: ČSN 73 0035 podrobněji (více jmenovitě) specifikuje klasifikaci zatížení podle proměnlivosti v čase ve srovnání s Eurokódy.*

Idealizace a klasifikace nosných stavebních konstrukcí 13 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zatížení nosné konstrukce

Rozdělení zatížení podle proměnlivosti v čase:

**Stálá zatížení:**  
(velikost a rozložení po konstrukci se po dobu životnosti nemění)

- a) vlastní tíha nosné konstrukce a trvalých částí objektu
- b) trvale působící tlaky hornin, sypkých hmot a kapalin

**Proměnná (nahodilá) zatížení:**  
(velikost a rozložení po konstrukci časově proměnné)

- a) **užitná zatížení** – tíha osob a zařízení, skladovaných materiálů, pohybujících se vozidel
- b) **klimatická zatížení** – meteorologické jevy (sníh, vítr, námraza, změna teploty)
- c) **deformační (nepřímé) zatížení** – objemové změny konstrukce, deformace podzákladí)
- d) **montážní zatížení** v průběhu výstavby

**Mimořádná zatížení:** účinky zemětřesení, výbuchy, nárazy vozidel

ČSN EN 1991-1-4

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA  
Evropská norma EN 1991-1-4  
Zatížení 1 - Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Zatížení úlehla  
19 991-1-4  
19 991-1-4

ČSN EN 1991-1-4

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí 14 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zatížení nosné konstrukce větrem

Proměnné zatížení – rovnoměrně rozložené [kN/m<sup>2</sup>]

zahrnuje vliv nadmořské výšky

ČSN EN 1991-1-4:2007  
MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČR

Východní základní rychlost větru  $v_{ref}$  [m/s]

I	II	III	IV	V
22,5	25	27,5	30	35

1) Charakteristická rychlost větru příslušná prosočta Českého hydrometeorologického ústavu

Vypracoval Český hydrometeorologický ústav v roce 2006

- výsledky z 46 stanic ČHMÚ a několika zahraničních stanic
- data z období 1961 až 2000

Mapa větrných oblastí na území České republiky podle ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí 15 / 128

---

---

---

---

---

---

---

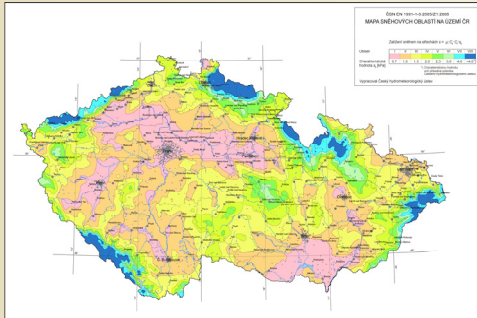
---

---

---

## Zatížení nosné konstrukce sněhem

Proměnné zatížení – rovnoměrně rozložené [kN/m<sup>2</sup>]



Data z let  
1961-2006

Mapa sněhových oblastí na území České republiky podle ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí

16 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Charakteristická a výpočtová hodnota zatížení

**Reprezentativní - charakteristická hodnota zatížení  $F_k$**  (dříve normová nebo provozní): předpokládané skutečné, normami stanovené zatížení.

**Návrhová (výpočtová) hodnota zatížení  $F_d$** : při statickém výpočtu, charakteristická hodnota zatížení se vynásobí součinitelem spolehlivosti (zatížení)  $\gamma$ , který předepisuje norma.

$$F_d = F_k \cdot \gamma \quad \gamma \geq 1$$

	EU	dříve v ČR
$\gamma_G$	1,35	1,2
$\gamma_Q$	1,50	1,4

$\gamma_G$  ... součinitel spolehlivosti pro stálá zatížení (vlastní tíha)

$\gamma_Q$  ... součinitel spolehlivosti pro proměnná zatížení

**Kombinace zatěžovacích stavů, nejúčinnější kombinace** – extrémní hodnoty výsledných statických veličin.

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí

17 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Příklad výpočtu kombinace zatížení



Zatěžovací údaje

Zatížení	Char. hodnota [kN]	Součinitel zatížení $\gamma$	Návrhová hodnota [kN]
Stálé	59,26	1,35	80,00
Dlouhodobé nahodilé	195,67	1,5	293,50
Krátkodobé nahodilé	53,33	1,5	80,00
Větr	46,67	1,5	70,00
Sněh	26,67	1,5	40,00

Kombinace zatížení

Součinitel kombinace $\psi_0$	0,7
Výsledná kombinace zatížení $F_d$ [kN]	<b>506,50</b>

Vztah pro určení kombinace zatížení dle ČSN P ENV

$$F_d = \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí

18 / 128

---

---

---

---

---

---

---

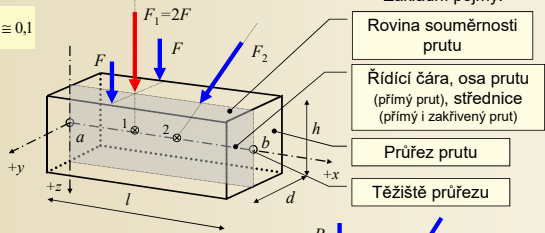
---

---

---

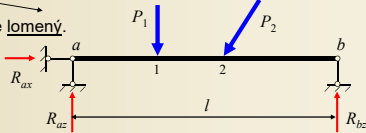
## Geometrický popis prutu, idealizace

$$\frac{h, d}{l} \approx 0,1$$



Prut rovinně nebo prostorově lomený.

Statické schéma – statický model nosné konstrukce



Prut

19 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

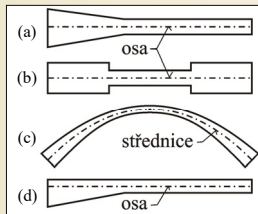
---

## Geometrický popis prutu

Prut stálého (konstantního) nebo proměnného průřezu.

Změna rozměrů plynulá (spojitá) - (a) a (c) nebo náhlá (skokem) - (b).

Přímý prut s tzv. náběhem - (d), těžiště všech průřezů neleží v ose prutu, vliv nesymetrie malý - řeší se stejně jako symetrické zesílení.



Pruty proměnného průřezu  
Obr. 6.1. / str. 75

Prut

20 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

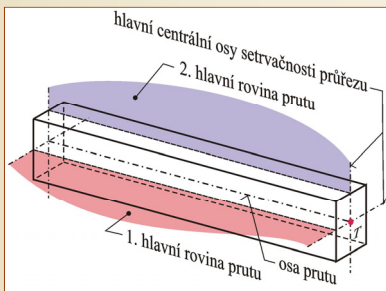
---

## Hlavní roviny přímého prutu

Každý průřez má nejméně dvě vzájemně kolmé hlavní centrální osy setrvačnosti.

**Předpoklad:** sklon hlavních centrálních os se nemění ani při změně rozměrů průřezu.

**Důsledek:** dvě vzájemně kolmé hlavní roviny prutu.



Hlavní roviny přímého prutu  
Obr. 6.2. / str. 76

Prut

21 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pohybové možnosti nepodepřeného prutu

**Kinematika** – studium pohybových možností volných dokonale tuhých těles.

Typy přemístění:  
**a) posun (translace)  $\delta$**   
**b) pootočení (rotace)  $\varphi$**

Posuny mají povahu vektoru – lze rozložit na **pravouhlé složky posunu** (stejně jako kvádr sil).

Pootočení lze znázornit vektorovou úsečkou, kterou lze rozložit na **pravouhlé složky pootočení**.

Posun a pootočení tuhého prutu  
Obr. 6.3. / str. 76

Prut 22 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pohybové možnosti volných hmotných objektů

**Stupeň volnosti  $n_v$**  : možnost vykonat jednu pravouhlou složku posunu nebo pootočení.

- volný **hmotný bod v rovině**:  $n_v=2$ , určen  $[x, y]$ ,  $\infty^2$  různých poloh
- volný **hmotný bod v prostoru**:  $n_v=3$ , určen  $[x, y, z]$ ,  $\infty^3$  různých poloh
- volná **tuhý prut (deska) v rovině**:  $n_v=3$ , určen  $[x, y, \beta]$ ,  $\infty^3$  různých poloh
- **tuhé těleso v prostoru**:  $n_v=6$ , určeno  $[x, y, z, \alpha, \beta, \gamma]$ ,  $\infty^6$  různých poloh

Prut 23 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Vnější vazby proti posunům

**Vazba proti posunu** – znemožňuje posun podepřeného bodu prutu v zadaném směru.

Jednoduché a sdružené vazby proti posunům znázorněné pomocí kyvných prutů  
Obr. 6.4. / str. 77

Vazby proti posunům znázorněné pomocí jehlanů a trojúhelníků  
Obr. 6.5. / str. 78

Prut 24 / 128

---

---

---

---

---

---

---

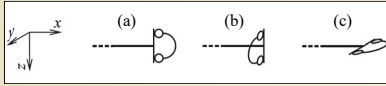
---

---

---

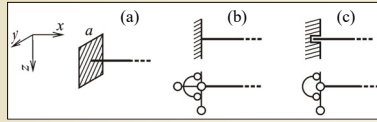
## Vnější vazby proti pootočení

**Vazba proti pootočení** – znemožňuje pootočení podepřeného bodu prutu v zadané rovině.



Jednoduché vazby proti pootočení  
Obr. 6.6. / str. 78

**Úplné vetknutí v prostoru nebo rovině, posuvné vetknutí v rovině.**



Sdružené vazby proti posunu i pootočení  
Obr. 6.7. / str. 78

Prut

25 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Násobnost vazeb

**Vnější vazby** odebírají objektu stupně volnosti.

**$n$ -násobná vazba** ruší objektu  $n$  stupňů volnosti ( $n=1, 2, 3$ )

Příklady jednoduchých vazeb tuhého prutu v rovině a jejich složek reakcí

Název vazby	Násobnost vazby	Označení vazby, složky reakcí
Kyvný prut	1	$R_{az}$
Posuvný kloub, posuvná vazba	1	$R_{az}$
Neposuvný pevný kloub, pevná vazba	2	$R_{az}$ $R_{ax}$
Posuvné vetknutí	2	$R_{az}$ $M_{ay}$
Dokonalé vetknutí	3	$R_{az}$ $R_{ax}$ $M_{ay}$

Prut

26 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Provizorní podepření stropu stojkami

Prut

27 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Podepření střešní konstrukce sloupy, Tesco, Ostrava - Třebovice

Přut

28 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Podepření střešní konstrukce sloupy, Tesco, Ostrava - Třebovice

Přut

29 / 128

---

---

---

---

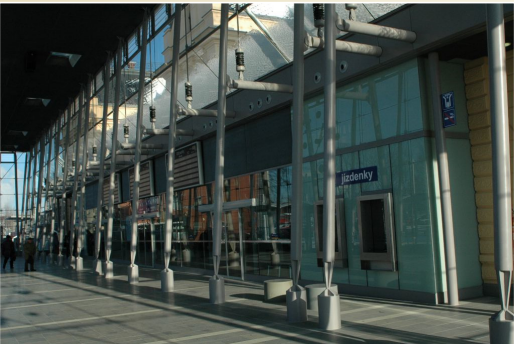
---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Konstrukce vstupní haly, nádraží Ostrava - Svinov

Přut

30 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření sloupu, nádraží Ostrava - Svinov

Přut

31 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Most přes místní komunikaci na železniční trati Dětmorovice – Petrovice: km 286.258

Přut

32 / 128

---

---

---

---

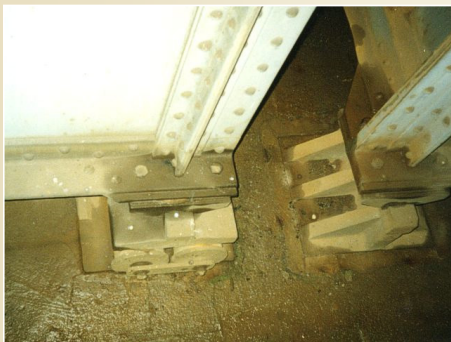
---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Most přes místní komunikaci na železniční trati Dětmorovice – Petrovice: km 286.258

Přut

33 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Nosný systém dřevěné konstrukce, Aquapark, Bohumín

Prut

34 / 128

---

---

---

---

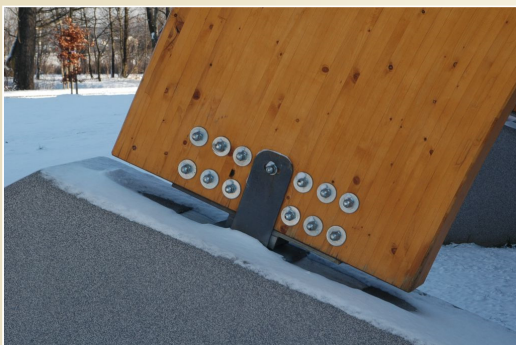
---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření dřevěné konstrukce, Aquapark, Bohumín

Prut

35 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Podepření konstrukce nástupní haly, Hlavní nádraží, Praha

Prut

36 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření sloupu nástupní haly,  
Hlavní nádraží, Praha

Pрут

37 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření,  
Petřinská rozhledna, Praha

Pрут

38 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Havířov, železniční most přes silnici Rudná

Pрут

39 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Havířov, železniční most přes silnici Rudná

Přut

40 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Havířov, železniční most přes silnici Rudná

Přut

41 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Přut

42 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---



**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Přut

43 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Přut

44 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Přut

45 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prut

46 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prut

47 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prut

48 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Betonový skelet a ocelová kopule pavilonu C, Brněnské výstaviště

Přít

49 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Konzolový nosník konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Přít

50 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Konzolový nosník, výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Přít

51 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Destrukce konzolového nosníku, hala Žďárec, foto: Prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Přut

52 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Destrukce konzolového nosníku, hala Žďárec, foto: Prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Přut

53 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Sloup s podepřením větknutím

Přut

54 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---



**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Sloup s podepřením vetknutím

Pрут

55 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Vetknuté sloupy železobetonového skeletu, Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava

Pрут

56 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky vnějších vazeb konstrukcí**



Krytý přechod mezi pavilony A a C, průměr kruhového válce 496 cm, Brněnské výstaviště

Pрут

57 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---



## Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Krytý přechod mezi pavilony A a C, průměr kruhového válce 496 cm, Brněnské výstaviště

Prut

58 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zajištění nehybnosti prutu

K pevnému podepření objektu je potřeba tolika vazeb  $v$ , aby zrušily všechny stupně volnosti  $n_v$ .

- $v = n_v$       Podepření objektu je **kinematicky určité**, zajištěna nehybnost objektu, použitelná jako stavební konstrukce.
- $v < n_v$       Podepření objektu je **kinematicky neurčité**, nehybnost objektu není zajištěna, jako stavební konstrukce nepřijatelná (nedostatečný počet vazeb).
- $v > n_v$       Podepření objektu je **kinematicky přeúčité**, nehybnost objektu zajištěna, použitelná jako stavební konstrukce (větší počet vazeb než je nezbytně nutné).

Vazby musí být vhodně uspořádány, aby skutečně zajišťovaly nehybnost objektu – nesmí se jednat o tzv. **výjimečný případ** kinematicky určité nebo přeúčité konstrukce.

Prut

59 / 128

---

---

---

---

---

---

---

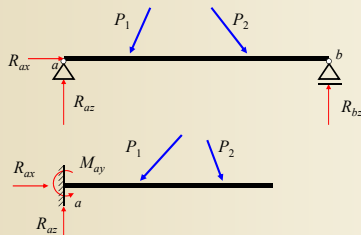
---

---

---

## Kinematicky určitá konstrukce

$v = n_v$       Podepření objektu je **kinematicky určité**  
 $v = 3, n_v = 3$



Prut

60 / 128

---

---

---

---

---

---

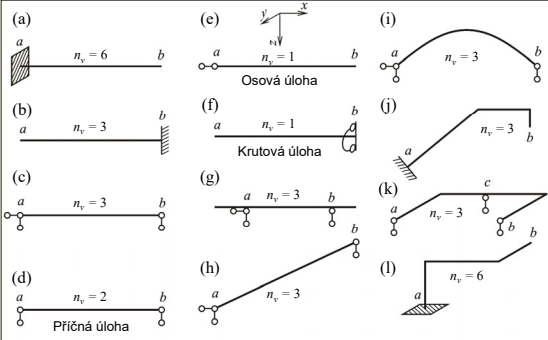
---

---

---

---

### Kinematicky určité případy podepření prutů



Kinematicky určité případy podepření prutů  
 Obr. 6.8. / str. 80

Prut

61 / 128

---

---

---

---

---

---

---

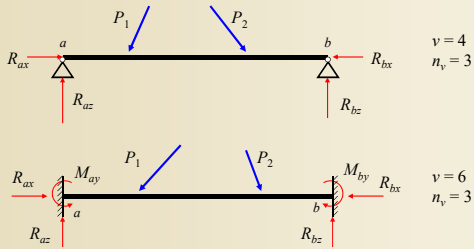
---

---

---

### Kinematicky přeuročitá konstrukce

$v > n_v$  Podepření objektu je kinematicky přeuročité



Prut

62 / 128

---

---

---

---

---

---

---

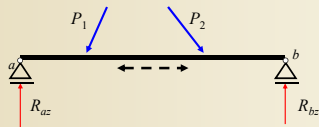
---

---

---

### Kinematicky neurčitá konstrukce

$v < n_v$  Podepření objektu je kinematicky neurčité



Objekt v rovnováze jen za určitého zatížení

Ve stavební praxi nepoužitelné.

Prut

63 / 128

---

---

---

---

---

---

---

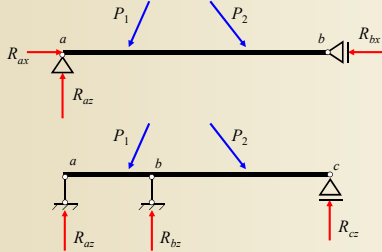
---

---

---

## Výjimkové případy podepření

Vazby musí být vhodně uspořádány – nesmí vzniknout **výjimkové případy podepření**, které jsou ve stavební praxi nepoužitelné.



Prut

64 / 128

---

---

---

---

---

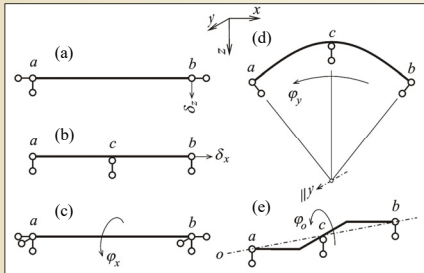
---

---

---

## Kinematicky určité případy podepření prutů

- (c) prut není zajištěn proti rotaci – 1 vazba proti vodorovnému posunu nadbytečná
- (d) tři vazby proti posunutí, jejichž směry se protínají v jednom bodě
- (e) tři vazby proti svislému posunutí v bodech, ležících v jedné přímce



Výjimkové případy kinematicky určitého podepření prutů  
Obr. 6.9. / str. 80

Prut

65 / 128

---

---

---

---

---

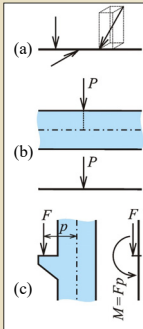
---

---

---

## Idealizované silové zatížení prutů

**Bodová síla**  
v [kN], [N]

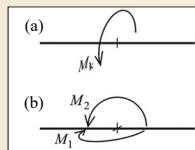


Bodová zatížení  
Obr. 6.10. / str. 81

**Bodový moment**  
v [kNm], [Nm]

- a) zkrutující
- b) ohýbající

Nejčastěji vzniká při přeložení excentrické síly do působíště na ose prutu (obr.6.10.c)



Bodové momenty  
Obr. 6.11. / str. 81

Prut

66 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Idealizované silové zatížení prutů**



Bodové silové zatížení konzoly

Prut 67 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Idealizované silové zatížení prutů**



Bodové silové zatížení konzoly

Prut 68 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Idealizované silové zatížení prutů**



Bodové silové zatížení konzoly

Prut 69 / 128

---

---

---

---

---

---

---

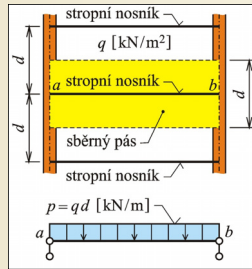
---

## Liniová zatížení

Silové liniové zatížení - příčné  
v [kN/m], [N/m]

Příklady:

- tíha zděné příčky působící na stropní nosník
- nahodilé zatížení stropu [kN/m<sup>2</sup>] soustředěné na nosník formou sběrného pásu



Příklad příčného silového liniového zatížení nosníku  
Obr. 6.12. / str. 82

Prut

70 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Příklad stropní konstrukce



Stropní konstrukce výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava

Prut

71 / 128

---

---

---

---

---

---

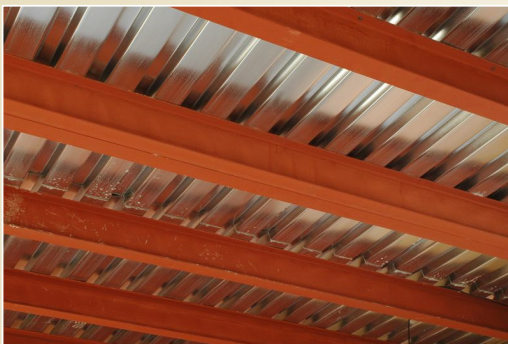
---

---

---

---

## Příklad stropní konstrukce



Stropní konstrukce výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava

Prut

72 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Stropní systém HURDIS

Schéma správné montáže desek HURDIS

Prut 73 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Stropní systém HURDIS

Prostorový pohled

Prut 74 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Stropní systémy s jednoduchými nosíky

Prut 75 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

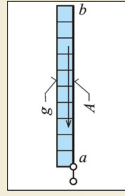
---

## Liniová zatížení

**Silové liniové zatížení - osové**  
 v [kN/m], [N/m]

Příklad:

- vlastní tíha sloupu velikosti  $\gamma \cdot A$  [kN/m<sup>3</sup> · m<sup>2</sup>]



Vlastní tíha sloupu  
 Obr. 6.13. / str. 82

Prut

76 / 128

---

---

---

---

---

---

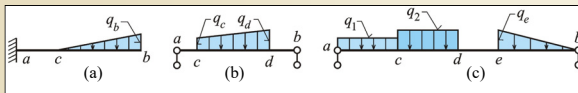
---

---

---

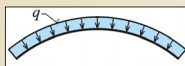
---

## Liniová zatížení

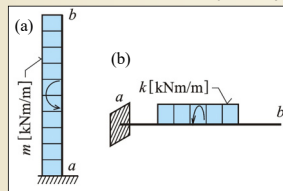


Částečná zatížení rovnoměrná a lineárně proměnná  
 Obr. 6.14. / str. 82

- Rovnoměrné, trojúhelníkové, lichoběžníkové
- Plné, částečné



Zakřivený prut zatížený kolmo ke střednici  
 Obr. 6.15. / str. 82



Spojité momentová zatížení  
 Obr. 6.16. / str. 82

Prut

77 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

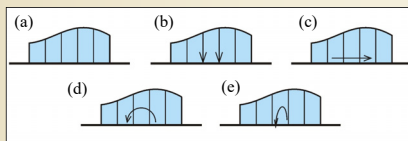
---

---

## Smluvené symboly

Grafické symboly vyjadřující:

- libovolné zatížení prutu
- blíže nespecifikované zatížení silové příčné
- blíže nespecifikované zatížení silové osové
- blíže nespecifikované zatížení momentové ohýbající
- blíže nespecifikované zatížení momentové zkrutující



Smluvené symboly pro obecná zatížení prutu  
 Obr. 6.17. / str. 83

Prut

78 / 128

---

---

---

---

---

---

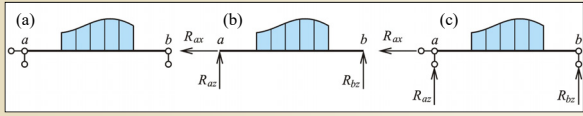
---

---

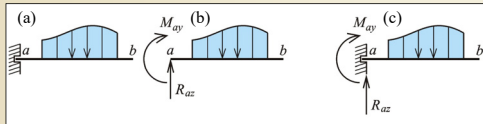
---

---

## Složky reakcí ve vnějších vazbách



Zakreslení silových složek reakcí ve vnějších vazbách  
Obr. 6.18. / str. 84



Zakreslení momentové a silové složky reakce ve vnější vazbě  
Obr. 6.19. / str. 84

Prut

79 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Podmínky rovnováhy uvolněného zatíženého prutu

Podepřený prut musí být nehybný a v rovnováze.

Počet podmínek rovnováhy záleží na typu řešené úlohy, shoduje se s počtem stupňů volnosti nepodepřeného prutu  $n_v$ .

Kolik stupňů volnosti  $v$  odebírají objektu vazby, tolik vzniká složek reakcí.

- $v = n_v$  Počet neznámých složek reakcí se shoduje s počtem podmínek rovnováhy, prut je **staticky určitý** a použitelný jako stavební konstrukce.
- $v < n_v$  Počet neznámých složek reakcí je menší než počet podmínek rovnováhy, prut je **staticky přeuročité** a nepoužitelný jako stavební konstrukce (rovnováha nemůže být obecně zajištěna).
- $v > n_v$  Počet neznámých složek reakcí je větší než počet podmínek rovnováhy, prut je **staticky neurčité** a může sloužit jako stavební konstrukce (podmínky rovnováhy musí být doplněny podmínkami přetvárnými-deformačními, předmět Pružnost a plasticita).

Pokud je determinant soustavy roven nule – jde o výjimečný případ.

Prut

80 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

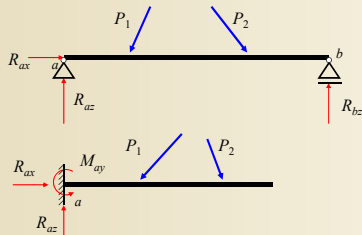
## Staticky určitá konstrukce

$$v = n_v$$

Prut je **staticky určitý**

$$v = 3, n_v = 3$$

(3 složky reakcí, 3 podmínky rovnováhy)



Prut

81 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Podmínky rovnováhy obecné rovinné soustavy sil

V rovnováze tehdy, když je nulová  $R$  ( $R_x$  a  $R_z$ ) a  $M_R$ .

**3 podmínky rovnováhy** (2 silové, 1 momentová):

$$R_x = \sum_{i=1}^n P_{ix} = 0 \quad R_z = \sum_{i=1}^n P_{iz} = 0 \quad M_R = \sum_{i=1}^n (M_{ix} + M_{iz}) + \sum_{j=1}^m M_j = 0$$

Momentová podmínka musí platit k libovolnému momentovému středu  $s$

$$M_s = \sum_{i=1}^n (P_{ix} \cdot p_{isx} + P_{iz} \cdot p_{isz}) + \sum_{j=1}^m M_j = \sum_{i=1}^n [P_{ix} \cdot (z_i - z_s) + P_{iz} \cdot (x_i - x_s)] + \sum_{j=1}^m M_j = 0$$

V praktických aplikacích často nutno sestavit 2 momentové podmínky ke dvěma momentovým středům  $a, b$ . Ty se doplňují třetí podmínkou:

a)  $R_x = 0$  pokud je spojnice  $a, b$  vodorovná

b)  $R_z = 0$  pokud je spojnice  $a, b$  svislá

c)  $R_x = 0$  nebo  $R_z = 0$  nebo  $R_{ab} = 0$  pokud je spojnice  $a, b$  šikmá (nutno rozkládat)

Užívané jsou také 3 momentové podmínky ke třem libovolným momentovým středům, které nesmí ležet v jedné přímkce  $M_a = 0 \quad M_b = 0 \quad M_c = 0$

Obecná rovinná soustava sil – téma č.2 82 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Podmínky rovnováhy obecné rovinné soustavy sil

**Například :**

**Beam structure:**  $R_{ax} = 0$ ,  $R_{az} = 0$ ,  $M_a = 0$ ,  $M_b = 0$

**Frame structure:**  $R_{a1} = 0$ ,  $M_{a1} = 0$ ,  $M_{a2} = 0$ ,  $M_{a3} = 0$ ,  $R_{bz} = 0$ ,  $M_b = 0$

Obecná rovinná soustava sil – téma č. 2 83 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Staticky neurčitá konstrukce

$v > n_v$       Konstrukce je **staticky neurčitá**

$s = v - n_v$       **Stupeň statické neurčitosti**  
(počet nutných deformačních podmínek, předmět Pružnost a plasticita)

**Beam with fixed supports:**  $v = 4$ ,  $n_v = 3$ ,  $s = 1$

**Frame with fixed supports:**  $v = 6$ ,  $n_v = 3$ ,  $s = 3$

Prut 84 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kinematicky i staticky určité podepření hmotného bodu v rovině

Volný hmotný bod v rovině:  $n_i=2$ , určen  $[x,z]$ ,  
 $\infty^2$  různých poloh

2 podmínky rovnováhy

$$1. R_x = \sum P_{ix} = 0$$

$$- N_1 \cos \alpha_1 + N_2 \cos \alpha_2 = 0$$

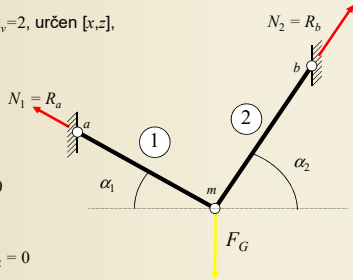
$$2. R_z = \sum P_{iz} = 0$$

$$+ F_G - N_1 \sin \alpha_1 - N_2 \sin \alpha_2 = 0$$

Maticový zápis:

$$[A] \{X\} = \{F\}$$

$$\begin{bmatrix} -\cos \alpha_1 & \cos \alpha_2 \\ -\sin \alpha_1 & -\sin \alpha_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -F_G \end{Bmatrix}$$



Prut

85 / 128

---

---

---

---

---

---

---

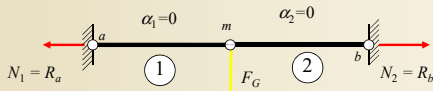
---

---

---

### Výjimečný případ podepření hmotného bodu v rovině

Výjimečný případ podepření



Maticový zápis:

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -F_G \end{Bmatrix}$$

**Determinant matice [A] je roven 0**

$$N_1 = N_2 = \infty$$

Prut

86 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Základní spojení prutů

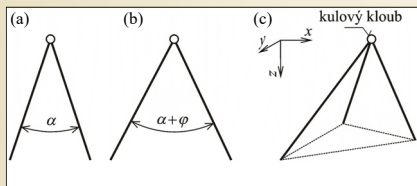
**Prutová soustava** – několik prutů (nejméně dva) spojeny (na koncích – ve **stýčnicích**) tak, že se vzájemně ovlivňují (spolupůsobí).

Stýčnický dvojnásobný, trojnásobný ... podle počtu spojených prutů.

Pruty spojeny:

a) **kloubově** – spojené konce se nemohou vzájemně posunout, mohou se vzájemně potočit

b) **monoliticky** (rámově, tuze) – spojené konce se nemohou vzájemně posunout ani potočit



Kloubová spojení prutů v rovině a v prostoru  
 Obr. 6.20. / str. 85

Prutová soustava

87 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kloubová spojení prutů



Prostorová příhradová konstrukce letištní haly v Římě, foto: prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA

Prutová soustava

88 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kloubová spojení prutů



Kloubové připojení diagonál k dolnímu pásu příhradového vazníku, Pavilon V, Brněnské výstaviště

Prutová soustava

89 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kloubová spojení prutů



Kloubové připojení táhla k tuhému oblouku, Pavilon G1, Brněnské výstaviště

Prutová soustava

90 / 128

---

---

---

---

---

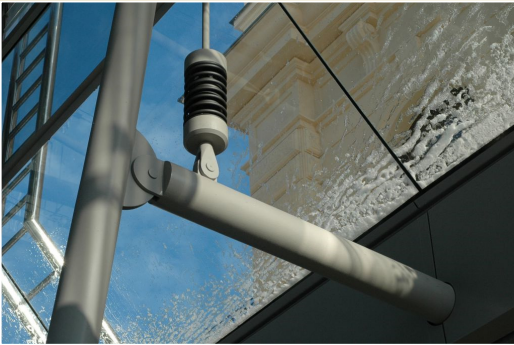
---

---

---



### Kloubová spojení prutů



Kloubové spojení prutů konstrukce vstupní haly, nádraží Ostrava - Svinov

Prutová soustava

91 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kloubová spojení prutů



Kloubové spojení prutů ztužidel vstupní haly nádraží Ostrava - Svinov

Prutová soustava

92 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kloubová spojení prutů



Kloubově uložené nosníky železobetonového skeletu, Albert, Ostrava-Poruba

Prutová soustava

93 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Kloubová spojení prutů



Kloubově uložené nosníky železobetonového skeletu, Albert, Ostrava-Poruba

Prutová soustava

94 / 128

---

---

---

---

---

---

---

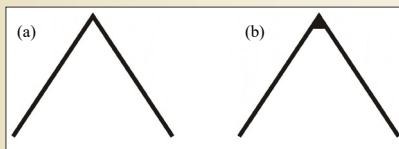
---

## Základní spojení prutů

**Monolitické spojení** – většina prutových soustav, Spojení provedeno svarem, nýtováním, šroubovým spojem, slepením, betonáží.

**Kloubové prutové soustavy** – ke spojení prutů použito výhradně kloubů.

**Rámové prutové soustavy** – alespoň jedno monolitické (rámové) spojení prutů.



Monolitické spojení  
Obr. 6.21./ str. 86

Prutová soustava

95 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Monolitická spojení prutů



Monolitické stýčnický prostorové příhradové ocelové konstrukce plaveckého stadiónu v Brně

Prutová soustava

96 / 128

---

---

---

---

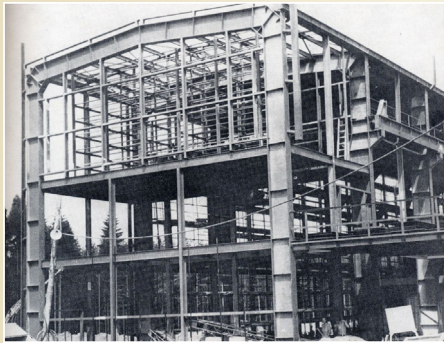
---

---

---

---

### Monolitická spojení prutů



Rámová ocelová konstrukce s rozpětím 20,5 m

Prutová soustava

97 / 128

---

---

---

---

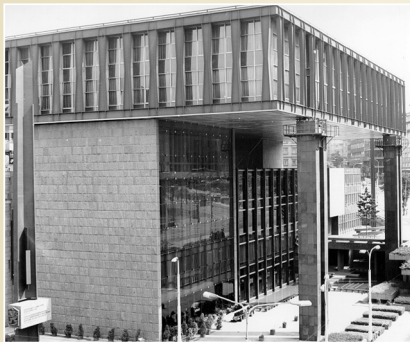
---

---

---

---

### Monolitická spojení prutů



Vierendeelúv (rámový) nosník, Národní muzeum, Václavské náměstí, Praha

Prutová soustava

98 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Monolitická spojení prutů



Konstrukce prostorového rámu Kursaal Convention Centre and Auditorium, San Sebastian, Španělsko

Prutová soustava

99 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

## Monolitická spojení prutů



Konstrukce prostorového rámu Kursaal Convention Centre and Auditorium, San Sebastian, Španělsko

Prutová soustava

100 / 128

---

---

---

---

---

---

---

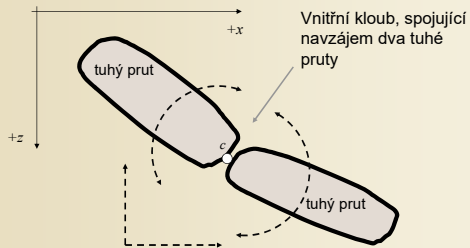
---

## Vnitřní vazby

Jednoduché vnitřní vazby:

- a) proti vzájemnému posunu v zadaném směru
- b) proti vzájemnému pootočení v zadané rovině

Počet tuhých prutů :  $p = 2$



Prutová soustava

101 / 128

---

---

---

---

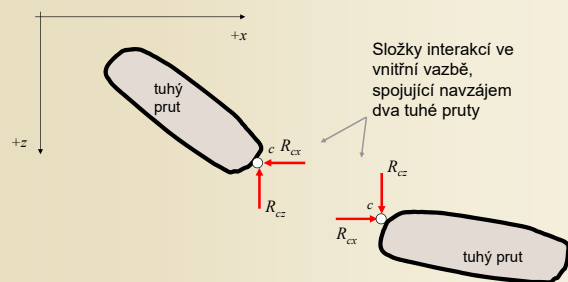
---

---

---

---

## Vnitřní vazba – kloubové spojení 2 tuhých prutů



Prutová soustava

102 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Vnitřní vazba – kloubové spojení 3 tuhých prutů

hmotný bod  $m$  a 3 jednoduché klouby

Vnitřní vazba, spojující navzájem tři tuhé pruty

3 tuhé pruty a hmotný bod mají 11 stupňů volnosti

Prutová soustava 103 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Vnitřní vazby – kloubové spojení 3 tuhých prutů

3 tuhé pruty mají 9 stupňů volnosti  $n_v = 3 \cdot p$

kloubové spojení ruší 4 stupně volnosti (hmotný bod + 3 jednoduché klouby)  $p \cdot 2 - 2 = 2 \cdot (p - 1)$

Počet tuhých prutů:  $p = 3$

Složené soustavě zůstává 5 stupňů volnosti  $n_v = 3 \cdot p - 2 \cdot (p - 1)$

Prutová soustava 104 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Interakce při kloubovém spojení 3 tuhých prutů

1.

2.

3.

$R_{cx,1}$ ,  $R_{cx,2}$ ,  $R_{cx,3}$

$R_{cz,1}$ ,  $R_{cz,2}$ ,  $R_{cz,3}$

Prutová soustava 105 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Zajištění nehybnosti rovinné kloubové prutové soustavy

$$2 \cdot b + 3 \cdot p = a_1 + 2 \cdot a_2 + 3 \cdot a_3 + 2 \cdot \sum_{n=3,4,\dots} (n-1) \cdot k_n$$

počet statických podmínek rovnováhy,  
počet stupňů volnosti  $n_v$

počet vnějších a vnitřních vazeb  
 $v = v_e + v_i$

$b$  ... počet hmotných bodů

$p$  ... počet tuhých prutů (desek)

$a_1$  ... počet jednonásobných vazeb

$a_2$  ... počet dvojnásobných vazeb  
(i vnitřní kloub spojující 2 tuhé pruty - desky)

$a_3$  ... počet trojnásobných vazeb

$k_n$  ... počet vnitřních kloubů, spojujících  $n > 2$  tuhých prutů (desek)

$n_v = v$  kinematicky určitá soustava

$n_v < v$  kinematicky přeúčtá soustava

$n_v > v$  kinematicky neurčitá soustava

Prutová soustava

106 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Základní typy kinematicky určitých prutových soustav

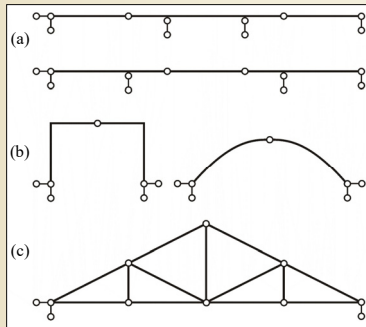
a) **Spojité nosník s vloženými klouby**  
(tzv. Gerberův nosník)



**Heinrich Gerber (1832 - 1912)**  
významný německý konstruktér ocelových mostů

b) **Trojkloubový rám nebo oblouk**

c) **Příhradový nosník**



Základní typy kinematicky určitých rovinných kloubových soustav

Obr. 6.22. / str. 87

Prutová soustava

107 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prutová soustava

108 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prutová soustava

109 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prutová soustava

110 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Prutová soustava

111 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Spojité nosník s vloženými klouby**



Most přes feku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Prutová soustava

112 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Spojité nosník s vloženými klouby**



Most přes feku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Prutová soustava

113 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

**Spojité nosník s vloženými klouby**



Most přes feku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Prutová soustava

114 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Prutová soustava

115 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>, mezilehlá mostovka, Brno

Prutová soustava

116 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>, mezilehlá mostovka, Brno

Prutová soustava

117 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>, mezilehlá mostovka, Brno  
Prutová soustava 118 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>, mezilehlá mostovka, Brno  
Prutová soustava 119 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>, mezilehlá mostovka, Brno  
Prutová soustava 120 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---



### Příhradový nosník



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Prutová soustava

121 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Příhradový nosník



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Prutová soustava

122 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Příhradový nosník



Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Prutová soustava

123 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Rámová konstrukce s vnitřním kloubem



Tribuna fotbalového stadionu Baníku Ostrava, Ostrava - Bazaly

Prutová soustava

124 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

### Rámová konstrukce s vnitřním kloubem



Tribuna fotbalového stadionu Baníku Ostrava, Ostrava - Bazaly

Prutová soustava

125 / 128

---

---

---

---

---

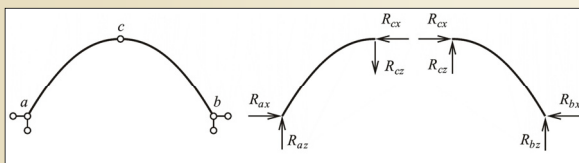
---

---

---

### Složky interakcí ve vnitřních vazbách

Silové složky interakce ve vnitřních vazbách – vodorovné a svislé.



Zakreslení a popisy složek reakcí a interakcí  
Obr. 6.23. / str. 88

Prutová soustava

126 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---



### Podmínky rovnováhy uvolněných zatížených prutů soustavy

Pro každý samostatný prut lze sestavit 3 podmínky rovnováhy.

Počet vnějších a vnitřních vazeb:  $v = v_e + v_i$

Kolik stupňů volnosti odebírají soustavě vazby  $v$ , tolik vzniká složek reakcí.

$v = n_v$  Počet neznámých složek reakcí se shoduje s počtem podmínek rovnováhy, soustava je **staticky určitá** a použitelná jako stavební konstrukce.

$v < n_v$  Počet neznámých složek reakcí je menší než počet podmínek rovnováhy, soustava je **staticky přeuročité** a nepoužitelná jako stavební konstrukce (rovnováha nemůže být obecně zajištěna).

$v > n_v$  Počet neznámých složek reakcí je větší než počet podmínek rovnováhy, soustava je **staticky neurčitá** a může sloužit jako stavební konstrukce. Stupeň statické neurčitosti  $s = v - n_v$ .

Pokud je determinant soustavy roven nule – jde o výjimečný případ.

Prutová soustava

127 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Okruhy problémů k ústní části zkoušky

1. Zatížení nosných stavebních konstrukcí
2. Zajištění nehybnosti prutu, stupeň statické neurčitosti, složky reakcí ve vnějších vazbách
3. Výjimečné případy kinematicky určitého podepření prutů
4. Zajištění nehybnosti rovinné kloubové prutové soustavy, stupeň statické neurčitosti, složky reakcí ve vnějších vazbách, složky interakcí ve vnitřních vazbách

Podklady ke zkoušce

128 / 128

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---