

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

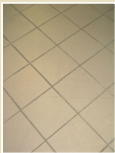


Deska – plošný nosný prvek, zatížený kolmo ke střednicové ploše, nadměrné přetvoření střechy vlivem extrémního zatížení sněhem, foto: Prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

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. m³ 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

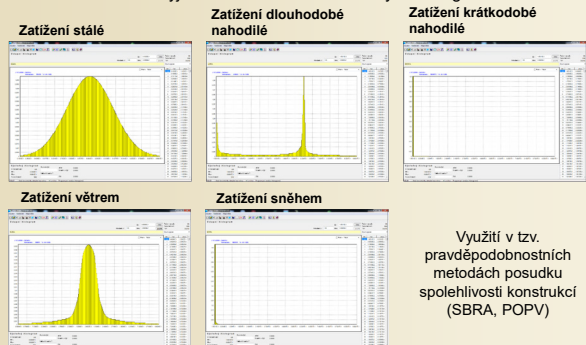
- a) **deterministické** - vlastnosti jednoznačně vymezeny normou, např. měrné tíhy stávků
- b) **stochastické** (pravděpodobnostní přístup) – velikost zatížení není předepsána jednou hodnotou, nýbrž pravděpodobnostní funkcí

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"> • Stálá zatížení • Nahodilá zatížení <ul style="list-style-type: none"> • Dlouhodobá • Krátkodobá • Mimořádná 	<ul style="list-style-type: none"> • Stálá zatížení • Proměnná zatížení • Mimořádná zatížení

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)

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

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

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

Mimořádná zatížení: účinky zemětřesení, výbuchy, nárazy vozidel

ČSN EN 1991-1-4

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí 14 / 128

Zatížení nosné konstrukce větrem

Proměnné zatížení – rovnoměrně rozložené [kN/m²]

zahrnuje vliv nadmořské výšky

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

I	II	III	IV	V
22,5	25	27,5	30	36

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

1) Charakteristická hodnota při příušné poloze
Českého hydrometeorologického ústavu

Výpracoval Český hydrometeorologický ústav v roce 2006

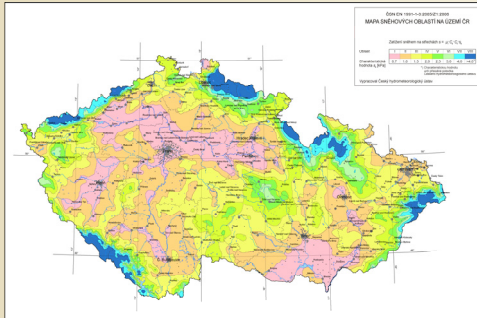
- výsledky z 46 stanic ČHMÚ a několika zahraničních stanic
- data z období 1961 až 2000

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/m²]



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) γ , který předepisuje norma.

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

	EU	dříve v ČR
γ_G	1,35	1,2
γ_Q	1,50	1,4

γ_G ... součinitel spolehlivosti pro stálá zatížení (vlastní tíha)

γ_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 γ	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 ψ_0	0,7
Výsledná kombinace zatížení F_d [kN]	506,50

Vztah pro určení kombinace zatížení dle ČSN P ENV

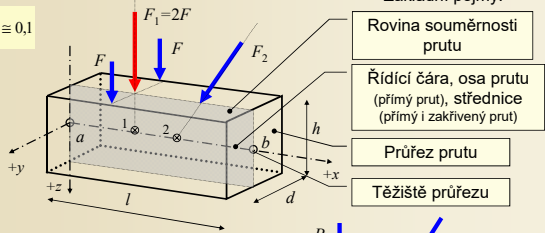
$$F_d = \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Reálné zatížení nosných stavebních konstrukcí

18 / 128

Geometrický popis prutu, idealizace

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

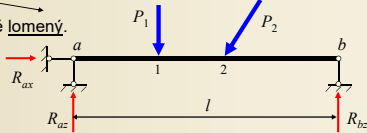


Základní pojmy:

- Rovina souměrnosti prutu
- Řídící čára, osa prutu (přímý prut), střednice (přímý i zakřivený prut)
- Průřez prutu
- Těžiště průřezu

Prut rovinně nebo prostorově lomený.

Statické schéma – statický model nosné konstrukce



Prut

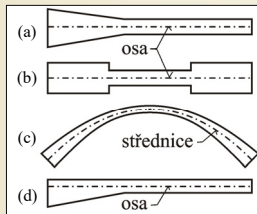
19 / 128

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

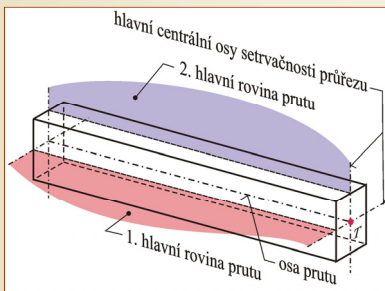
20 / 128

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) δ
b) pootočení (rotace) φ

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

Prut 23 / 128

Vnější vazby proti posunům

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

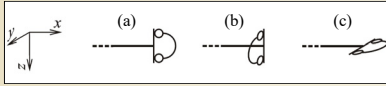
Jednoduché a sdružené vazby proti posunům znázorněné pomocí kyvných prutů
Obr. 6.4. / str. 77

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

Prut 24 / 128

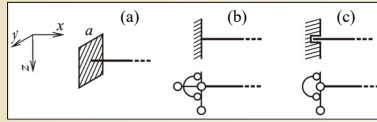
Vnější vazby proti pootočení

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} R_{ax} 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

Pрут

28 / 128

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí

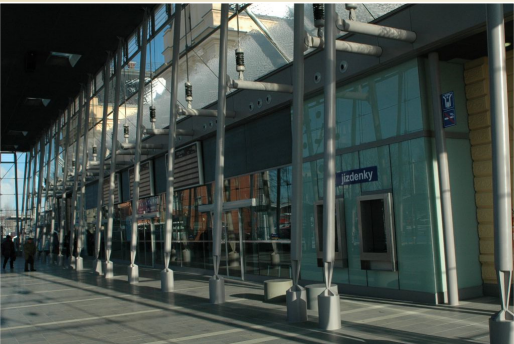


Podepření střešní konstrukce sloupy, Tesco, Ostrava - Třebovice

Pрут

29 / 128

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí

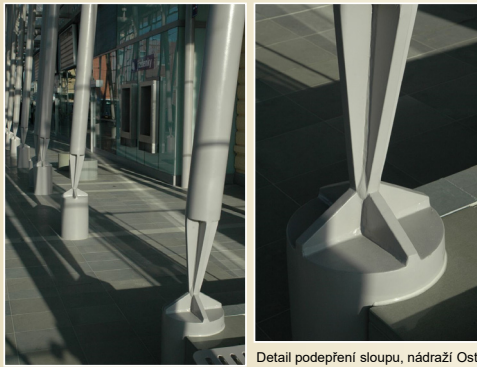


Konstrukce vstupní haly, nádraží Ostrava - Svinov

Pрут

30 / 128

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření sloupu, nádraží Ostrava - Svinov

Přut

31 / 128

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí

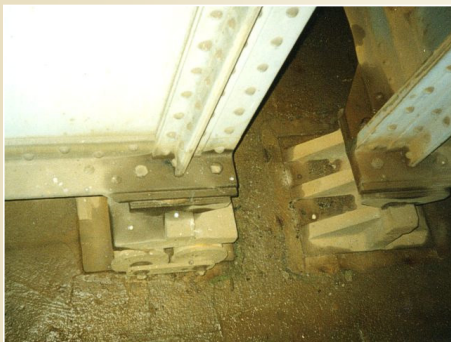


Most přes místní komunikaci na železniční trati Dětmorovice – Petrovice: km 286.258

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

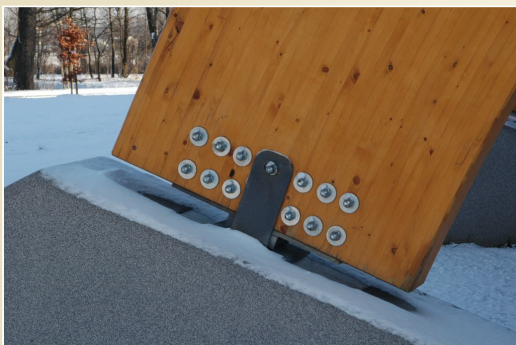


Nosný systém dřevěné konstrukce, Aquapark, Bohumín

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

Přut

55 / 128

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Přut

56 / 128

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Přut

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

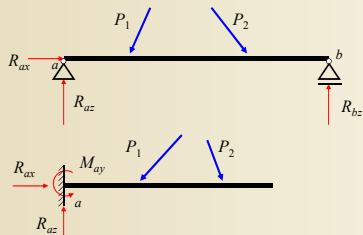
59 / 128

Kinematicky určitá konstrukce

$$v = n_v$$

$$v = 3, n_v = 3$$

Podepření objektu je **kinematicky určité**



Prut

60 / 128

Kinematicky určité případy podepření prutů

(a) $n_v = 6$ (Fixed support at a, free end at b)
 (b) $n_v = 3$ (Fixed support at b, free end at a)
 (c) $n_v = 3$ (Pin support at a, roller support at b)
 (d) $n_v = 2$ (Pin support at a, roller support at b)
 (e) $n_v = 1$ (Roller support at a, pin support at b) - Osová úloha
 (f) $n_v = 1$ (Pin support at a, roller support at b) - Krutová úloha
 (g) $n_v = 3$ (Pin support at a, roller support at b)
 (h) $n_v = 3$ (Pin support at a, roller support at b)
 (i) $n_v = 3$ (Pin support at a, roller support at b)
 (j) $n_v = 3$ (Pin support at a, roller support at b)
 (k) $n_v = 3$ (Pin support at a, roller support at b)
 (l) $n_v = 6$ (Fixed support at a, free end at b)

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

Prut 61 / 128

Kinematicky přeuročitá konstrukce

$v > n_v$ Podepření objektu je kinematicky přeuročité

Top diagram: $v = 4$, $n_v = 3$. Reactions: R_{ax} , R_{az} , R_{bx} , R_{bz} . Loads: P_1 , P_2 .

Bottom diagram: $v = 6$, $n_v = 3$. Reactions: R_{ax} , R_{az} , M_{ay} , M_{by} , R_{bx} , R_{bz} . Loads: P_1 , P_2 .

Prut 62 / 128

Kinematicky neurčitá konstrukce

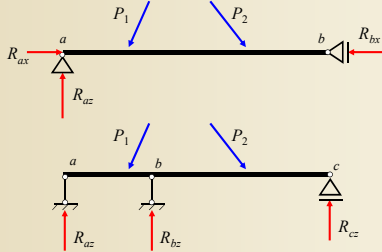
$v < n_v$ Podepření objektu je kinematicky neurčité

Object in equilibrium **only for a specific loading**.
 In construction practice **unusable**.

Prut 63 / 128

Výjimkové případy podepření

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

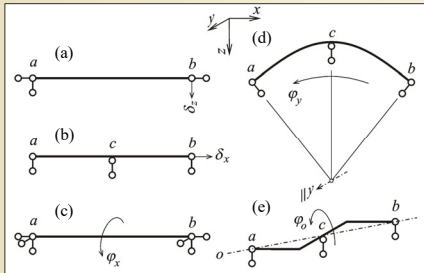


Prut

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



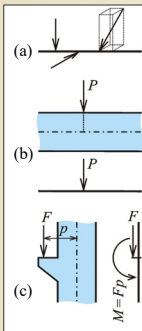
Výjimkové případy kinematicky určitého podepření prutů
Obr. 6.9. / str. 80

Prut

65 / 128

Idealizované silové zatížení prutů

Bodová síla
v [kN], [N]

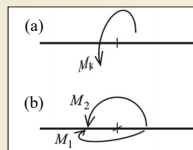


Bodová zatížení
Obr. 6.10. / str. 81

Bodový moment
v [kNm], [Nm]

- a) zkrutující
- b) ohybající

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

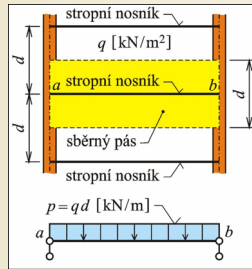
Prut 69 / 128

Liniová zatížení

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

Příklady:

- tíha zděné příčky působící na stropní nosník
- nahodilé zatížení stropu [kN/m²] soustředěné na nosník formou sběrného pásu



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

Prut

70 / 128

Příklad stropní konstrukce

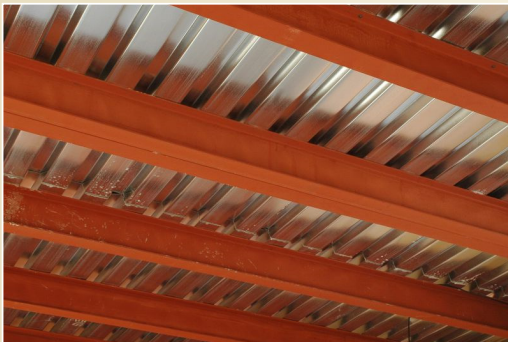


Stropní konstrukce výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava

Prut

71 / 128

Příklad stropní konstrukce



Stropní konstrukce výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava

Prut

72 / 128

Stropní systém HURDIS

Prut 73 / 128

Stropní systém HURDIS

Prut 74 / 128

Stropní systémy s jednoduchými nosíky

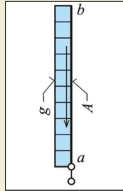
Prut 75 / 128

Liniová zatížení

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

Příklad:

- vlastní tíha sloupu velikosti $\gamma \cdot A$ [kN/m³ · m²]

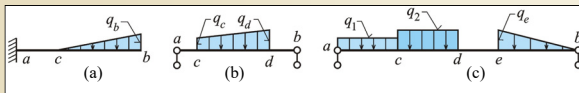


Vlastní tíha sloupu
 Obr. 6.13. / str. 82

Prut

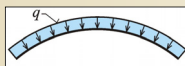
76 / 128

Liniová zatížení

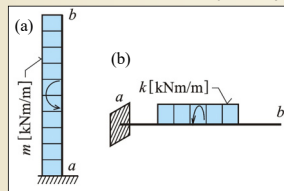


Částečná zatížení rovnoměrná a lineárně proměnná
 Obr. 6.14. / str. 82

- Rovnoměrné, trojúhelníkové, lichoběžníkové
- Plné, částečné



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



Spojité momentová zatížení
 Obr. 6.16. / str. 82

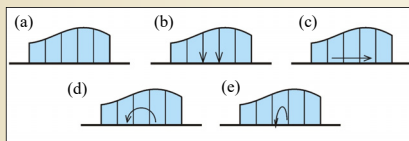
Prut

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

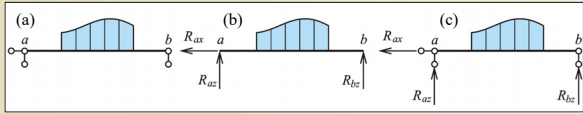


Smluvené symboly pro obecná zatížení prutu
 Obr. 6.17. / str. 83

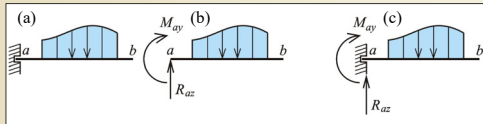
Prut

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 neurčitý** 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

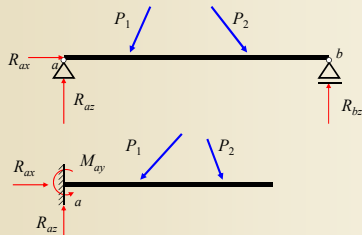
Staticky určitá konstrukce

$$v = n_v$$

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

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

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 přímce $M_a = 0 \quad M_b = 0 \quad M_c = 0$

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

Podmínky rovnováhy obecné rovinné soustavy sil

Například :

$R_x = 0$
 $M_a = 0$
 $M_b = 0$

$M_{s_1} = 0$
 $M_{s_2} = 0$
 $M_{s_3} = 0$

$R_z = 0$
 $M_a = 0$
 $M_b = 0$

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)

$v = 4$
 $n_v = 3$
 $s = 1$

$v = 6$
 $n_v = 3$
 $s = 3$

Prut 84 / 128

Kinematicky i staticky určité podepření hmotného bodu v rovině

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

2 podmínky rovnováhy

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

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

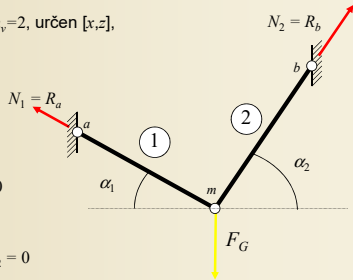
$$2. R_z = \sum P_{iz} = 0$$

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

Maticový zápis:

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

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

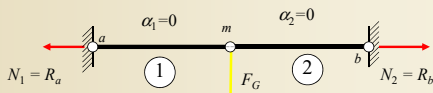


Prut

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

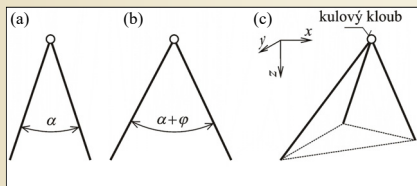
Prutová soustava – několik prutů (nejméně dva) spojeny (na koncích – ve **stýčnicích**) tak, že se vzájemně ovlivňují (spolupůsobí).

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

Pruty spojeny:

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

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



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

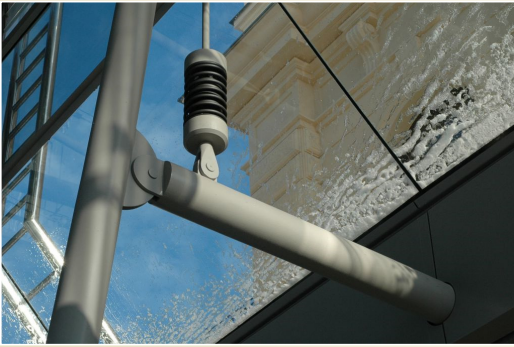


Kloubové připojení táhla k tuhému oblouku, Pavilon G1, Brněnské výstaviště

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

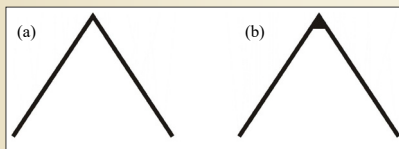
94 / 128

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

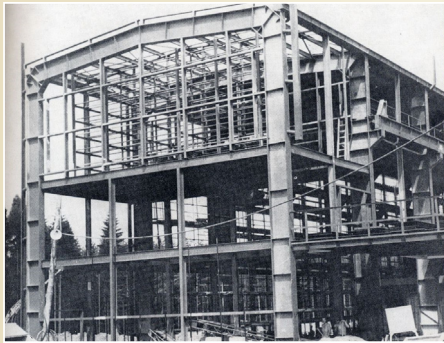


Monolitické stýčnický prostorové příhradové ocelové konstrukce plaveckého stadiónu v Brně

Prutová soustava

96 / 128

Monolitická spojení prutů

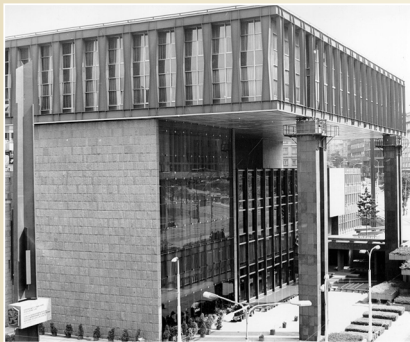


Rámová ocelová konstrukce s rozpětím 20,5 m

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

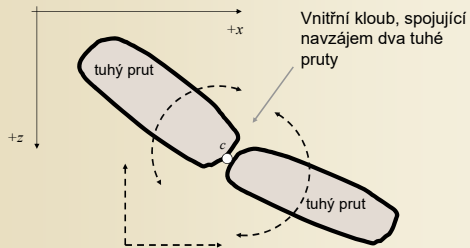
100 / 128

Vnitřní vazby

Jednoduché vnitřní vazby:

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

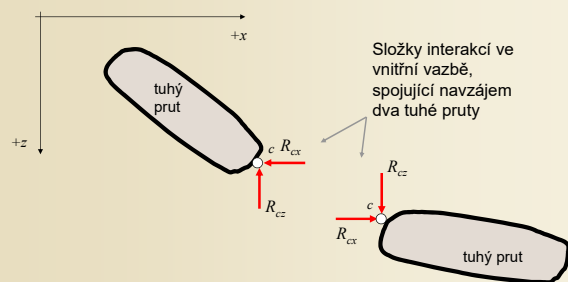
Počet tuhých prutů : $p = 2$



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 $n_v = 3.p$

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

Počet tuhých prutů: $p=3$

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

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 pře určitá soustava

$n_v > v$ kinematicky neurčitá soustava

Prutová soustava

106 / 128

Základní typy kinematicky určitých prutových soustav

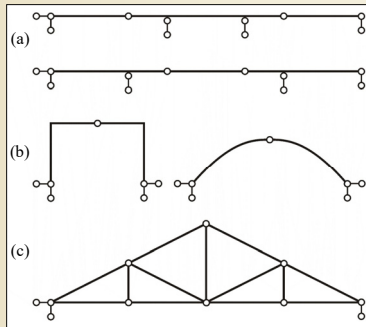
a) **Spojité nosník s vloženými klouby**
(tzv. Gerberův nosník)



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 m², mezilehlá mostovka, Brno

Prutová soustava

116 / 128

Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno

Prutová soustava

117 / 128

Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno
Prutová soustava 118 / 128

Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno
Prutová soustava 119 / 128

Trojkloubový oblouk



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², 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

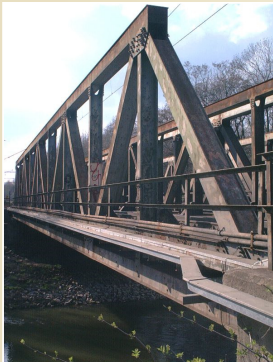


Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

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



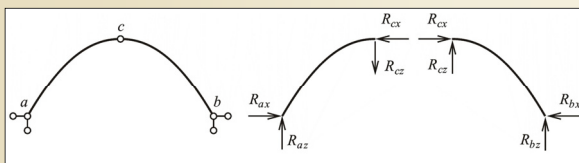
Tribuna fotbalového stadionu Baníku Ostrava, Ostrava - Bazaly

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
