

Téma 3

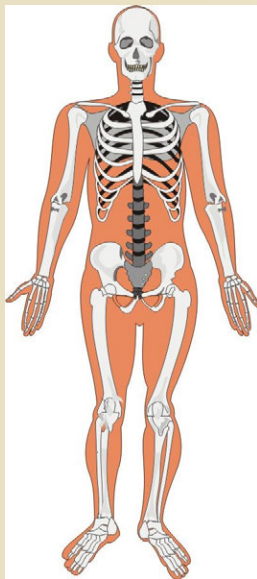
Nosné stavební konstrukce

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

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

Nosná stěna



Stěna – plošný nosný prvek, zatížený v rovině střednicové plochy

Nosná stěna



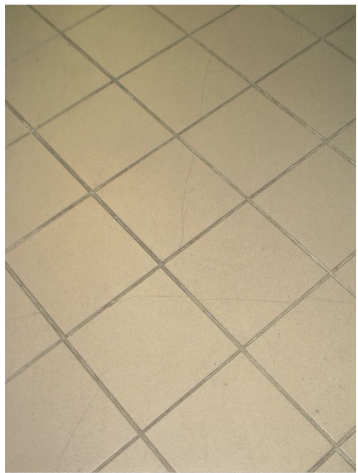
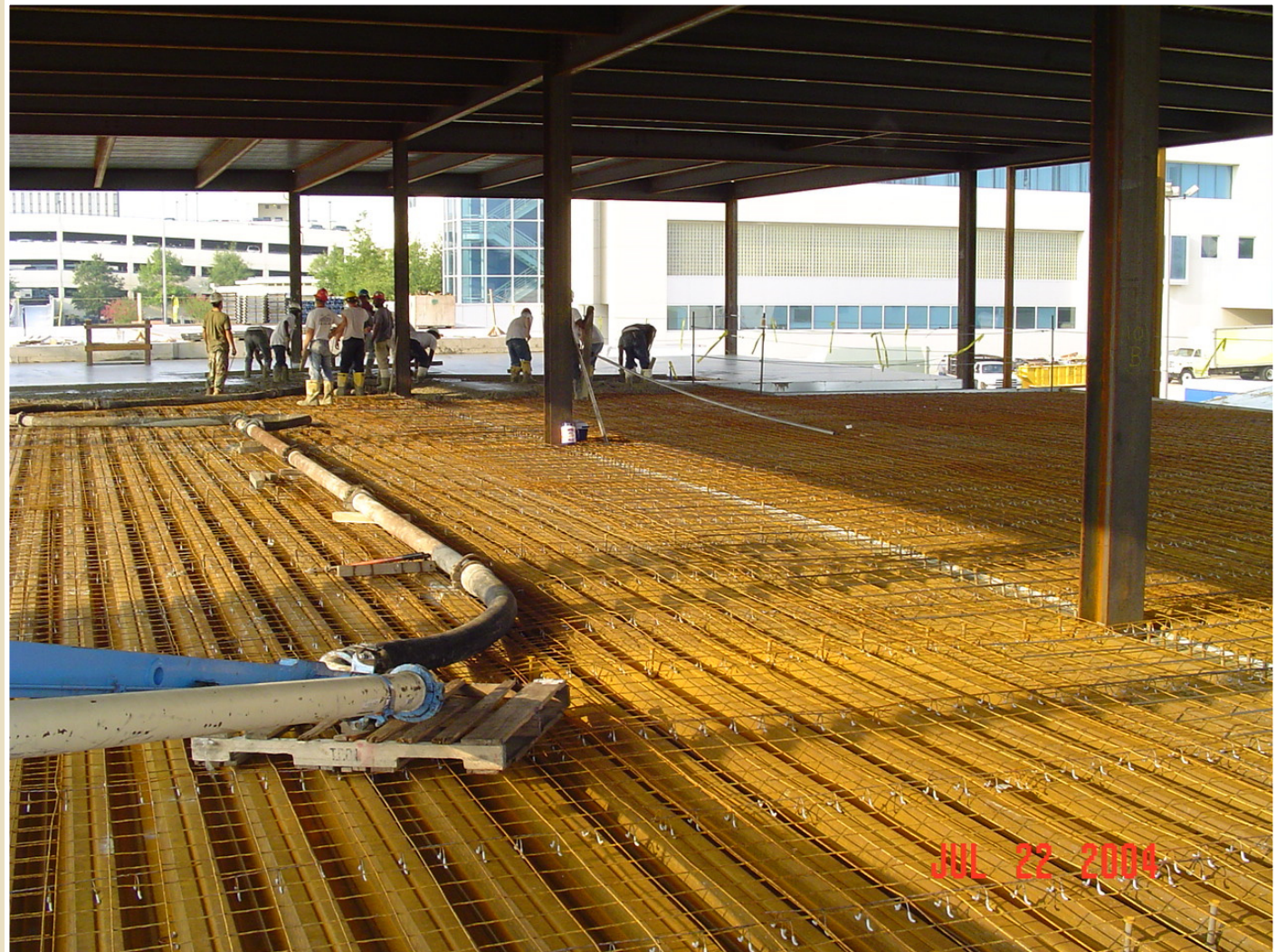
Stěna – plošný nosný prvek, zatížený v rovině střednicové plochy

Nosná deska



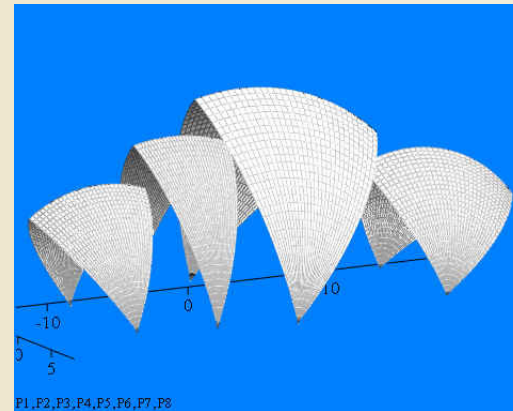
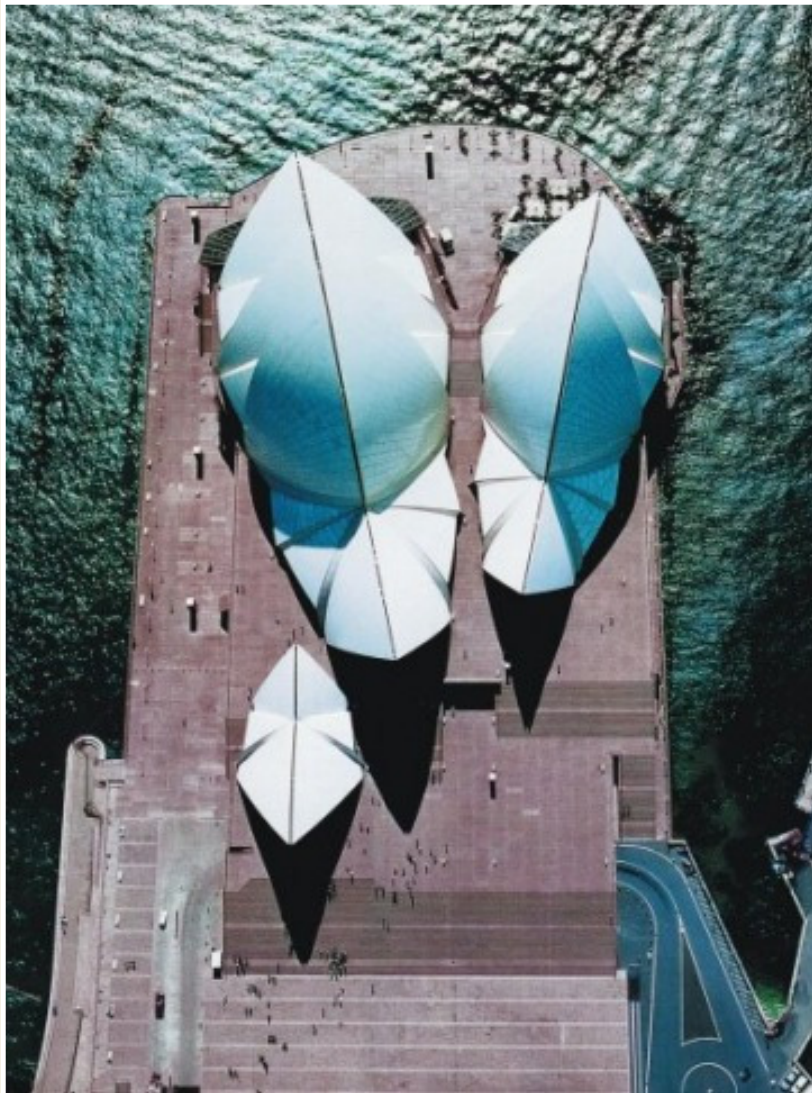
Deska – plošný nosný prvek, zatížený kolmo ke střednicové ploše, nadměrné přetvoření střechy vlivem extrémního zatížení sněhem, foto: Prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Nosná deska



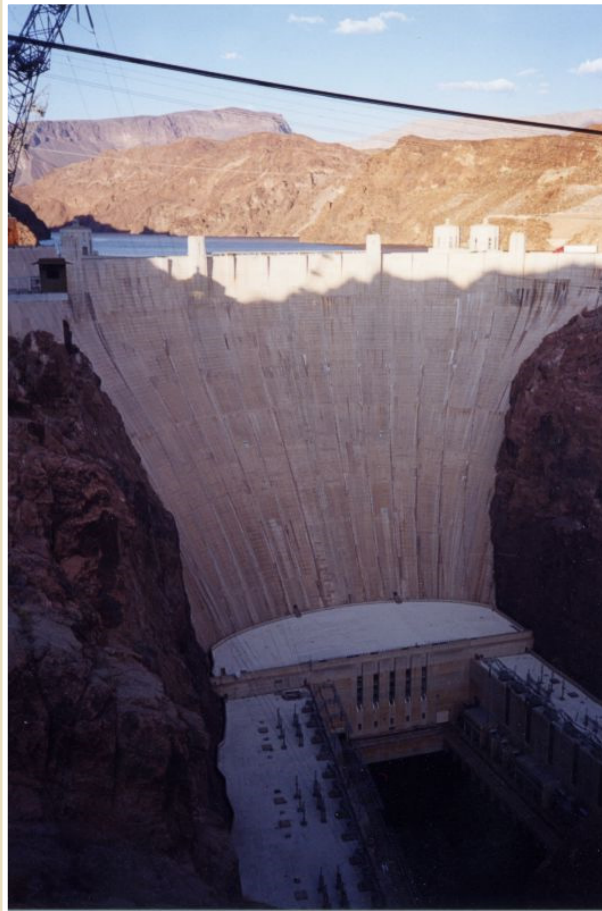
Deska – plošný nosný prvek, zatížený kolmo ke střednicové ploše

Betonová skořepina – opera v Sydney



Autor Jorn Utzon, realizace 1953 - 1977

Masivní betonová konstrukce – Hoover Dam, Nevada

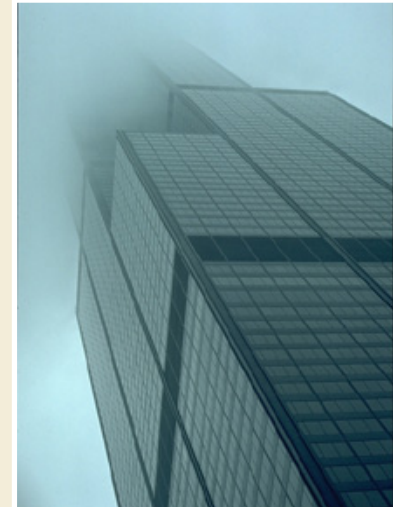


Kombinace klenbové a tížné přehrady z roku 1935, výška 221,3 m, délka oblouku 379,2 m, šířka hráze nahoře 13,7 m a 201,2 m dole, 3,5 mil. m³ betonu

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 staviv
 - b) **stochastické** (pravděpodobnostní přístup) – velikost zatížení není předepsáno jednou hodnotou, nýbrž pravděpodobnostní funkcí



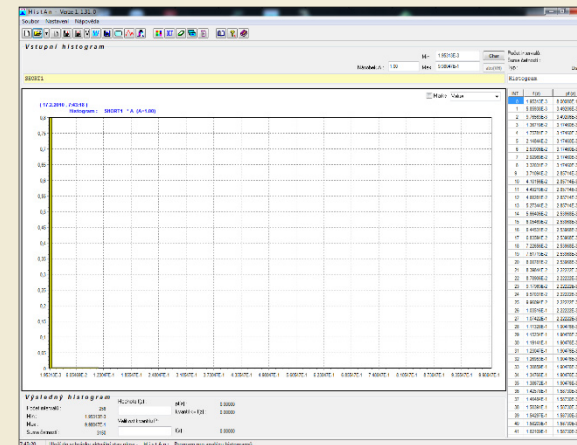
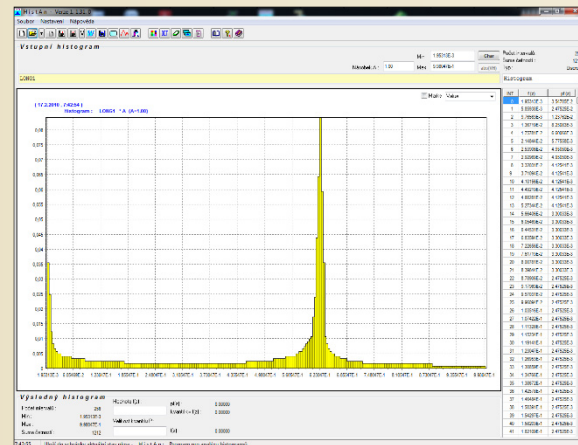
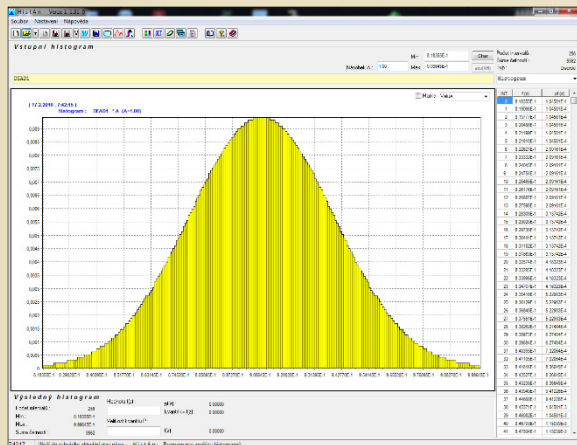
Zatížení nosné konstrukce stochastické

Náhodnost zatížení vyjádřena formou tzv. useknutých histogramů

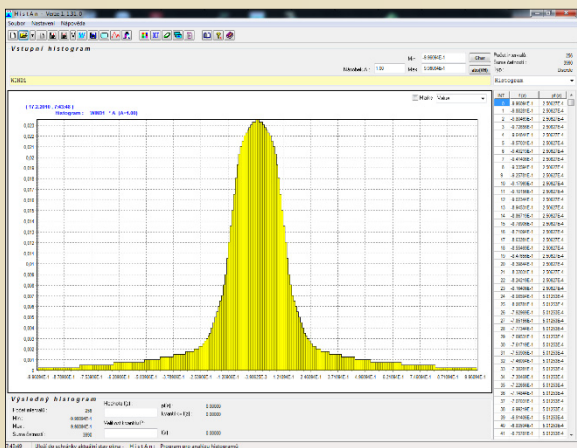
Zatížení dlouhodobé
nahodilé

Zatížení krátkodobé
nahodilé

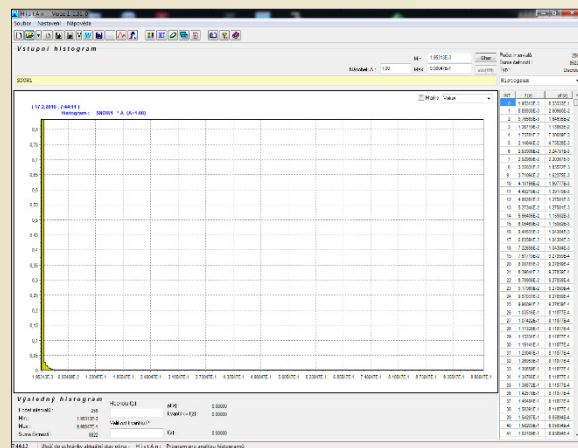
Zatížení stálé



Zatížení větrem



Zatížení sněhem



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

Podle proměnlivosti v čase

ČSN 73 0035

- Stálá zatížení
- Nahodilá zatížení
 - *Dlouhodobá*
 - *Krátkodobá*
 - *Mimořádná*

ČSN EN 1990

- Stálá zatížení
- Proměnná zatížení
- Mimořádná zatížení

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

Zatížení nosné konstrukce

Rozdělení zatížení podle proměnnosti v čase:

Stálá zatížení:

(velikost a rozložení po konstrukci se po dobu životnosti nemění)

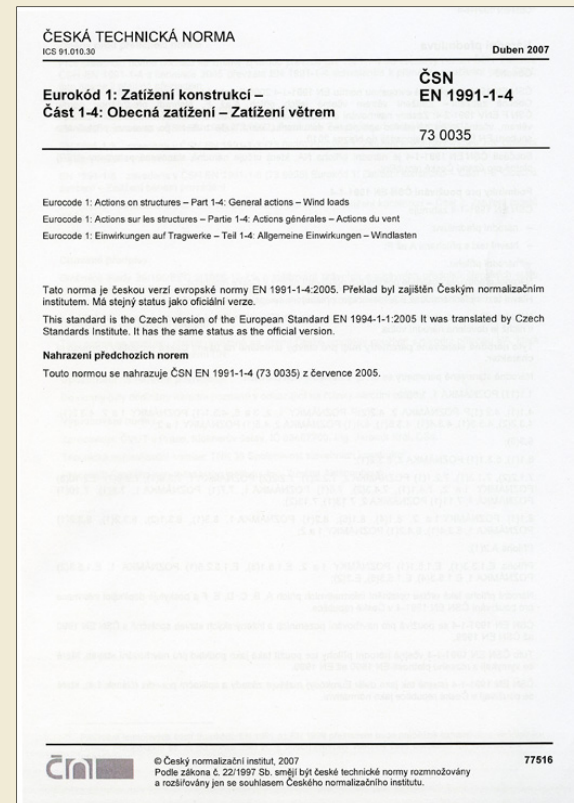
- a) vlastní tíha nosné konstrukce a trvalých částí objektu
- b) trvale působící tlaky hornin, sypkých hmot a kapalin

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

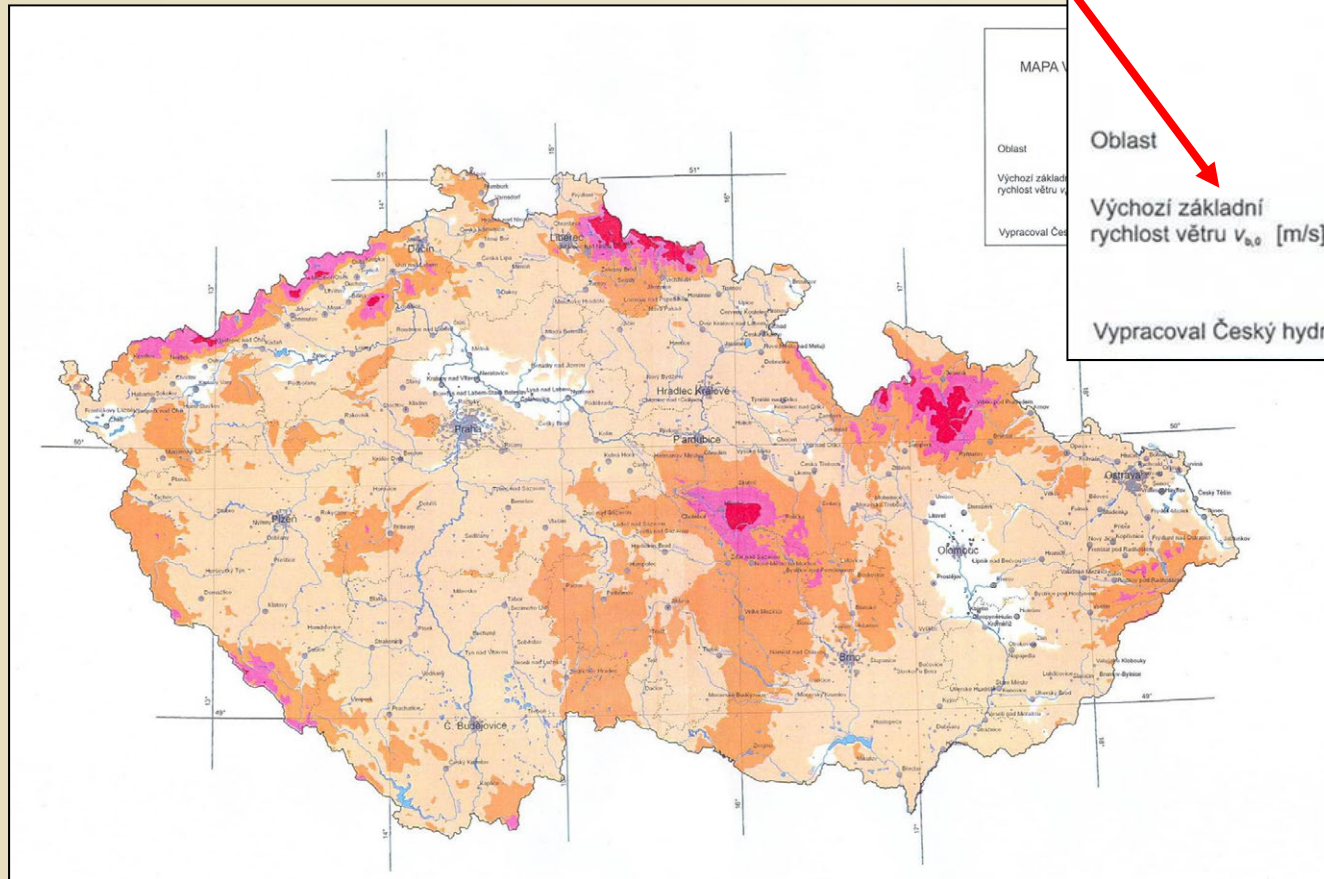


ČSN EN 1991-1-4

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 ^{*)}

*) Charakteristickou hodnotu určí příslušná pobočka Českého hydrometeorologického ústavu

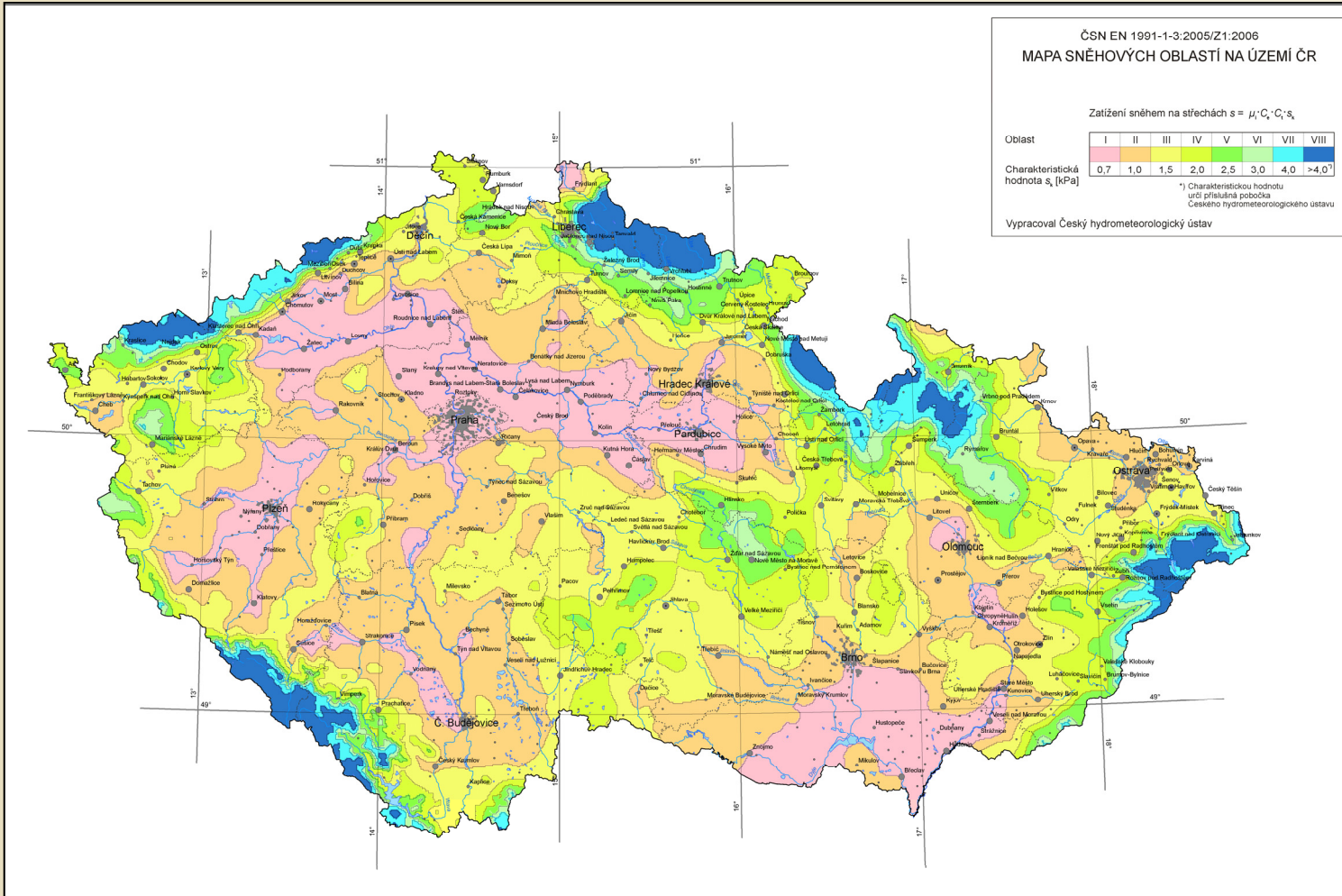
Vypracoval Český hydrometeorologický ústav v roce 2006

- 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

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

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.

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
Vítr	46,67	1,5	70,00
Sníh	26,67	1,5	40,00

Kombinace zatížení

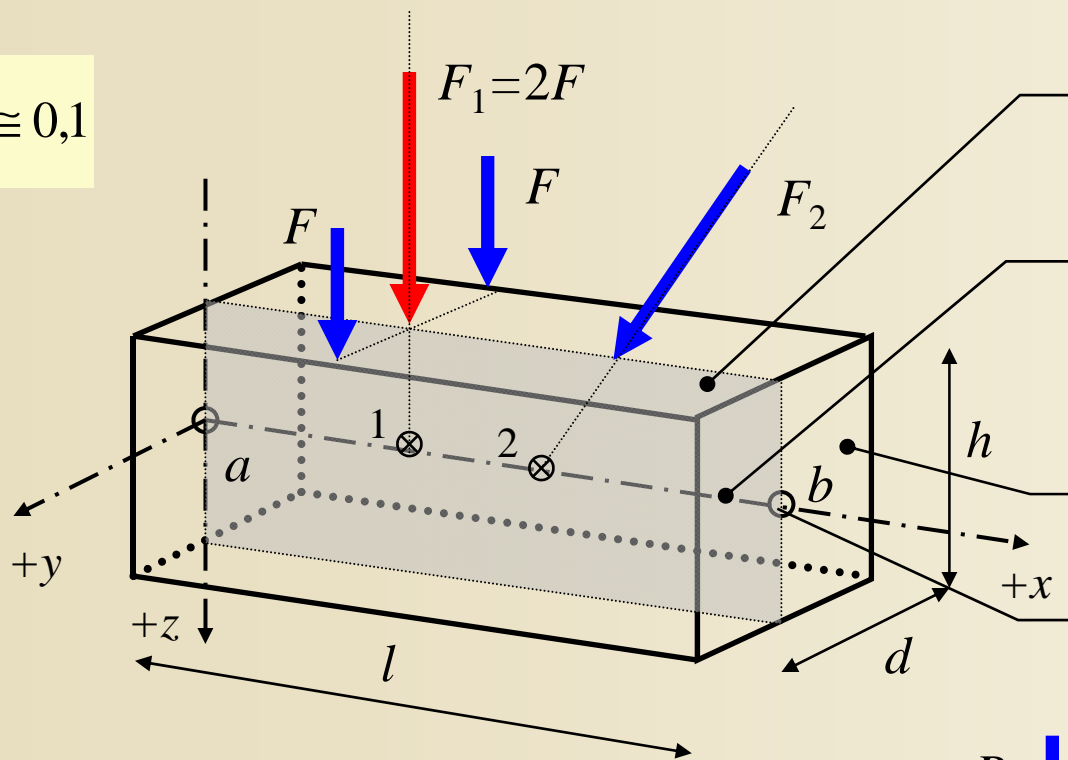
Součinitel kombinace ψ_0	0,7
Výsledná kombinace zatížení F_d [kN]	506,50

Vztah pro určení kombinace zatížení dle ČSN P ENV

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

Geometrický popis prutu, idealizace

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



Základní pojmy:

Rovina souměrnosti prutu

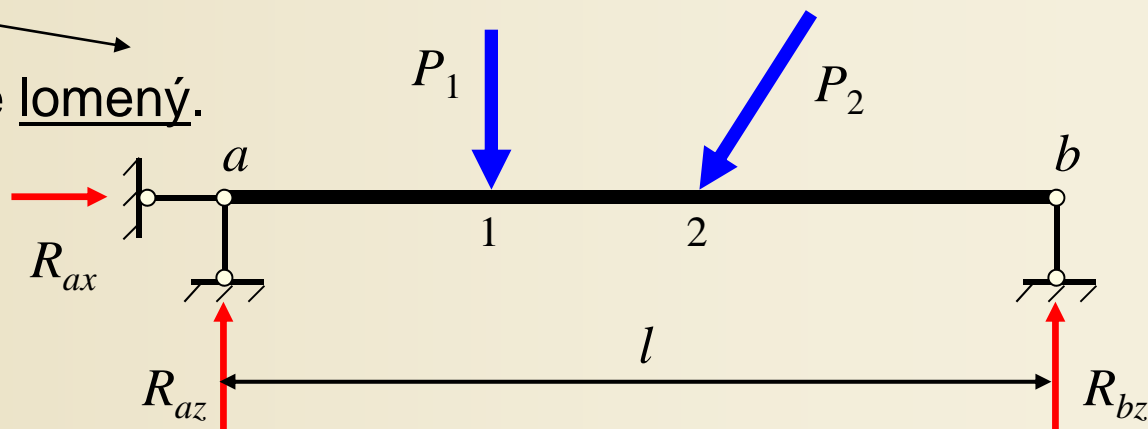
Řídící čára, osa prutu
(přímý prut), střednice
(přímý i zakřivený prut)

Průřez prutu

Těžiště průřezu

Prut rovinně nebo prostorově lomený.

Statické schéma –
statický model nosné
konstrukce

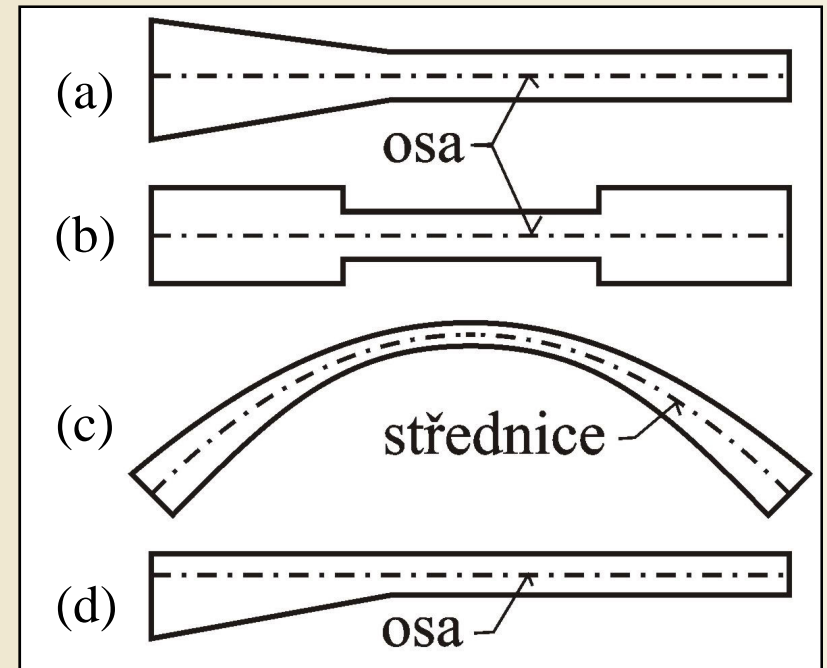


Geometrický popis prutu

Prut stálého (konstantního) nebo proměnného průřezu.

Změna rozměrů plovlná (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

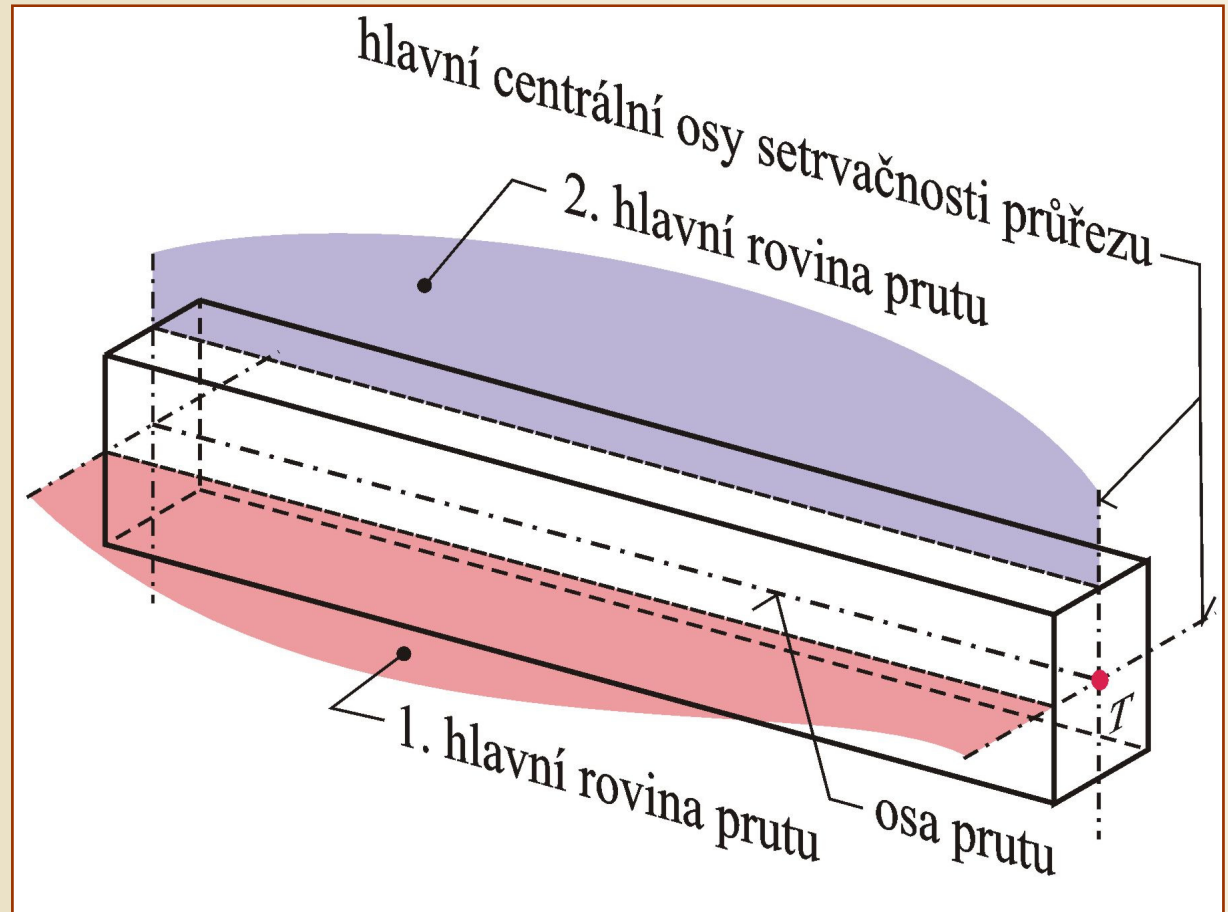
Obr. 6.1. / str. 75

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

Pohybové možnosti nepodepřeného prutu

Kinematika – studium pohybových možností volných dokonale tuhých těles.

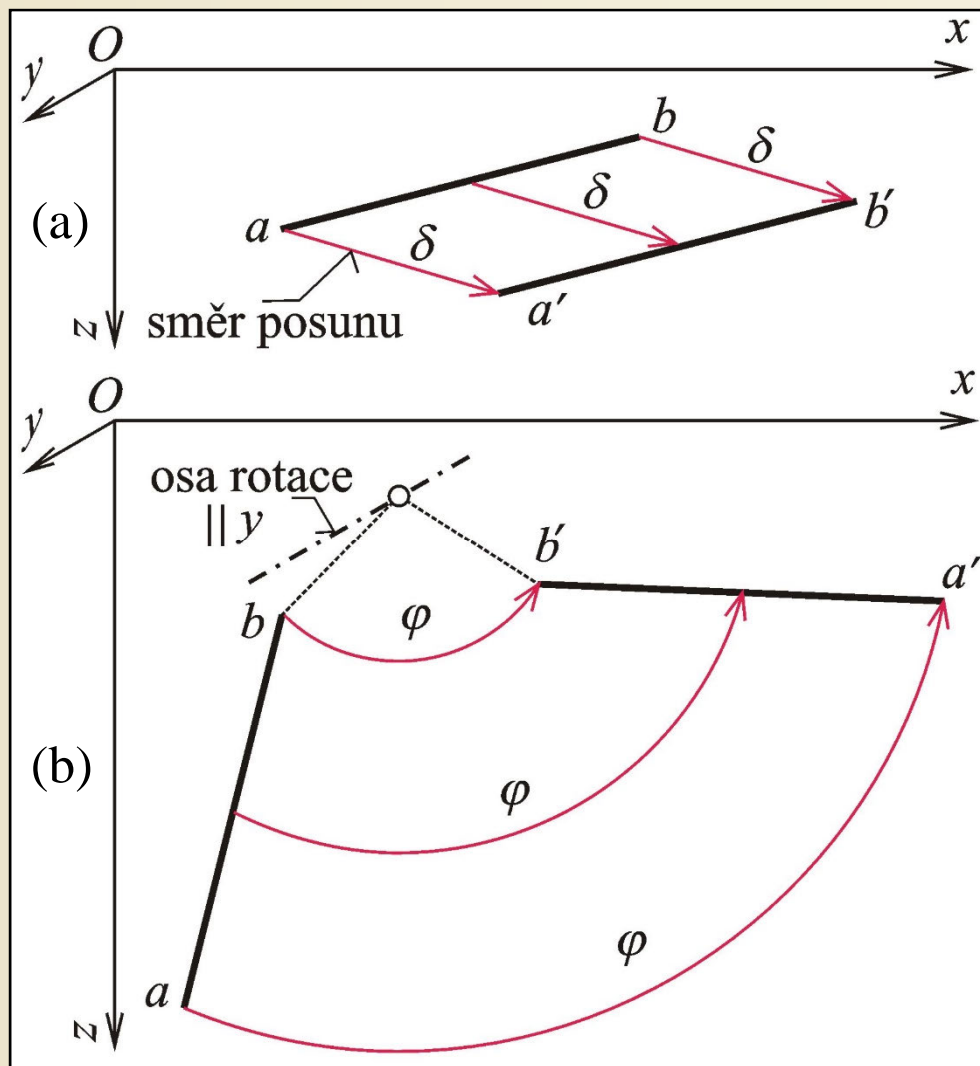
Typy přemístění:

a) **posun (translace)** δ

b) **pootočení (rotace)** φ

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

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



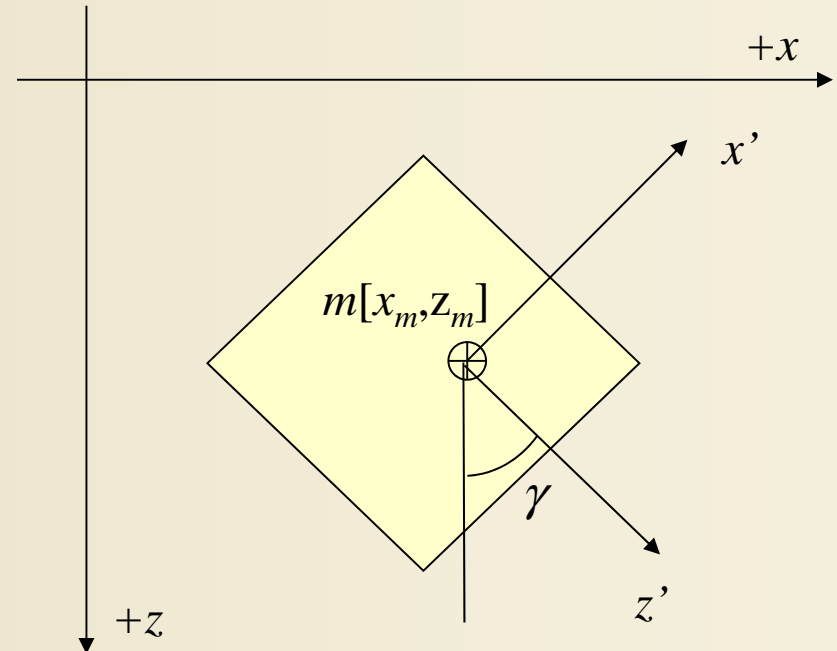
Posun a pootočení tuhého prutu

Obr. 6.3. / str. 76

Pohybové možnosti volných hmotných objektů

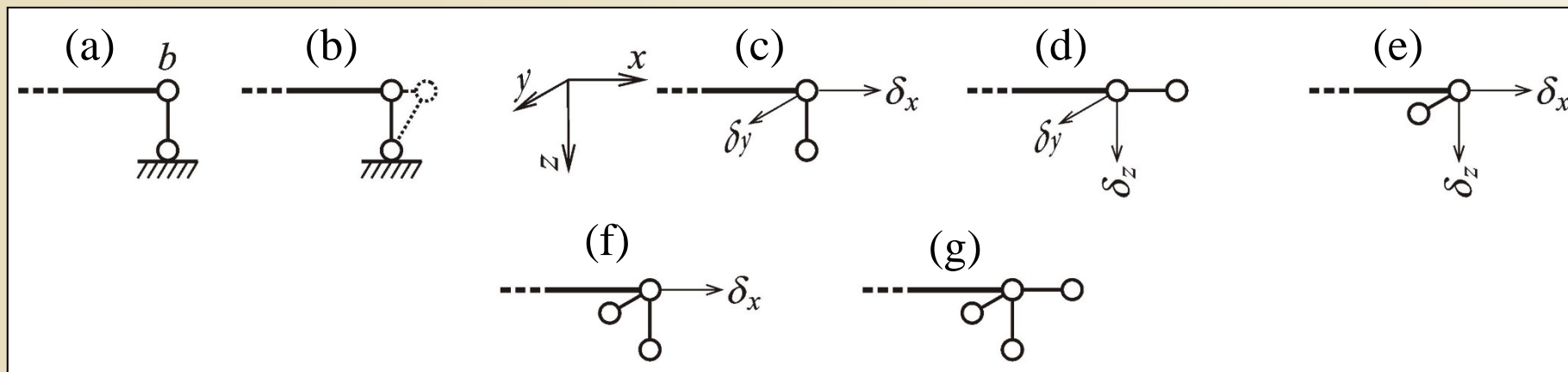
Stupeň volnosti n_v : možnost vykonat jednu pravoúhlou složku posunu nebo pootočení.

- 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 $[x, y, \gamma]$, ∞^3 různých poloh
- tuhé těleso v prostoru: $n_v=6$, určeno $[x, y, z, \alpha, \beta, \gamma]$, ∞^6 různých poloh



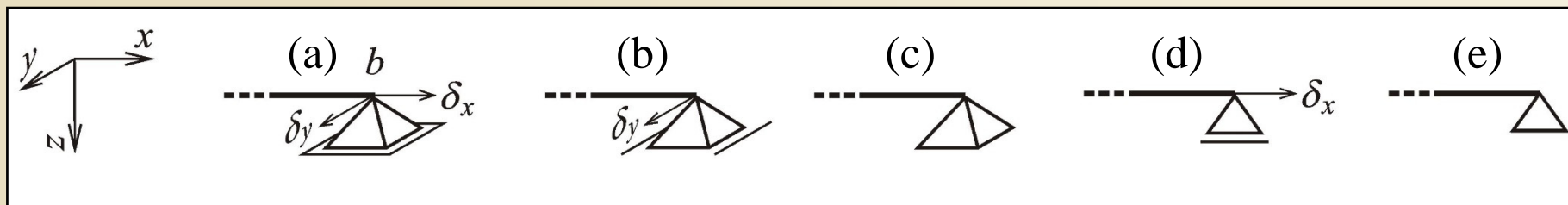
Vnější vazby proti posunům

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

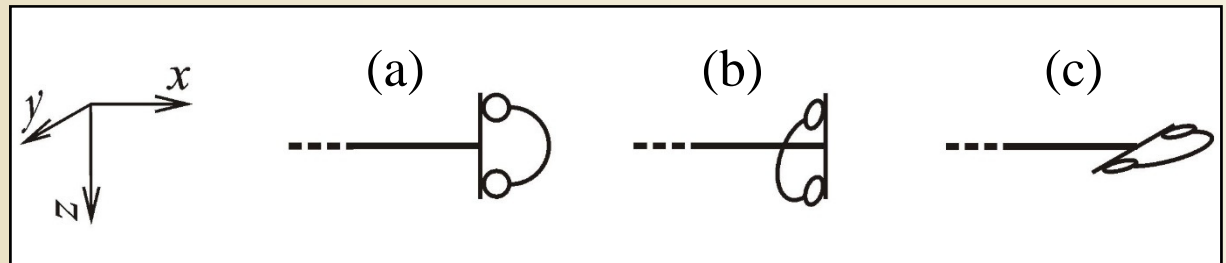


Vazby proti posunům znázorněné pomocí jehlanů a trojúhelníků

Obr. 6.5. / str. 78

Vnější vazby proti pootočení

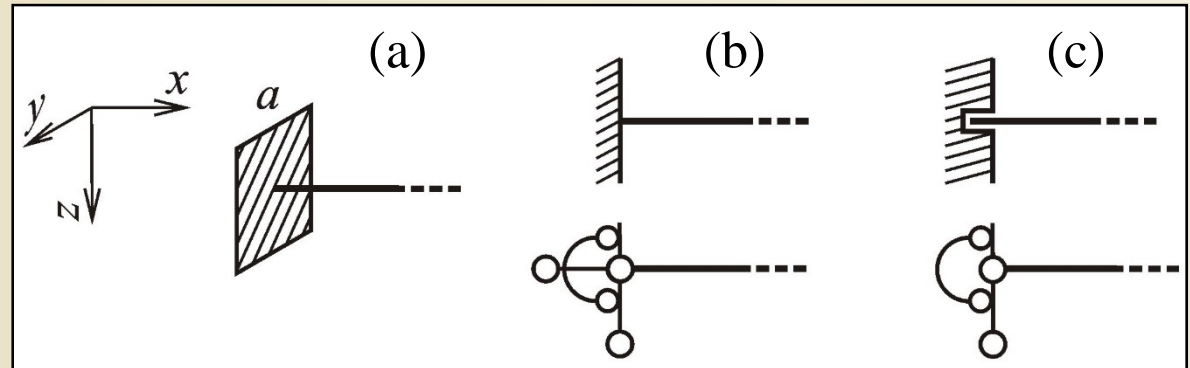
Vazba proti pootočení – znemožňuje pootočení podepřeného bodu prutu v zadané rovině.



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

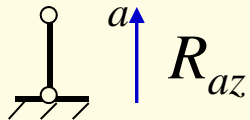
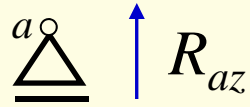
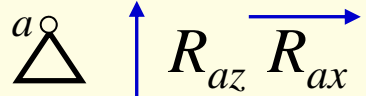
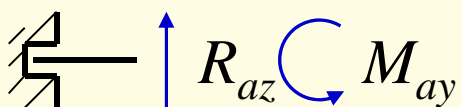
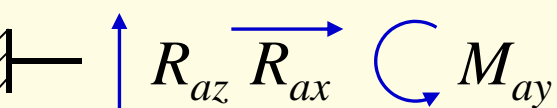
Obr. 6.7. / str. 78

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	
Posuvný kloub, posuvná vazba	1	
Neposuvný pevný kloub, pevná vazba	2	
Posuvné vetknutí	2	
Dokonalé vetknutí	3	

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Provizorní podepření stropu stojkami

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



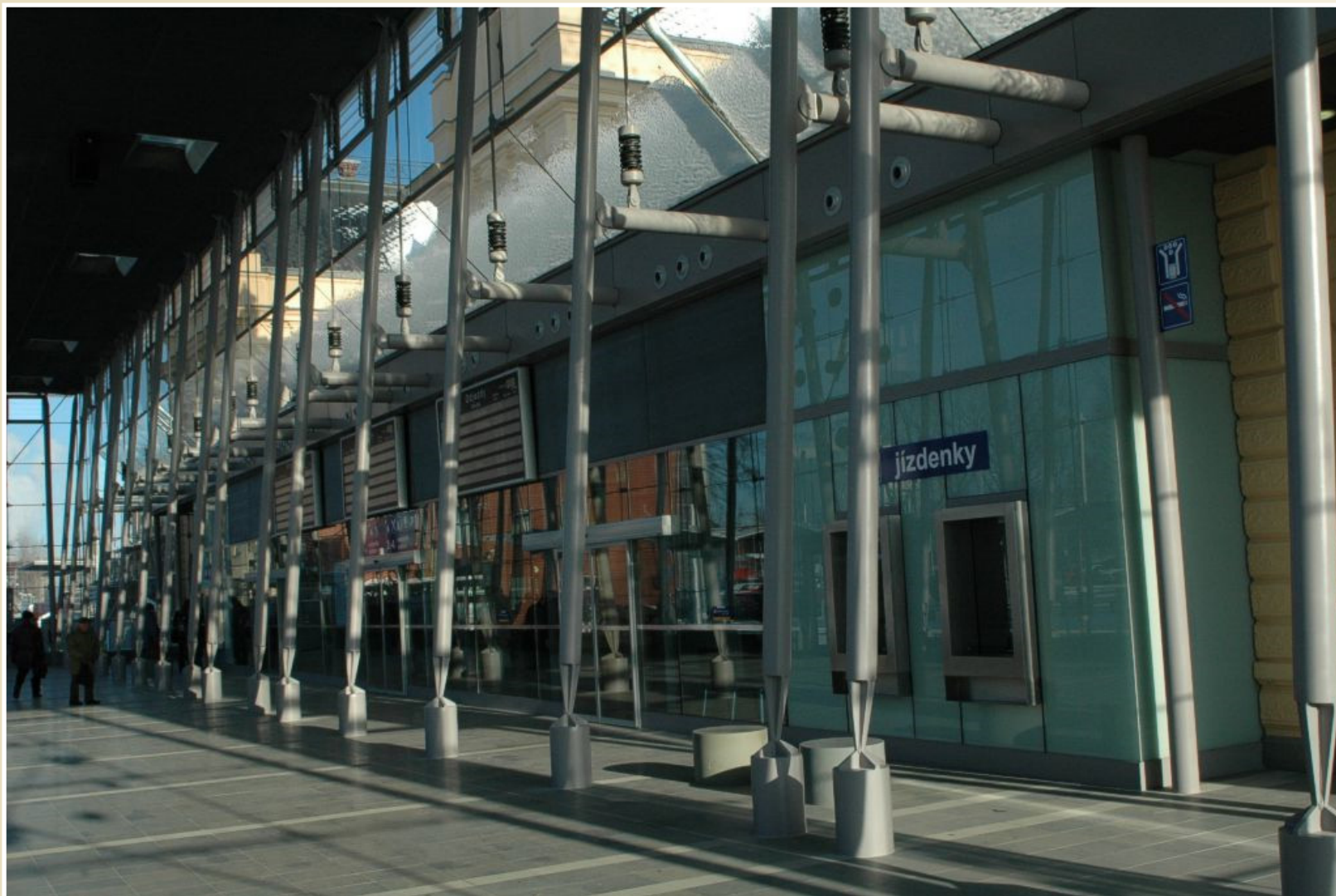
Podpření střešní konstrukce sloupy, Tesco, Ostrava - Třebovice

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Podpěření střešní konstrukce sloupy, Tesco, Ostrava - Třebovice

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Konstrukce vstupní haly, nádraží Ostrava - Svinov

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření sloupu, nádraží Ostrava - Svinov

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Nosný systém dřevěné konstrukce, Aquapark, Bohumín

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření dřevěné konstrukce, Aquapark, Bohumín

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Podpěření konstrukce nástupní haly, Hlavní nádraží, Praha

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření sloupu nástupní haly,
Hlavní nádraží, Praha

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Detail podepření,
Petřínská rozhledna, Praha

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Havířov, železniční most přes silnici Rudná

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Havířov, železniční most přes silnici Rudná

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Havířov, železniční most přes silnici Rudná

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



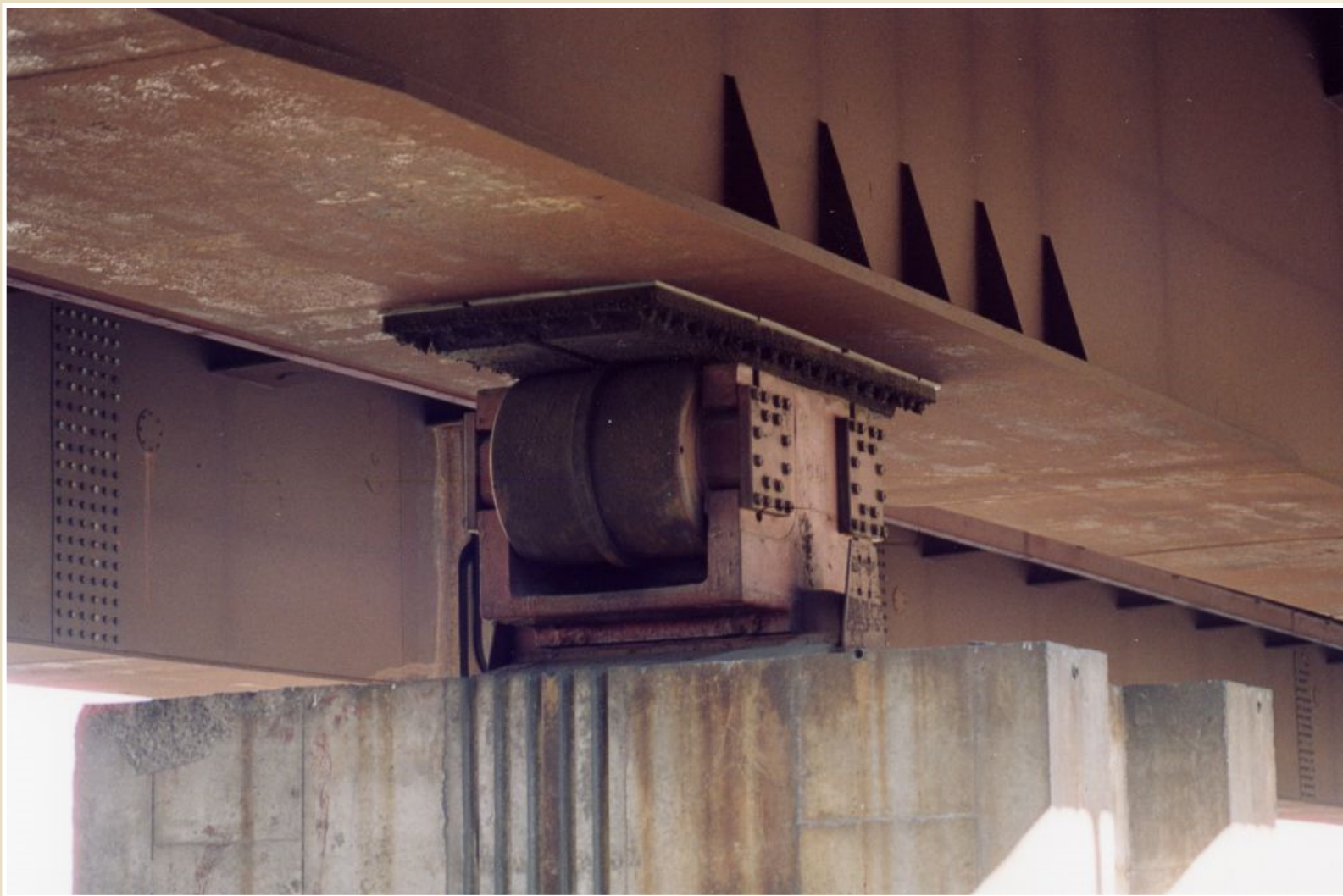
Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Betonový skelet a ocelová kopule pavilonu C, Brněnské výstaviště

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



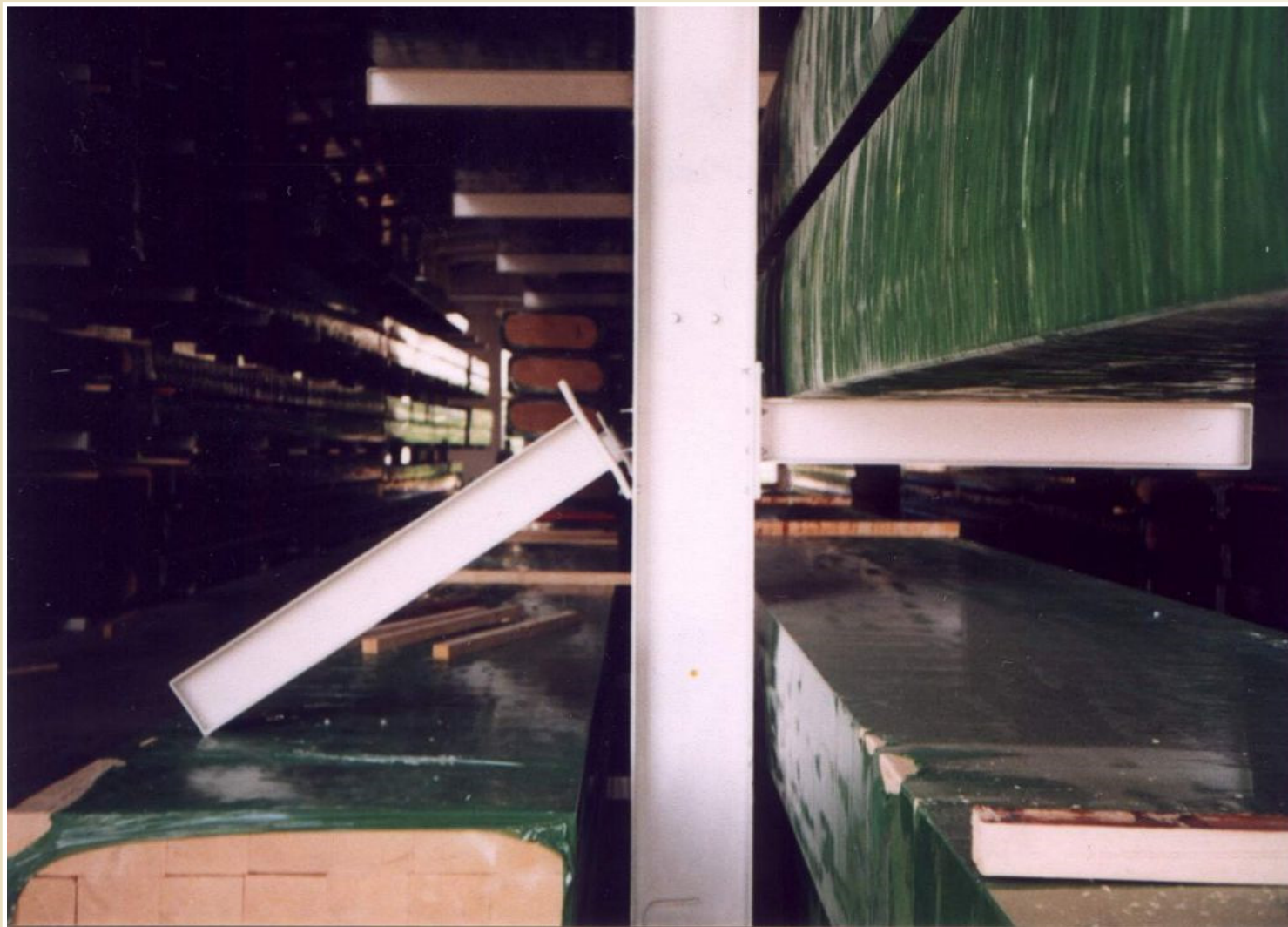
Konzolový nosník konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



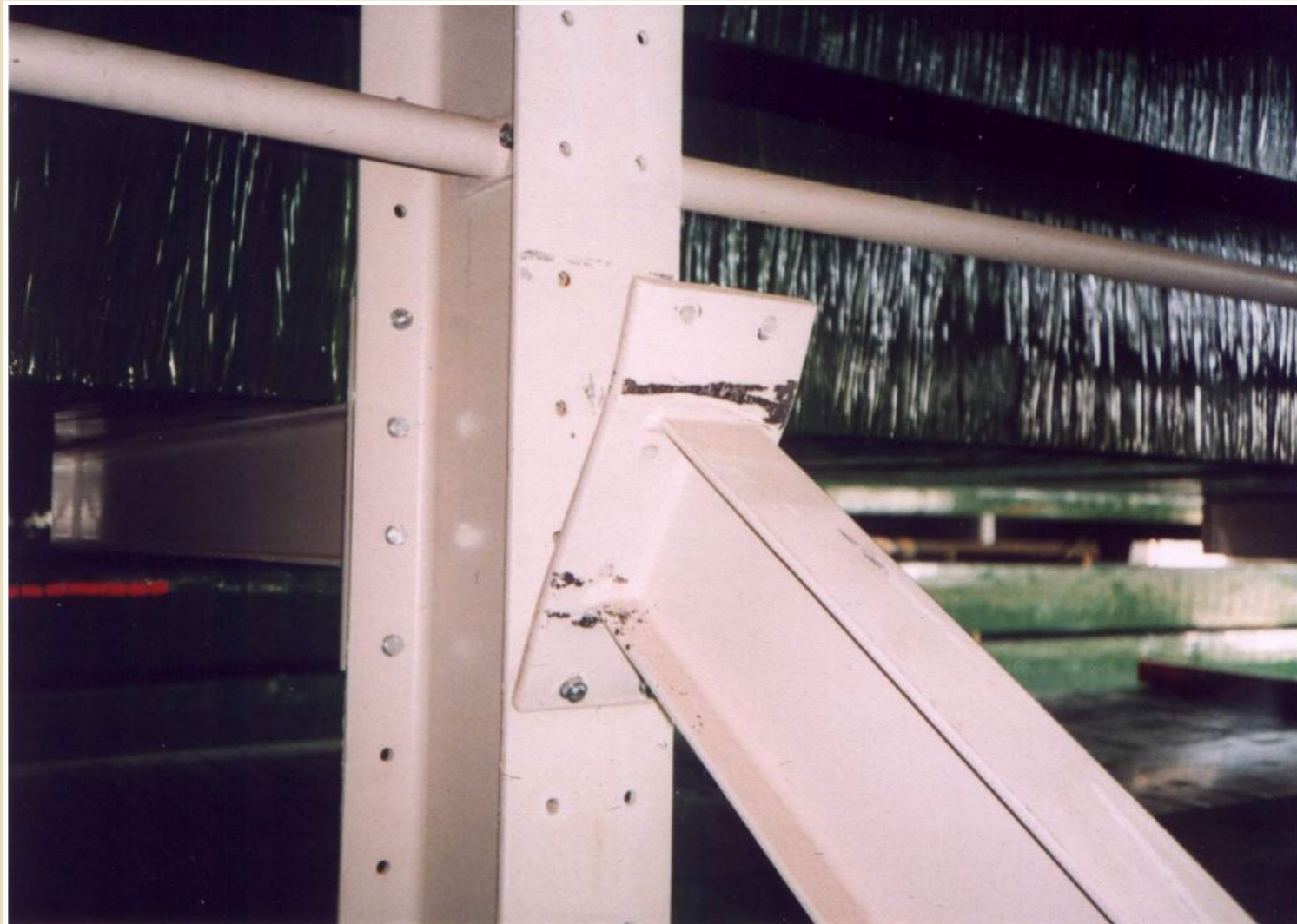
Konzolový nosník, výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Sloup s podepřením vetknutím

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



Sloup s podepřením vetknutím

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

Ukázky vnějších vazeb konstrukcí



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

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 nepřipustná (nedostatečný počet vazeb).
- $v > n_v$ Podepření objektu je **kinematicky přeuročité**, nehybnost objektu zajištěna, použitelná jako stavební konstrukce (větší počet vazeb než je nezbytně nutné).

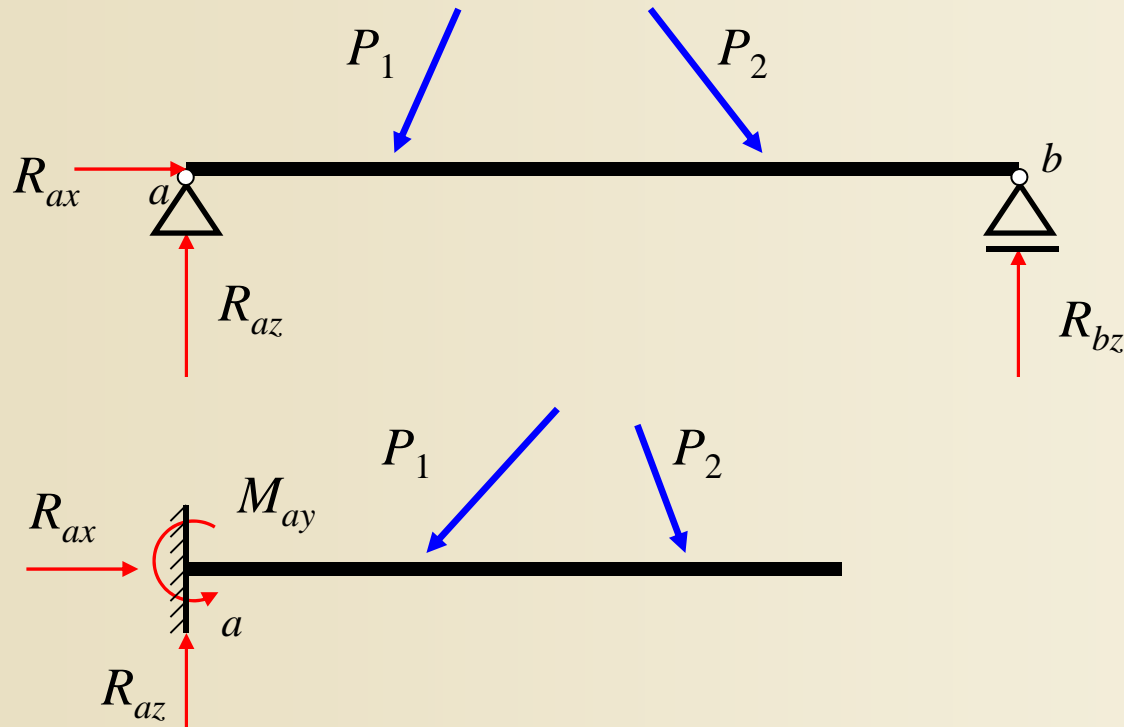
Vazby musí být vhodně uspořádány, aby skutečně zajišťovaly nehybnost objektu – nesmí se jednat o tzv. **výjimečný případ** kinematicky určité nebo přeuročité konstrukce.

Kinematicky určitá konstrukce

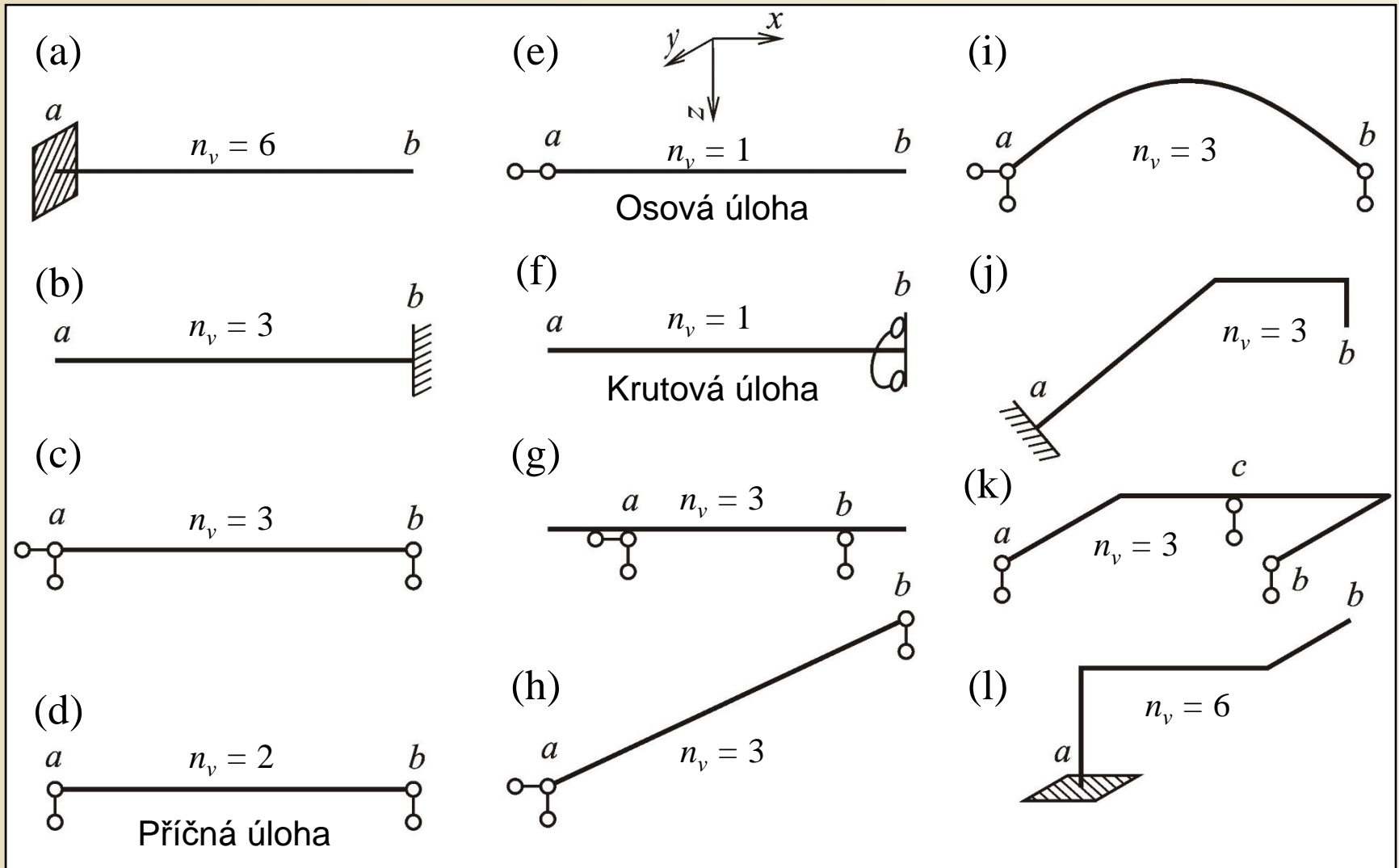
$$\nu = n_\nu$$

Podpření objektu je **kinematicky určité**

$$\nu = 3, n_\nu = 3$$



Kinematicky určité případy podepření prutů

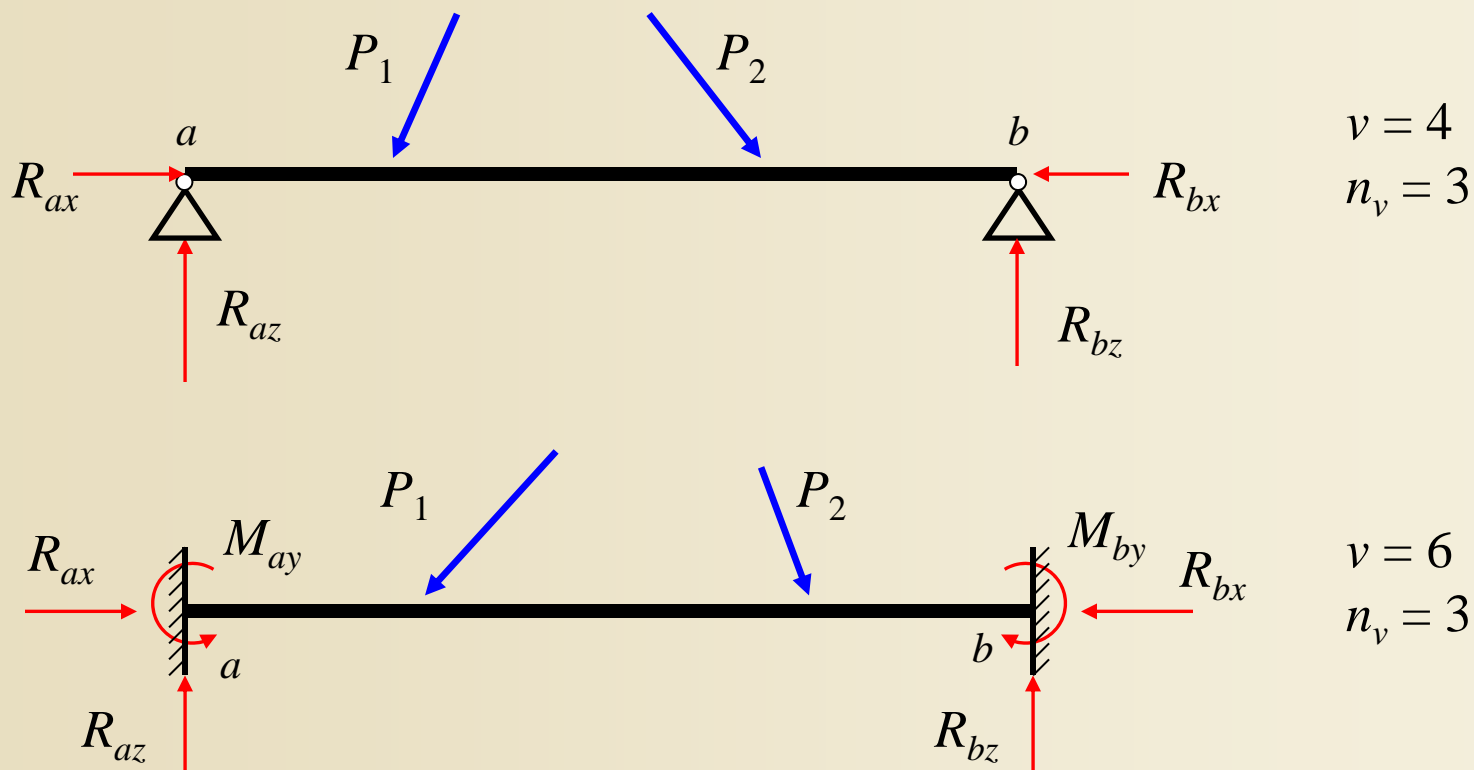


Kinematicky určité případy podepření prutů

Kinematicky přeurlčitá konstrukce

$$v > n_v$$

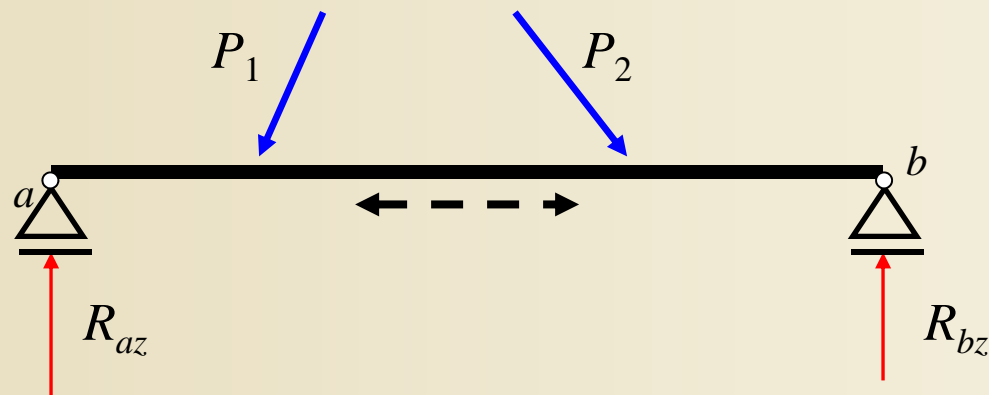
Podepření objektu je kinematicky přeurlčité



Kinematicky neurčitá konstrukce

$$v < n_v$$

Podpření objektu je **kinematicky neurčité**

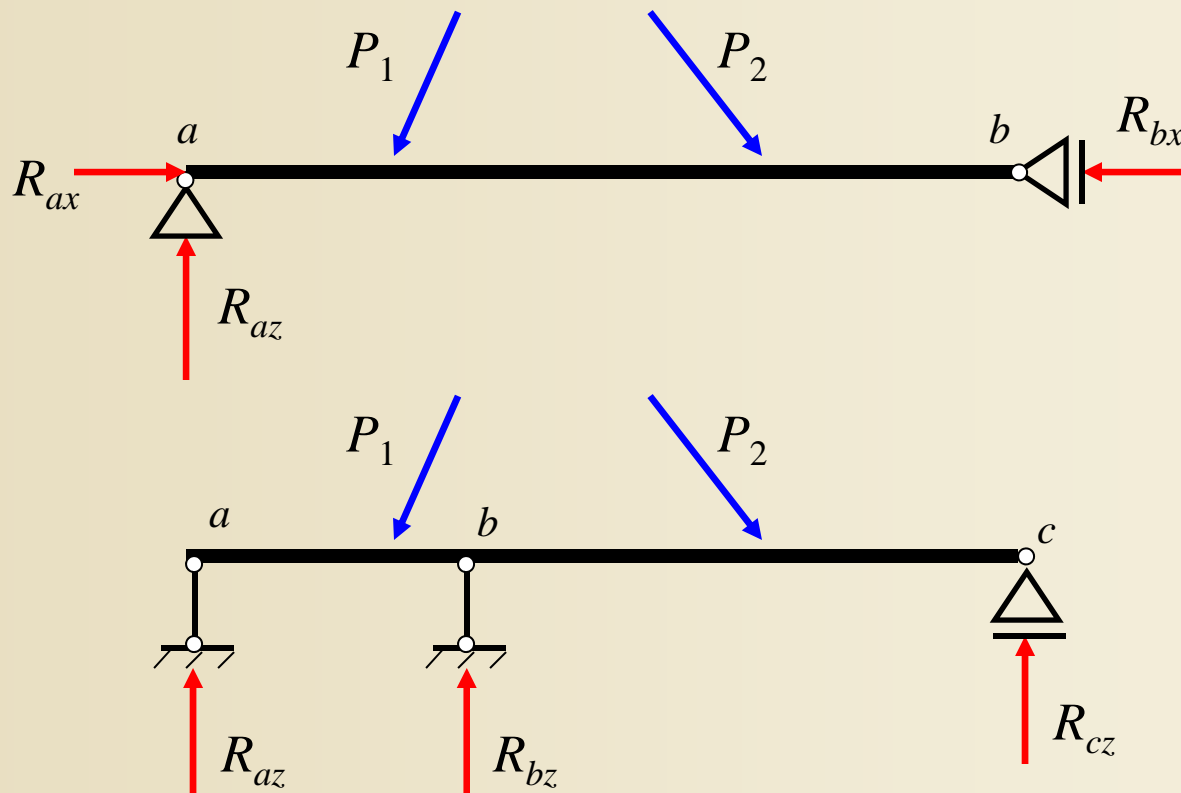


Objekt v rovnováze **jen za určitého zatížení**

Ve stavební praxi **nepoužitelné**.

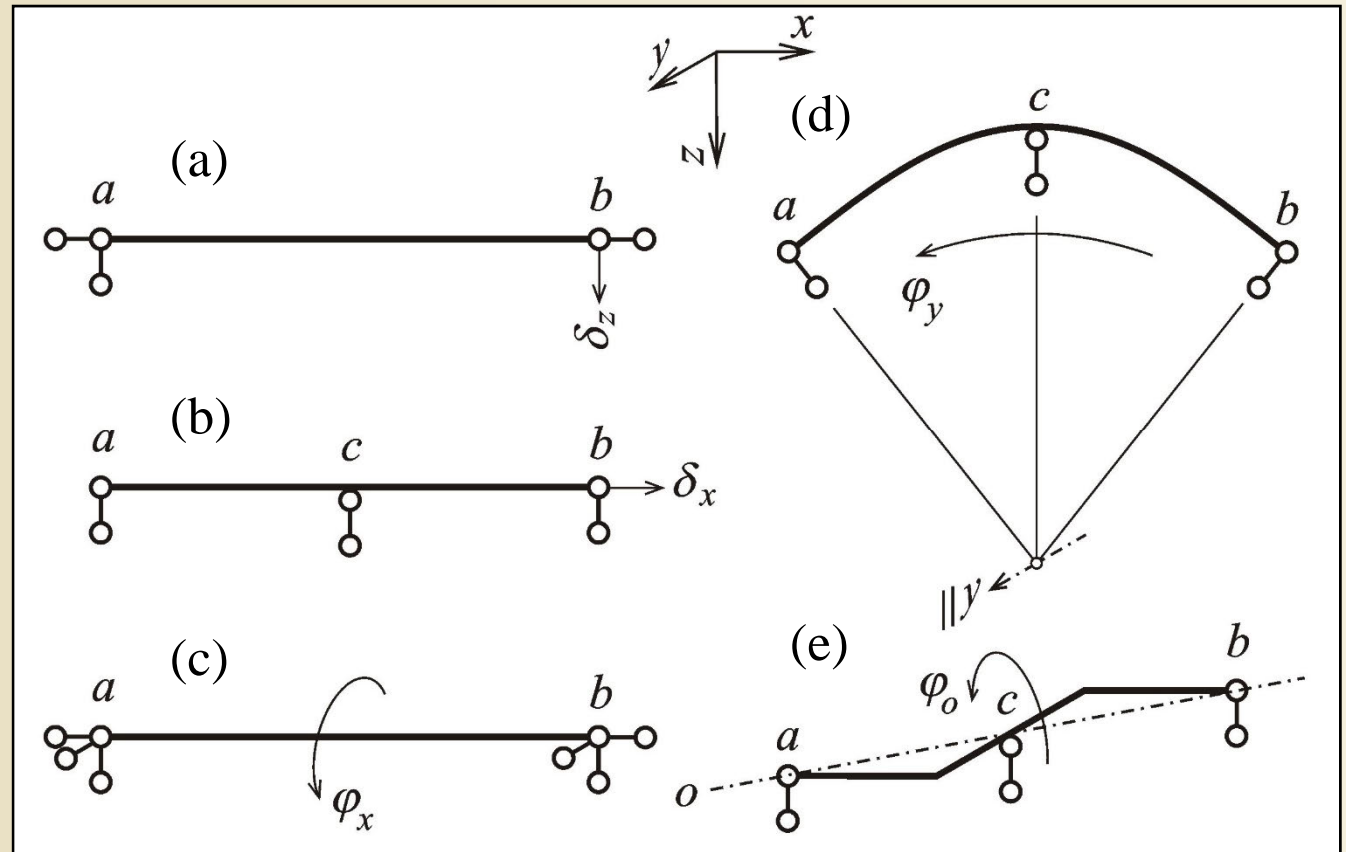
Výjimkové případy podepření

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



Kinematicky určité případy podepření prutů

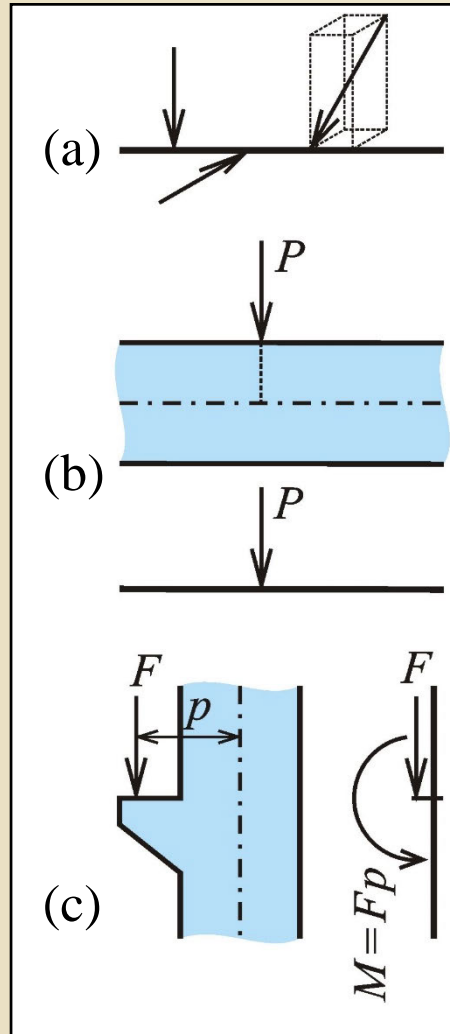
- (c) prut není zajištěn proti rotaci – 1 vazba proti vodorovnému posunu nadbytečná
- (d) tři vazby proti posunutí, jejichž směry se protínají v jednom bodě
- (e) tři vazby proti svislému posunutí v bodech, ležících v jedné přímce



Výjimečné případy kinematicky určitého podepření prutů

Idealizované silové zatížení prutů

Bodová síla
v [kN], [N]

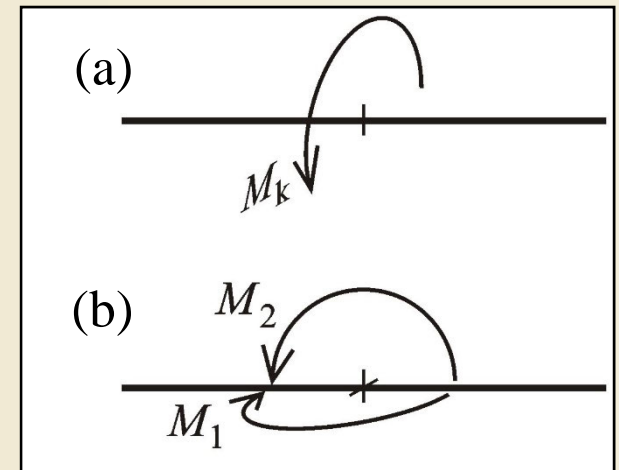


Bodová zatížení
Obr. 6.10. / str. 81

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

Idealizované silové zatížení prutů



Bodové silové zatížení konzoly

Idealizované silové zatížení prutů



Bodové silové zatížení konzoly

Idealizované silové zatížení prutů



Bodové silové zatížení konzoly

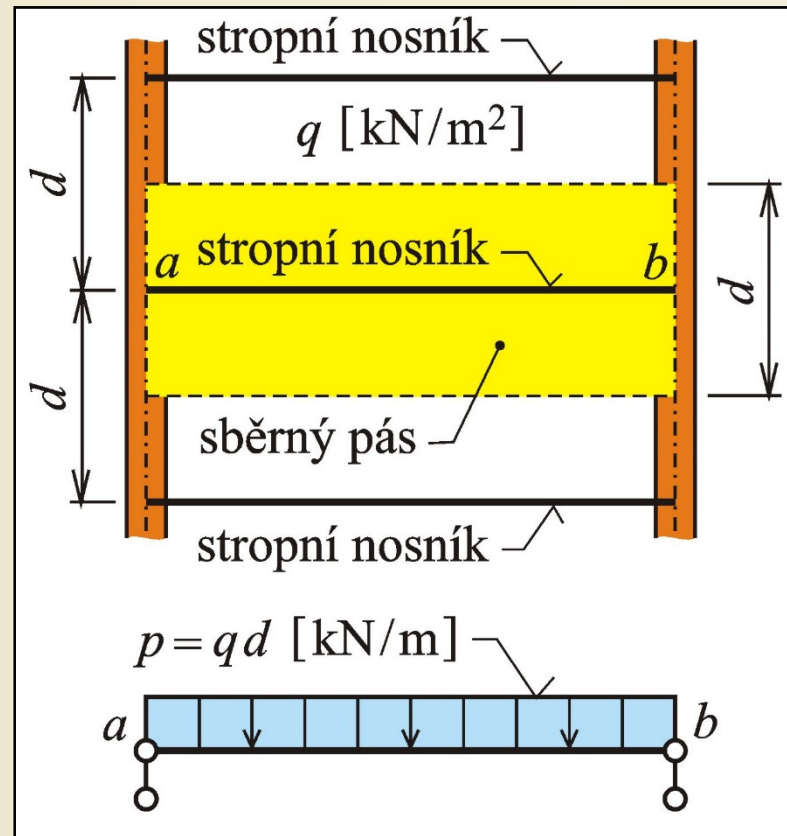
Liniová zatížení

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

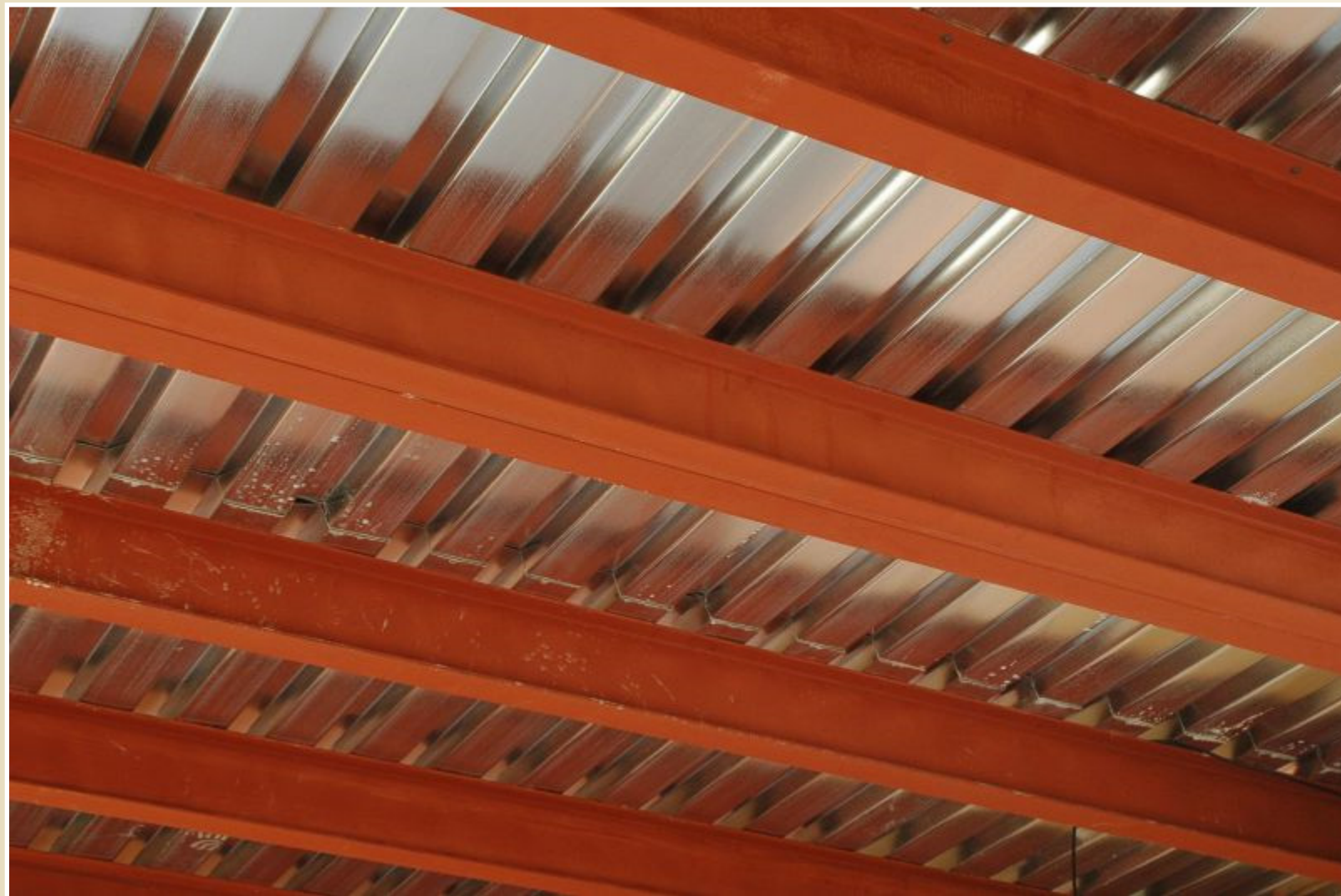
Obr. 6.12. / str. 82

Příklad stropní konstrukce



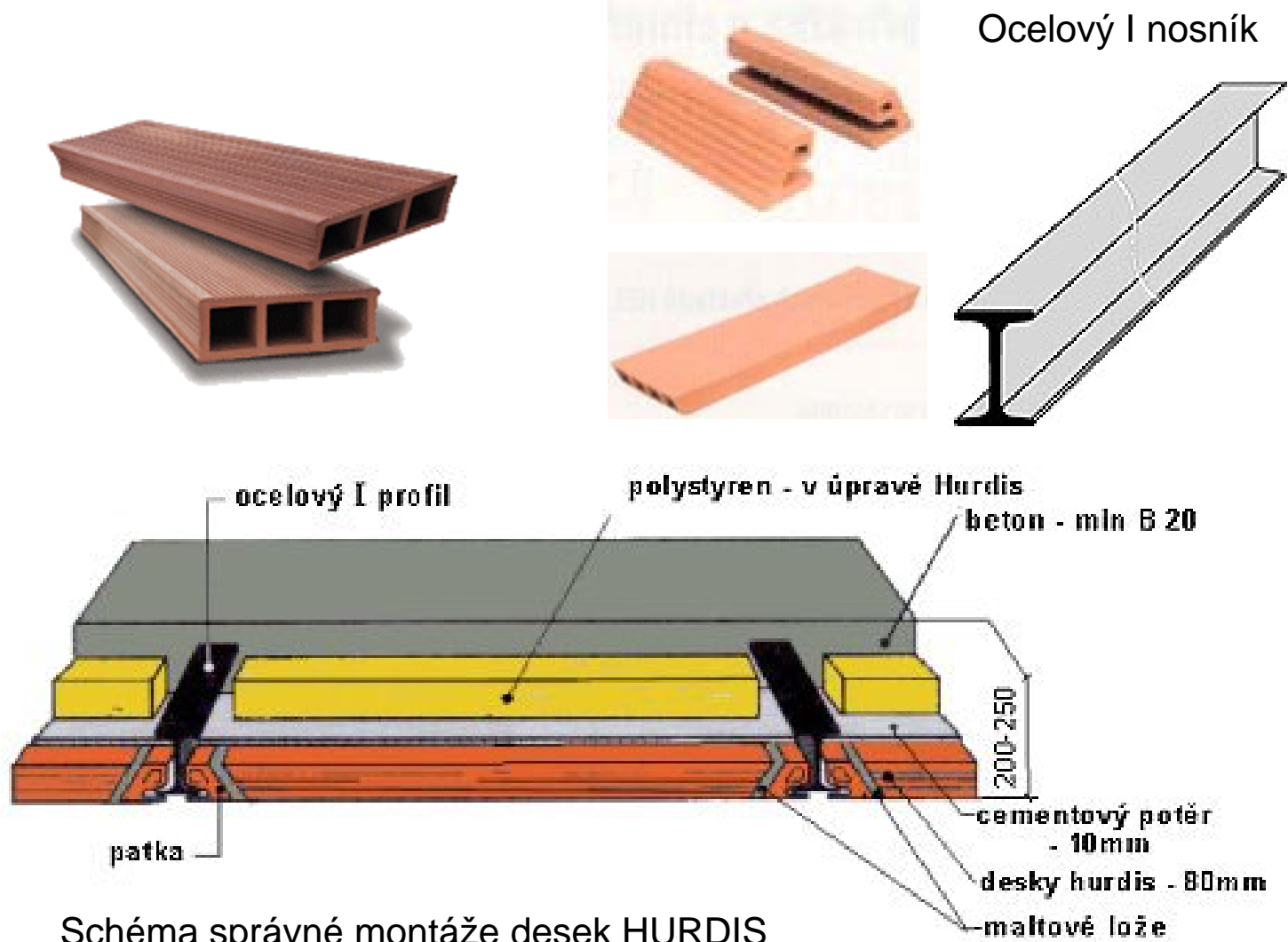
Stropní konstrukce výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava

Příklad stropní konstrukce

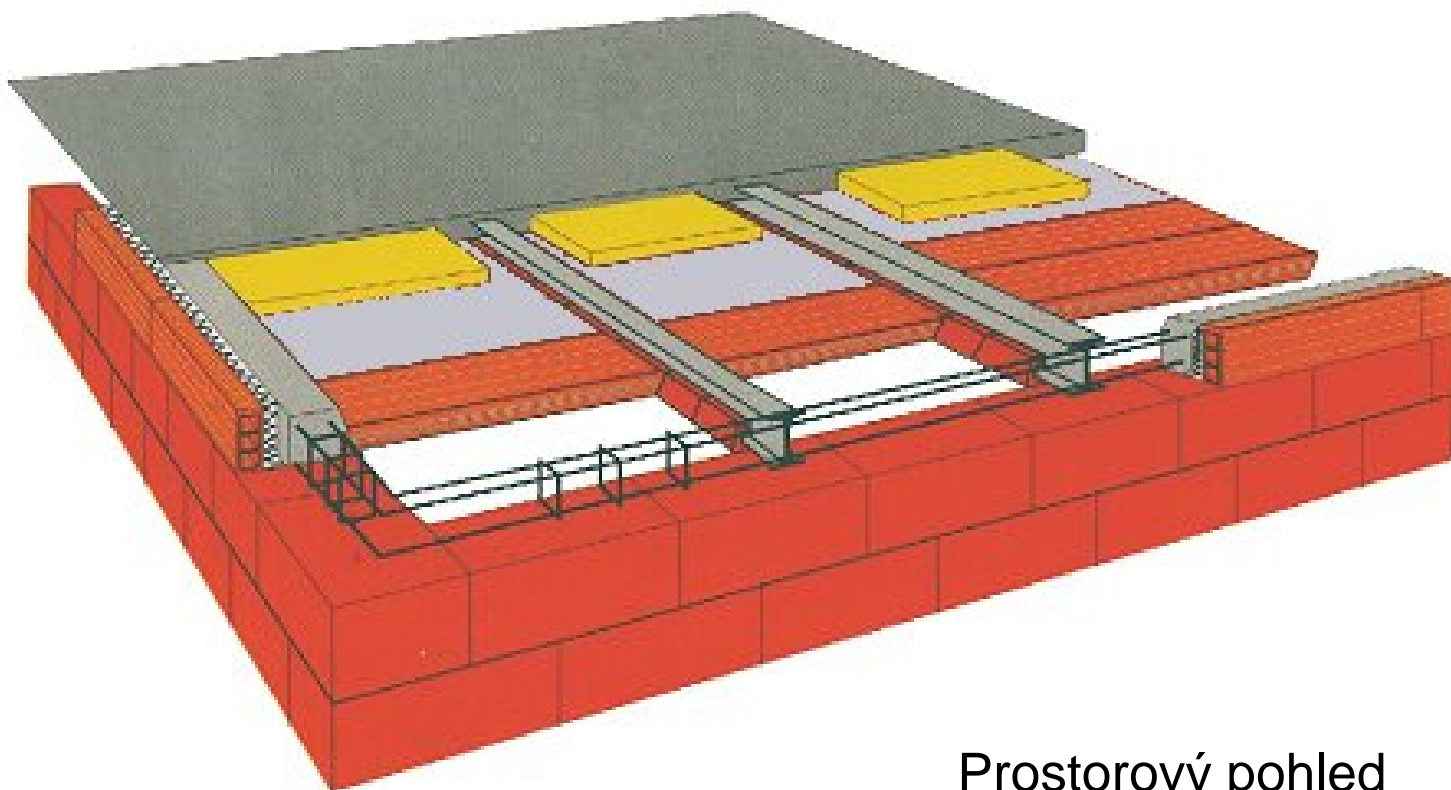


Stropní konstrukce výzkumného energetického centra VŠB-TU Ostrava

Stropní systém HURDIS



Stropní systém HURDIS

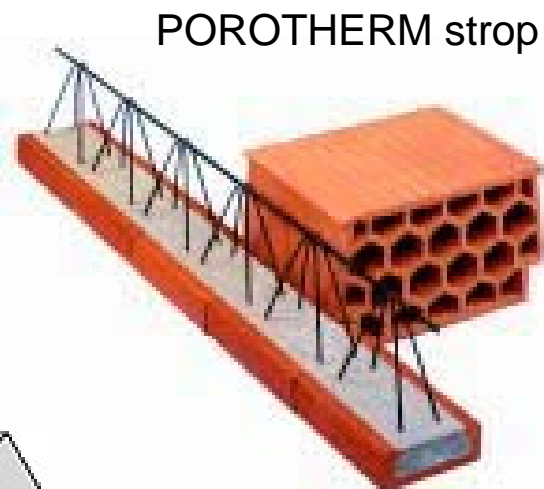


Prostorový pohled

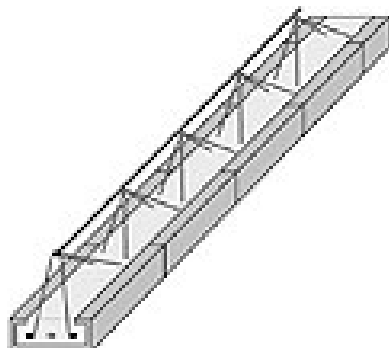
Stropní systémy s jednoduchými nosníky



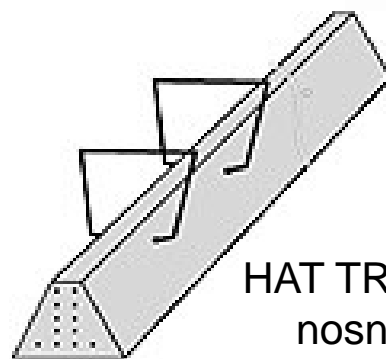
stropní nosníky JISTROP



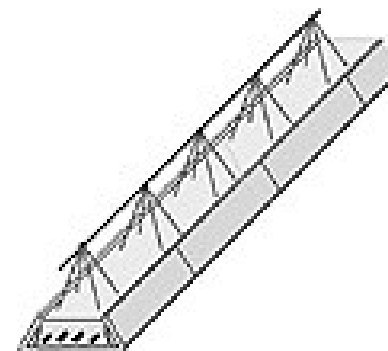
POROTHERM strop



KT-CH nosník



HAT TRICK
nosník



HF nosník

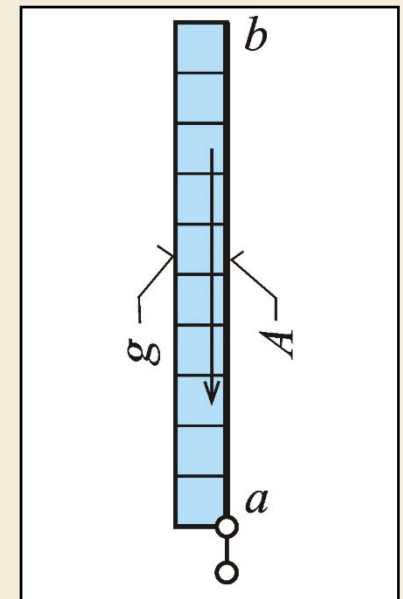
Liniová zatížení

Silové liniové zatížení - osově

v [kN/m], [N/m]

Příklad:

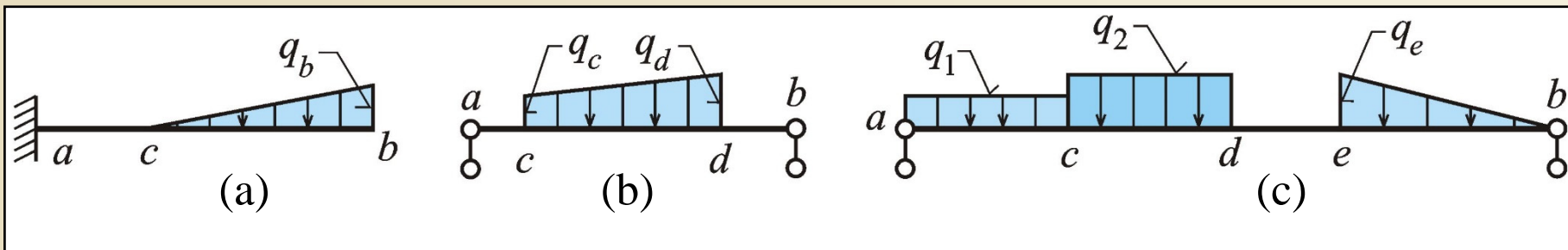
- vlastní tíha sloupu velikosti $\gamma \cdot A$ [kN/m³ · m²]



Vlastní tíha sloupu

Obr. 6.13. / str. 82

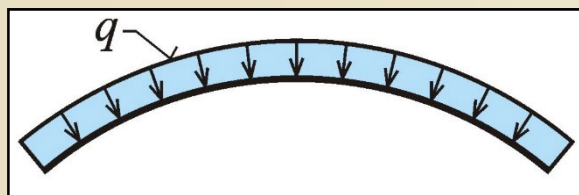
Liniová zatížení



Částečná zatížení rovnoměrná a lineárně proměnná

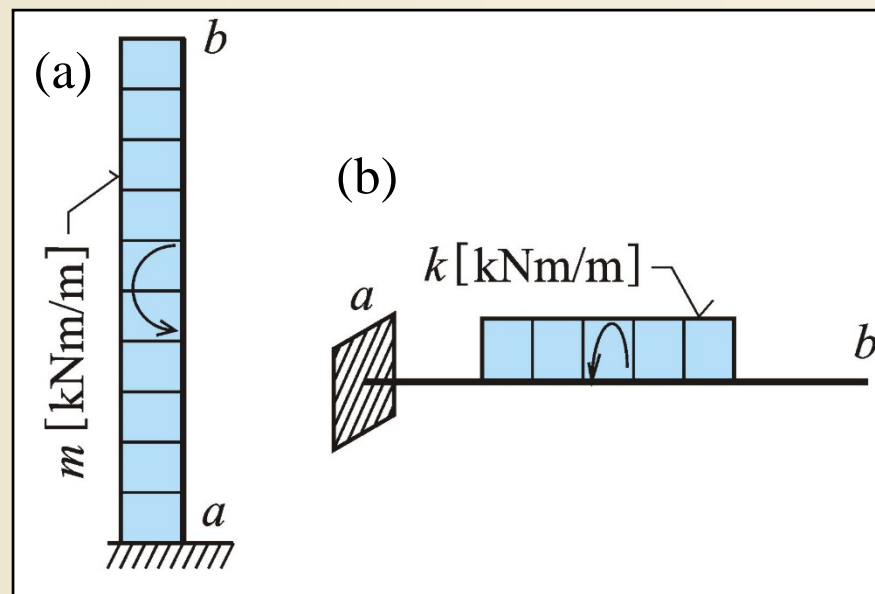
Obr. 6.14. / str. 82

- Rovnoměrné, trojúhelníkové, lichoběžníkové
- Plné, částečné



Zakřivený prut zatížený kolmo ke střednici

Obr. 6.15. / str. 82



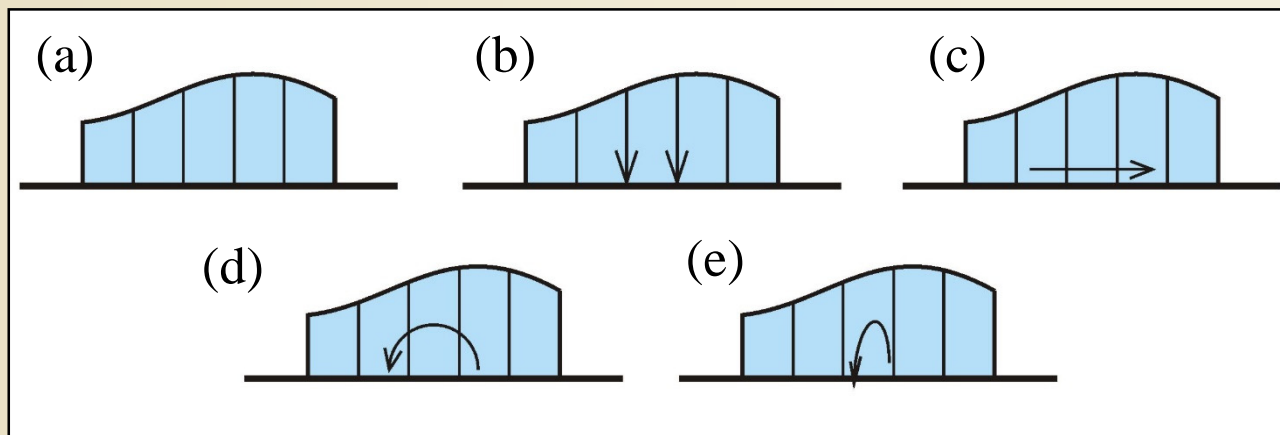
Spojité momentová zatížení

Obr. 6.16. / str. 82

Smluvené symboly

Grafické symboly vyjadřující:

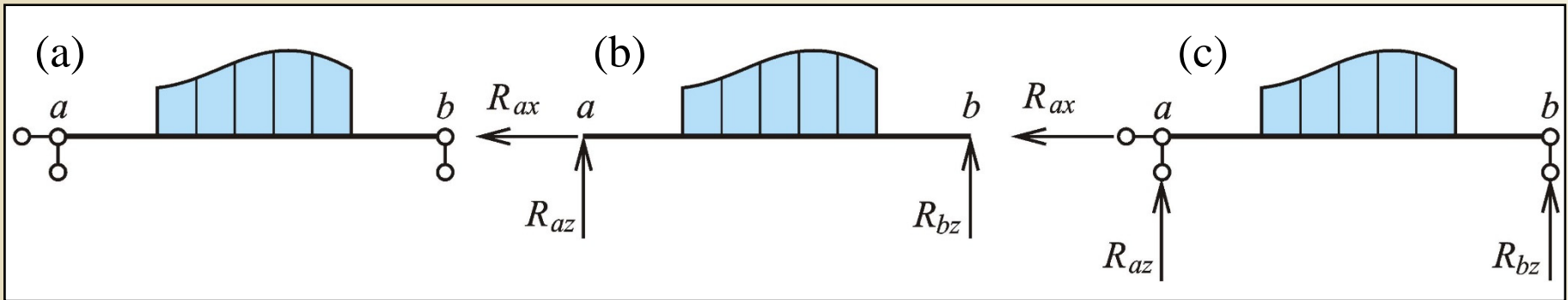
- a) libovolné zatížení prutu
- b) blíže nespecifikované zatížení silové příčné
- c) blíže nespecifikované zatížení silové osové
- d) blíže nespecifikované zatížení momentové ohýbající
- e) blíže nespecifikované zatížení momentové zkrutující



Smluvené symboly pro obecná zatížení prutu

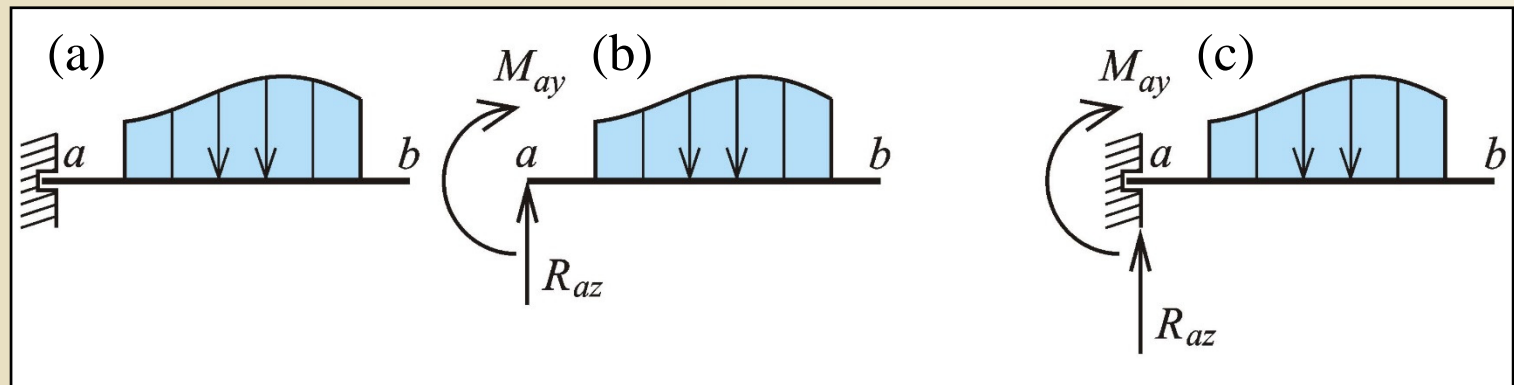
Obr. 6.17. / str. 83

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

Podmínky rovnováhy uvolněného zatíženého prutu

Podepřený prut musí být nehybný a v rovnováze.

Počet podmínek rovnováhy závisí 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 přeuročtý** 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.

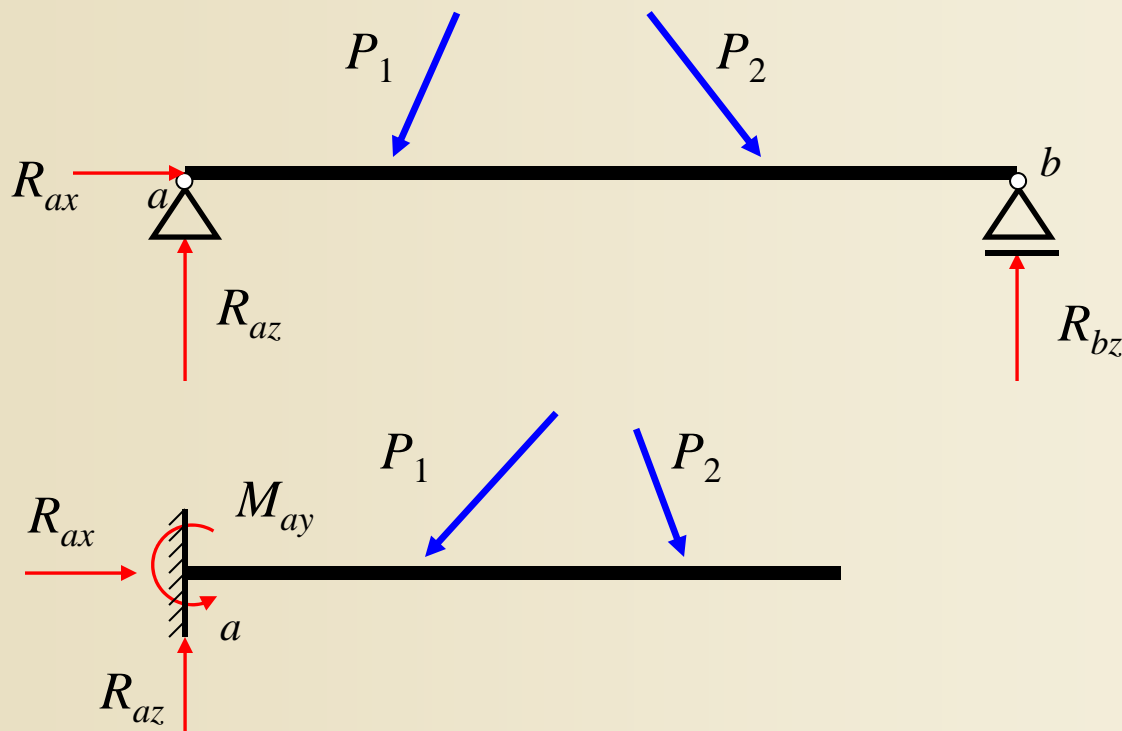
Statically determinate structure

$$v = n_v$$

$$v = 3, n_v = 3$$

Prut je **staticky určitý**

(3 složky reakcí, 3 podmínky rovnováhy)



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):

$$R_x = \sum_{i=1}^n P_{ix} = 0$$

$$R_z = \sum_{i=1}^n P_{iz} = 0$$

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

Momentová podmínka musí platit k libovolnému momentovému středu s

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

$$M_a = 0$$

$$M_b = 0$$

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

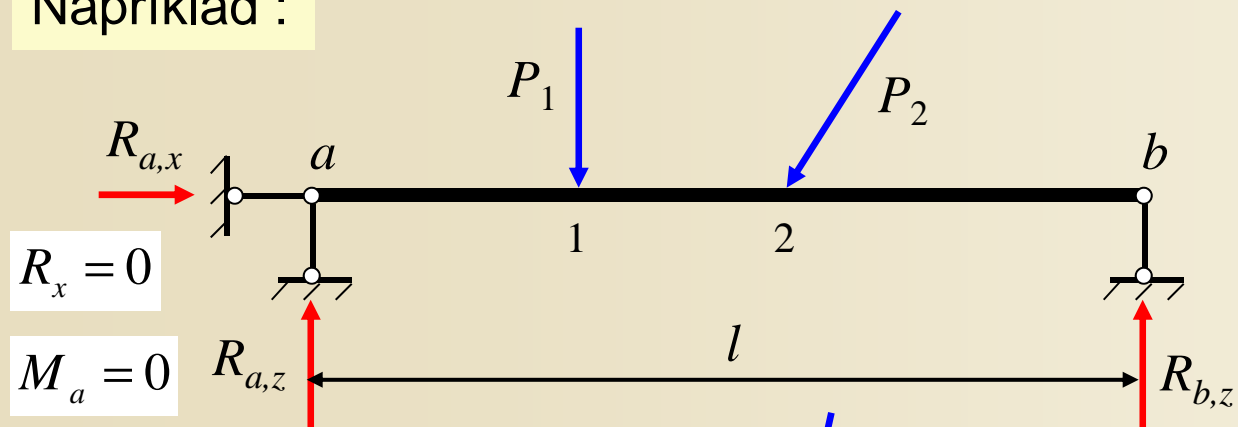
b) $R_z = 0$ pokud je spojnice a , b svislá

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 $M_a = 0$ $M_b = 0$ $M_c = 0$

Podmínky rovnováhy obecné rovinné soustavy sil

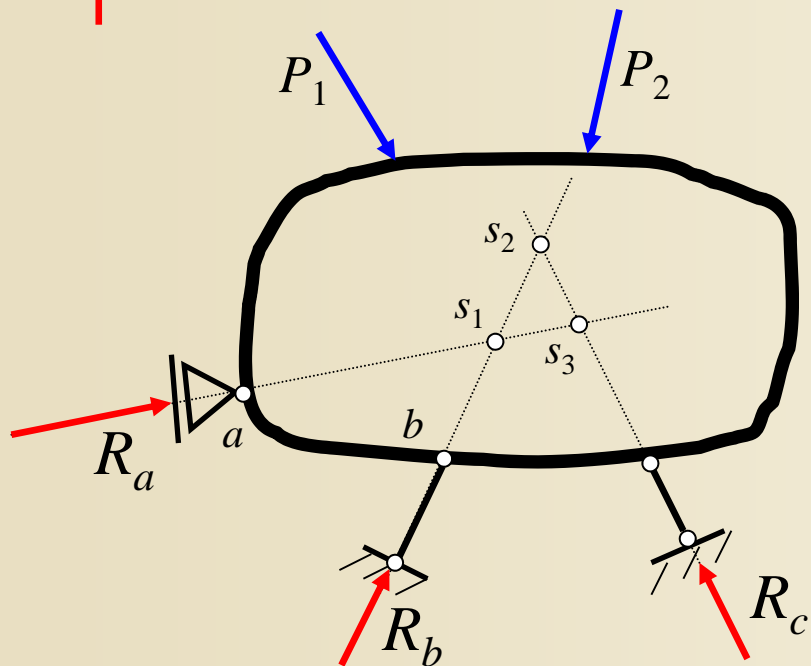
Například :



$$R_x = 0$$

$$M_a = 0$$

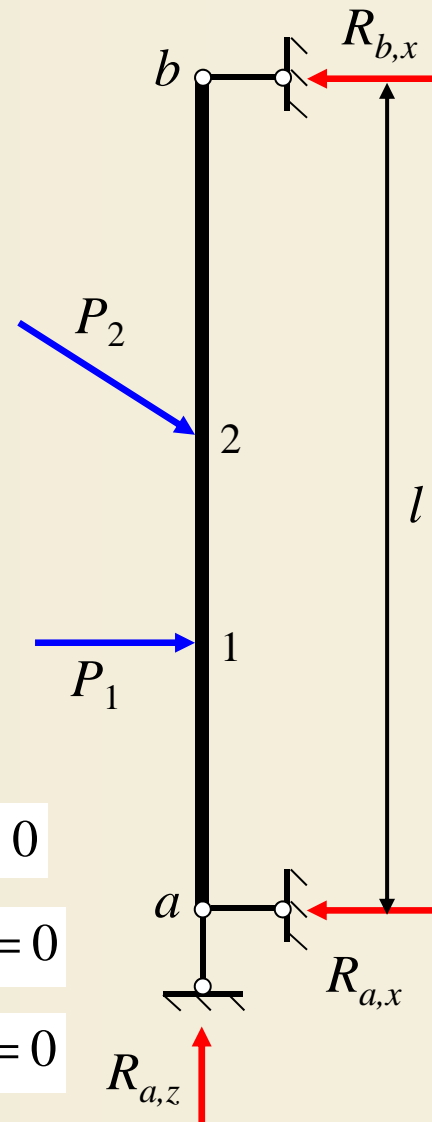
$$M_b = 0$$



$$M_{s_1} = 0$$

$$M_{s_2} = 0$$

$$M_{s_3} = 0$$



$$R_z = 0$$

$$M_a = 0$$

$$M_b = 0$$

Statically indeterminate structure

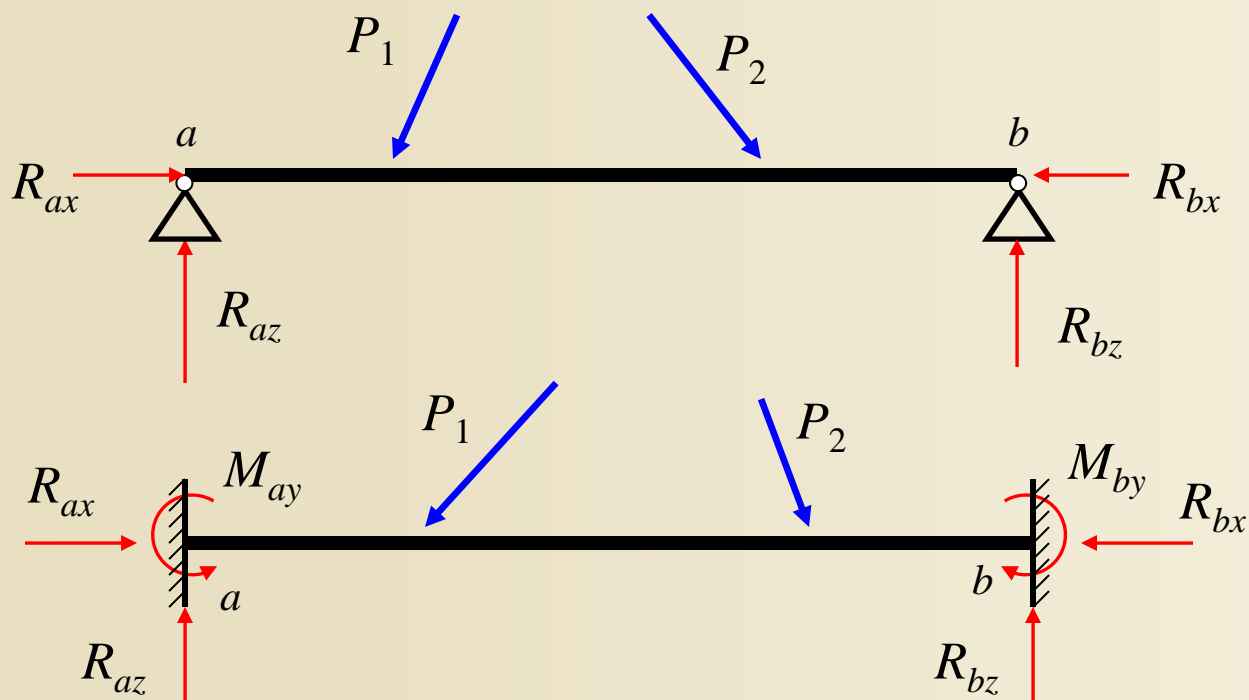
$$v > n_v$$

Structure is **statically indeterminate**

$$s = v - n_v$$

Degree of static indeterminacy

(number of necessary deformation conditions, subject to Elasticity and plasticity)



$$\begin{aligned} v &= 4 \\ n_v &= 3 \\ s &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= 6 \\ n_v &= 3 \\ s &= 3 \end{aligned}$$

Kinematicky i staticky určité podepření hmotného bodu v rovině

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

2 podmínky rovnováhy

1. $R_x = \sum P_{i,x} = 0$

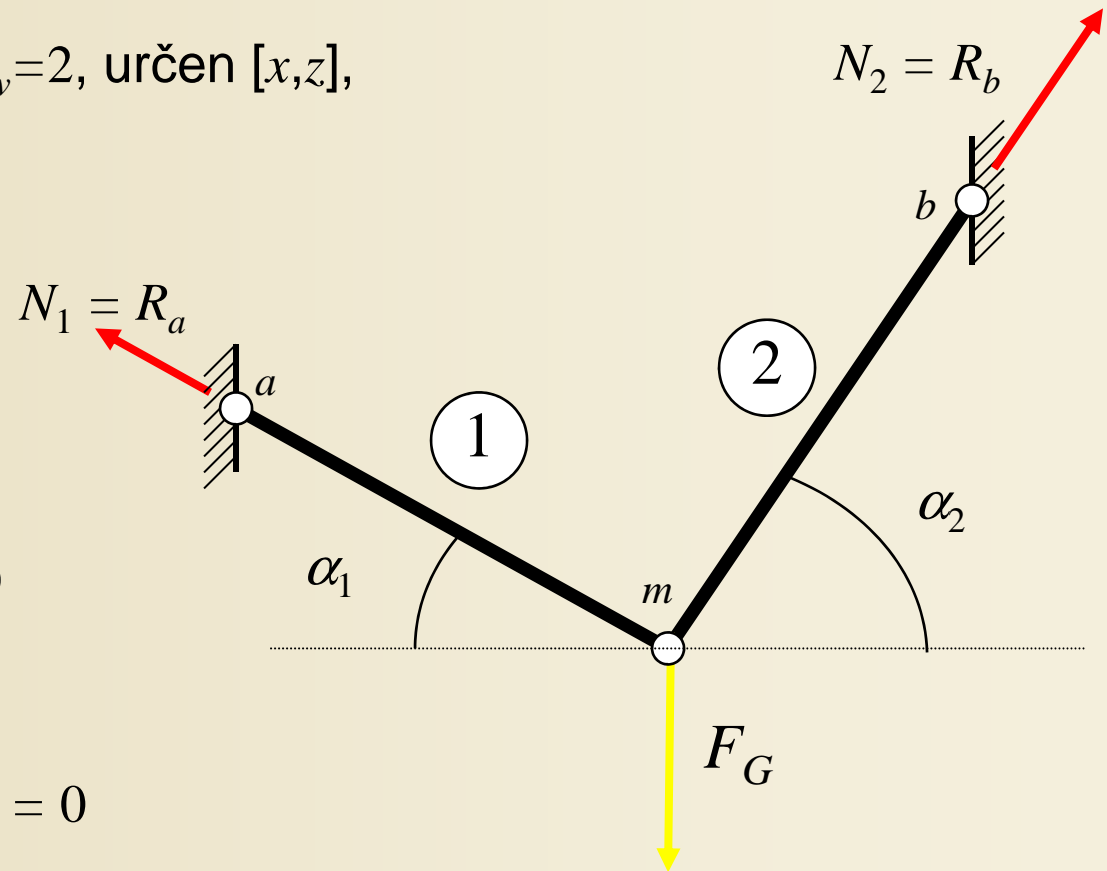
$$- N_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \cos \alpha_2 = 0$$

2. $R_z = \sum P_{i,z} = 0$

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

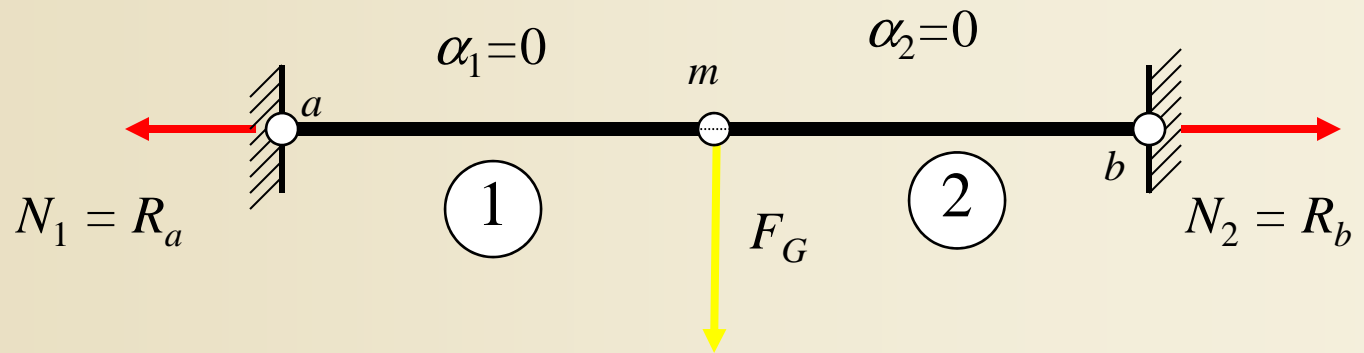
Maticový zápis:

$$[A] \cdot \{X\} = \{F\} \quad \begin{bmatrix} -\cos \alpha_1 & \cos \alpha_2 \\ -\sin \alpha_1 & -\sin \alpha_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -F_G \end{Bmatrix}$$



Výjimečný případ podepření hmotného bodu v rovině

Výjimečný případ podepření



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

Determinant matice $[A]$ je roven 0

$$N_1 = N_2 = \infty$$

Základní spojení prutů

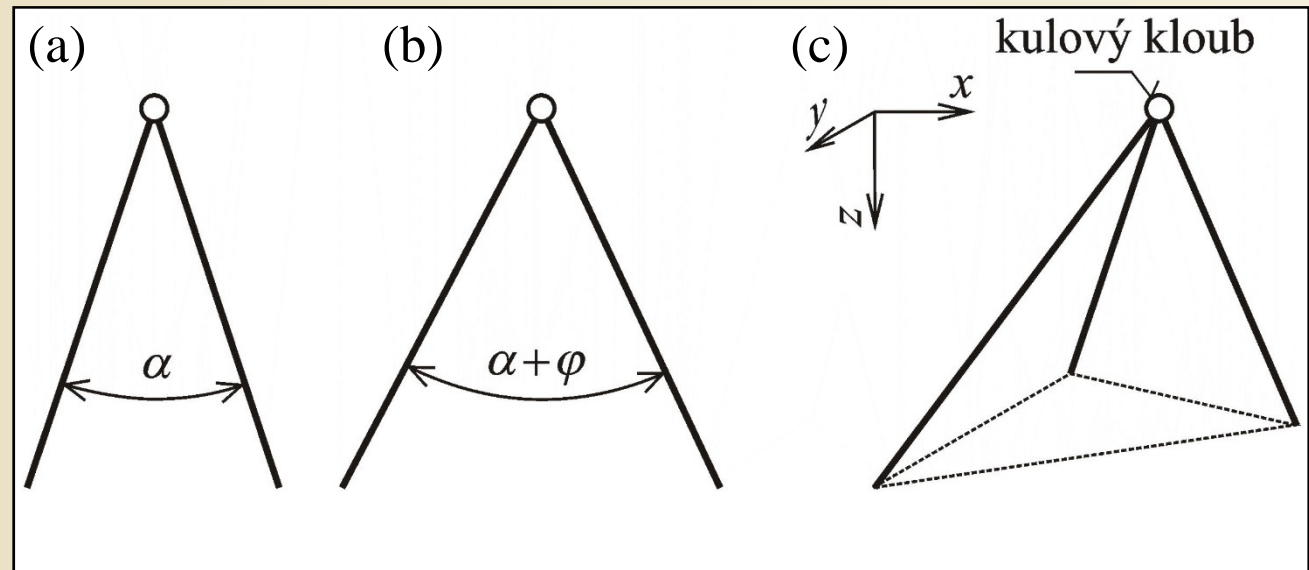
Prutová soustava – několik prutů (nejméně dva) spojeny (na koncích – ve **styčnicích**) tak, že se vzájemně ovlivňují (spolupůsobí).

Styčnice dvojnásobné, trojnásobné ... 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

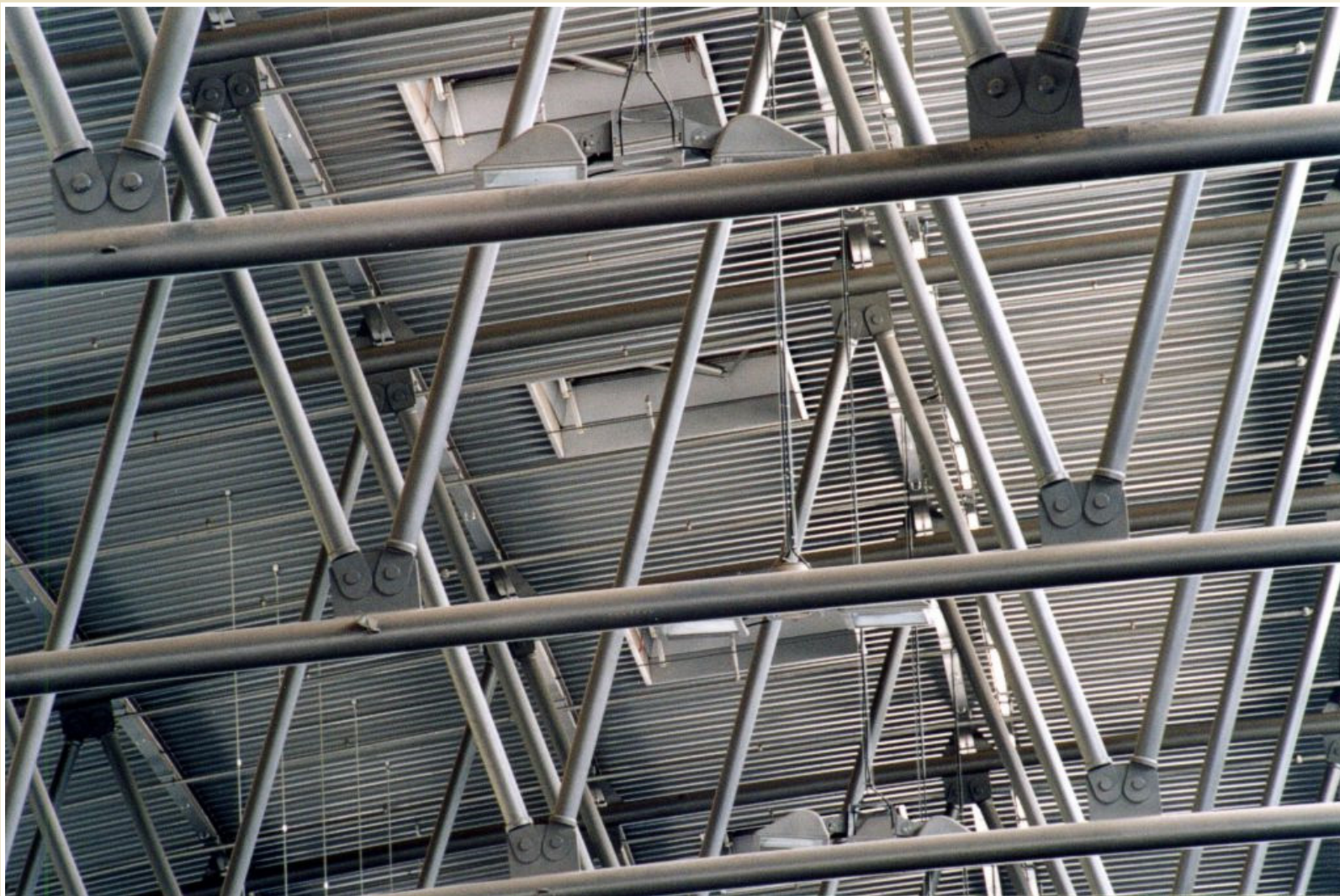
Obr. 6.20. / str. 85

Kloubová spojení prutů



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

Kloubová spojení prutů



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

Kloubová spojení prutů



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

Kloubová spojení prutů



Kloubové spojení prutů konstrukce vstupní haly, nádraží Ostrava - Svinov

Kloubová spojení prutů



Kloubové spojení prutů ztužidel vstupní haly
nádraží Ostrava - Svinov

Kloubová spojení prutů



Kloubově uložené nosníky železobetonového skeletu, Albert, Ostrava-Poruba

Kloubová spojení prutů



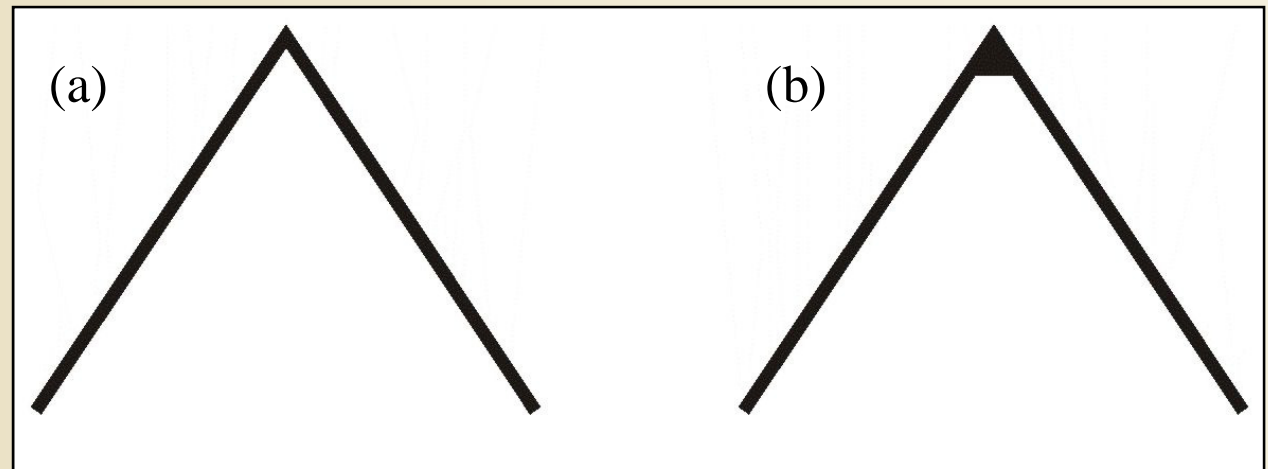
Kloubově uložené nosníky železobetonového skeletu, Albert, Ostrava-Poruba

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

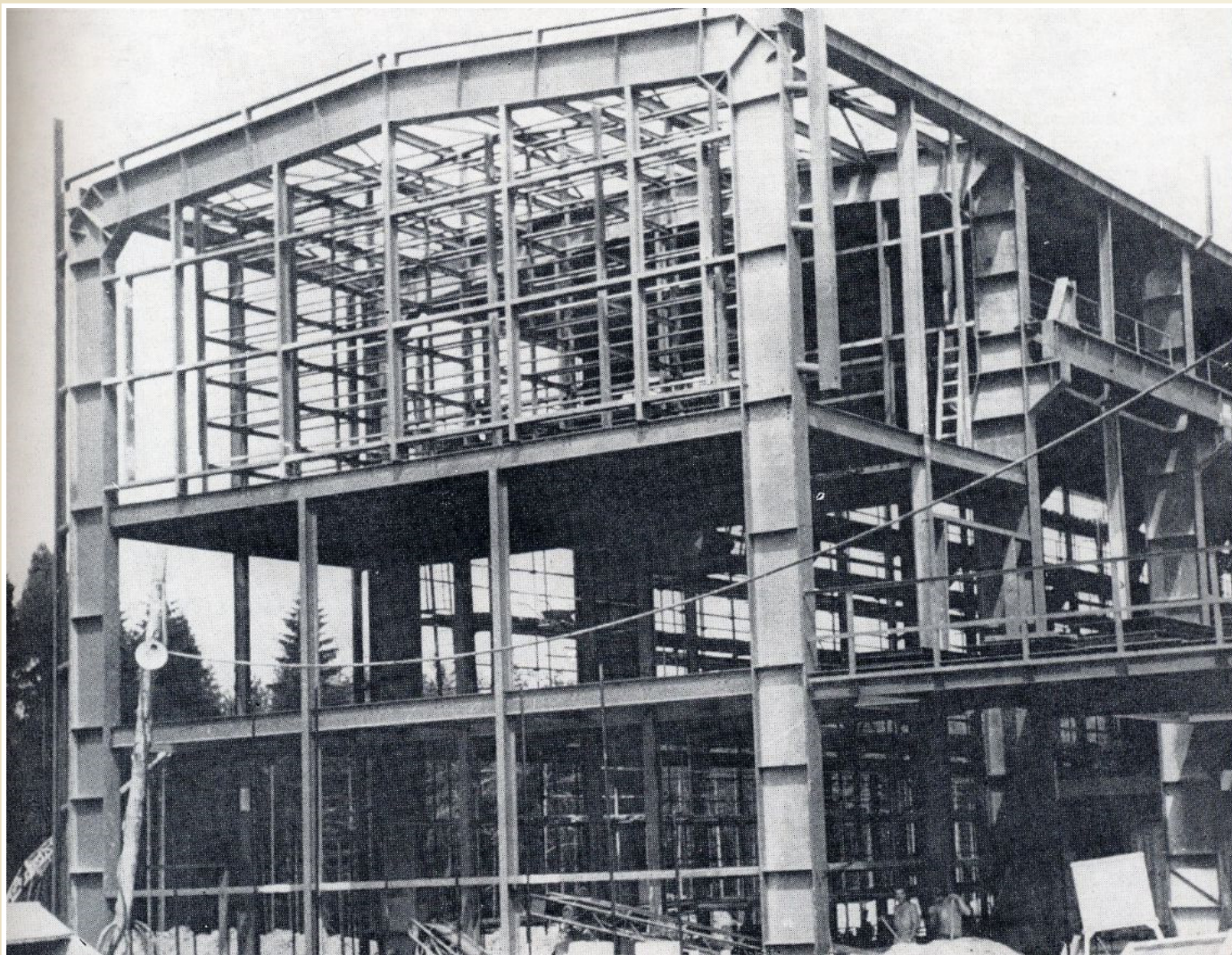
Obr. 6.21. / str. 86

Monolitická spojení prutů



Monolitické styčníky prostorové příhradové ocelové konstrukce plaveckého stadiónu v Brně

Monolitická spojení prutů



Rámová ocelová konstrukce s rozpětím 20,5 m

Monolitická spojení prutů



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

Monolitická spojení prutů



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

Monolitická spojení prutů



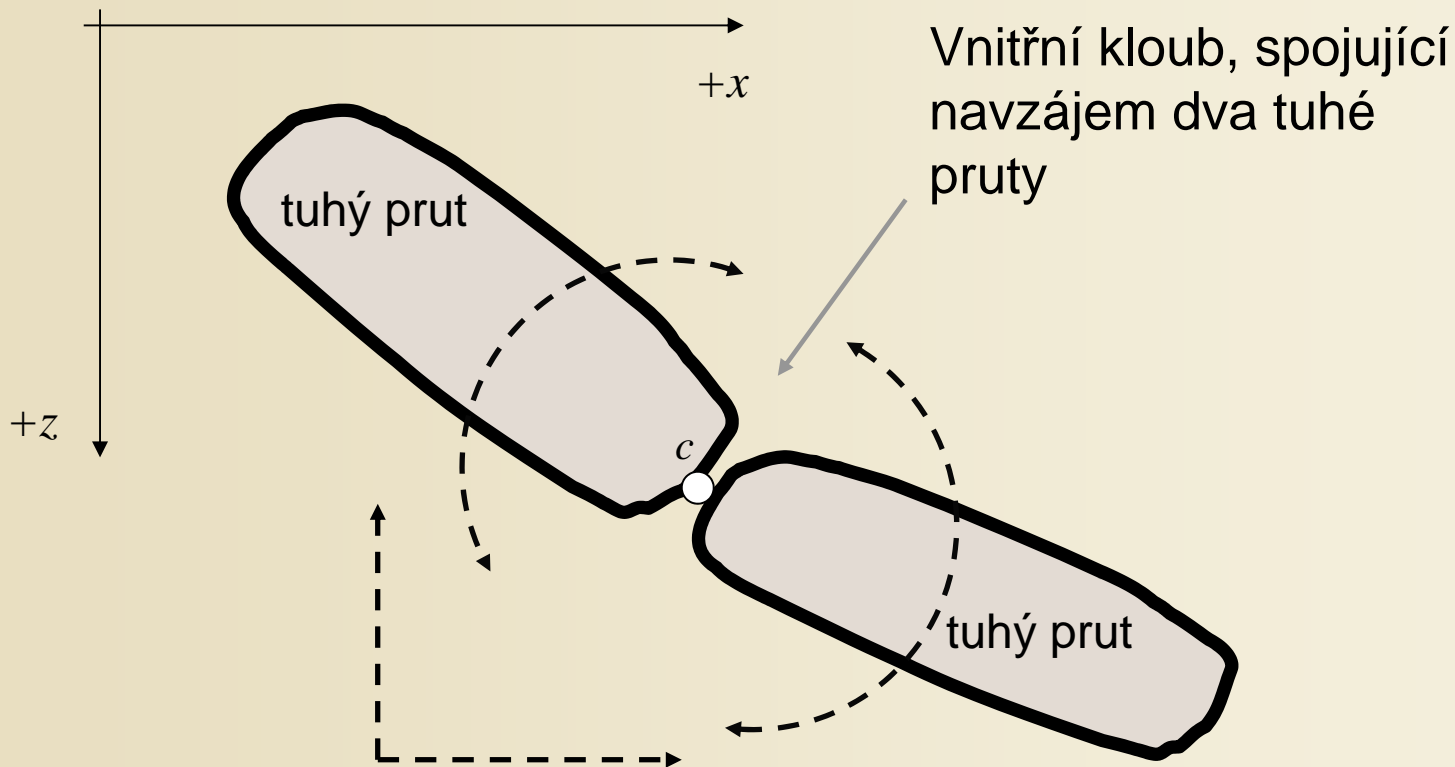
Konstrukce prostorového rámu Kursaal Convention Centre and Auditorium, San Sebastian, Španělsko

Vnitřní vazby

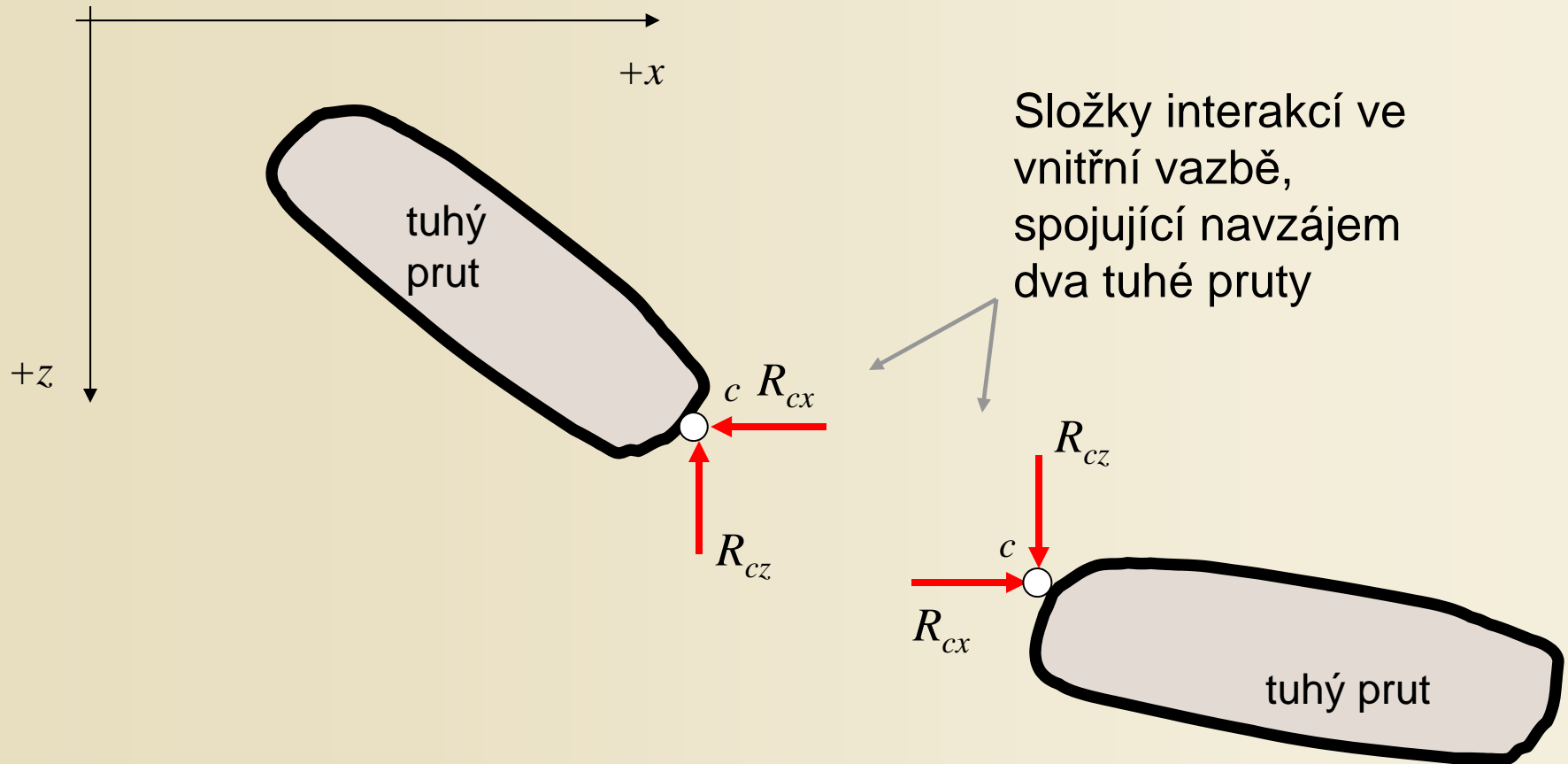
Jednoduché vnitřní vazby:

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

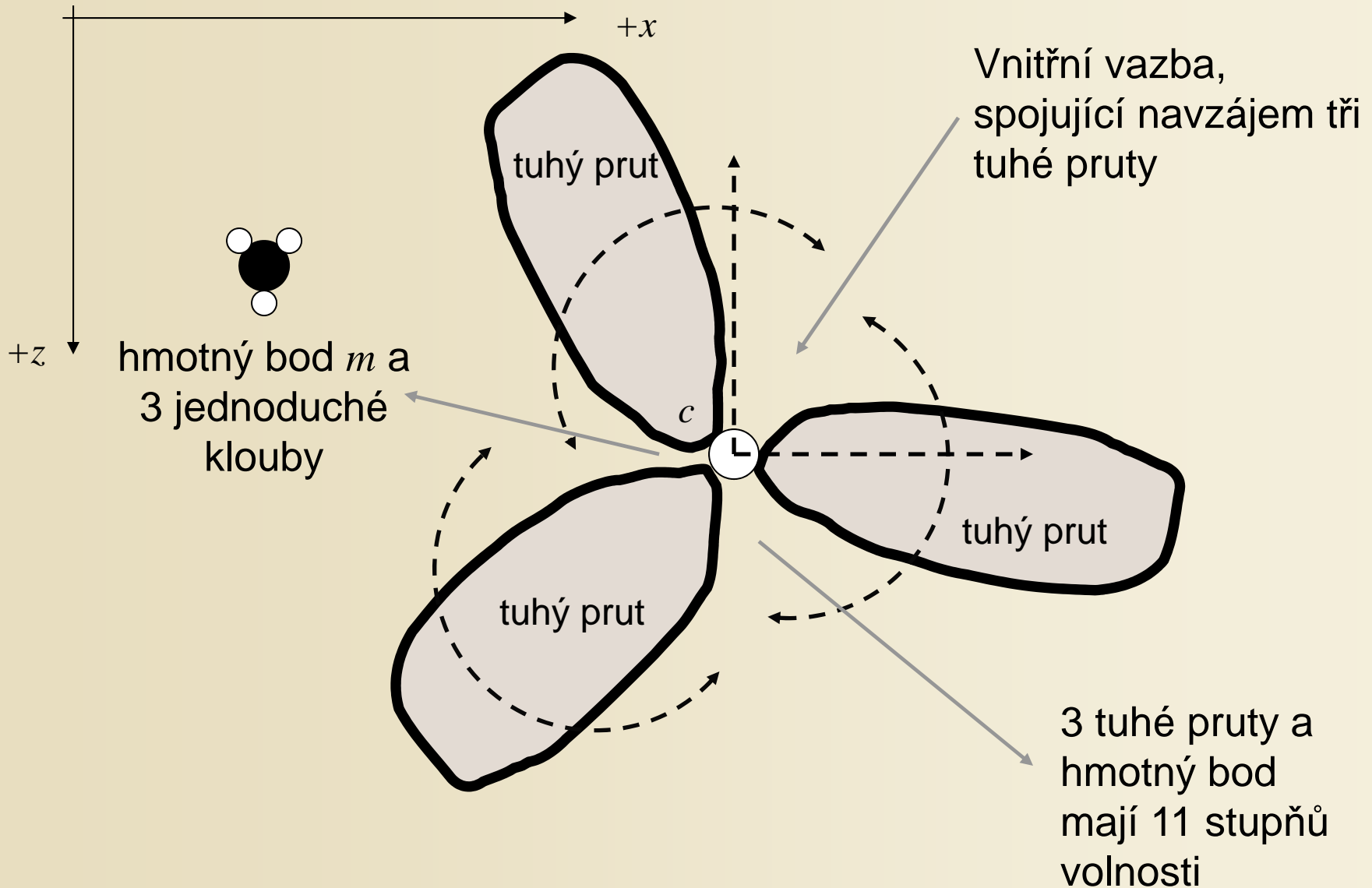
Počet tuhých prutů : $p = 2$



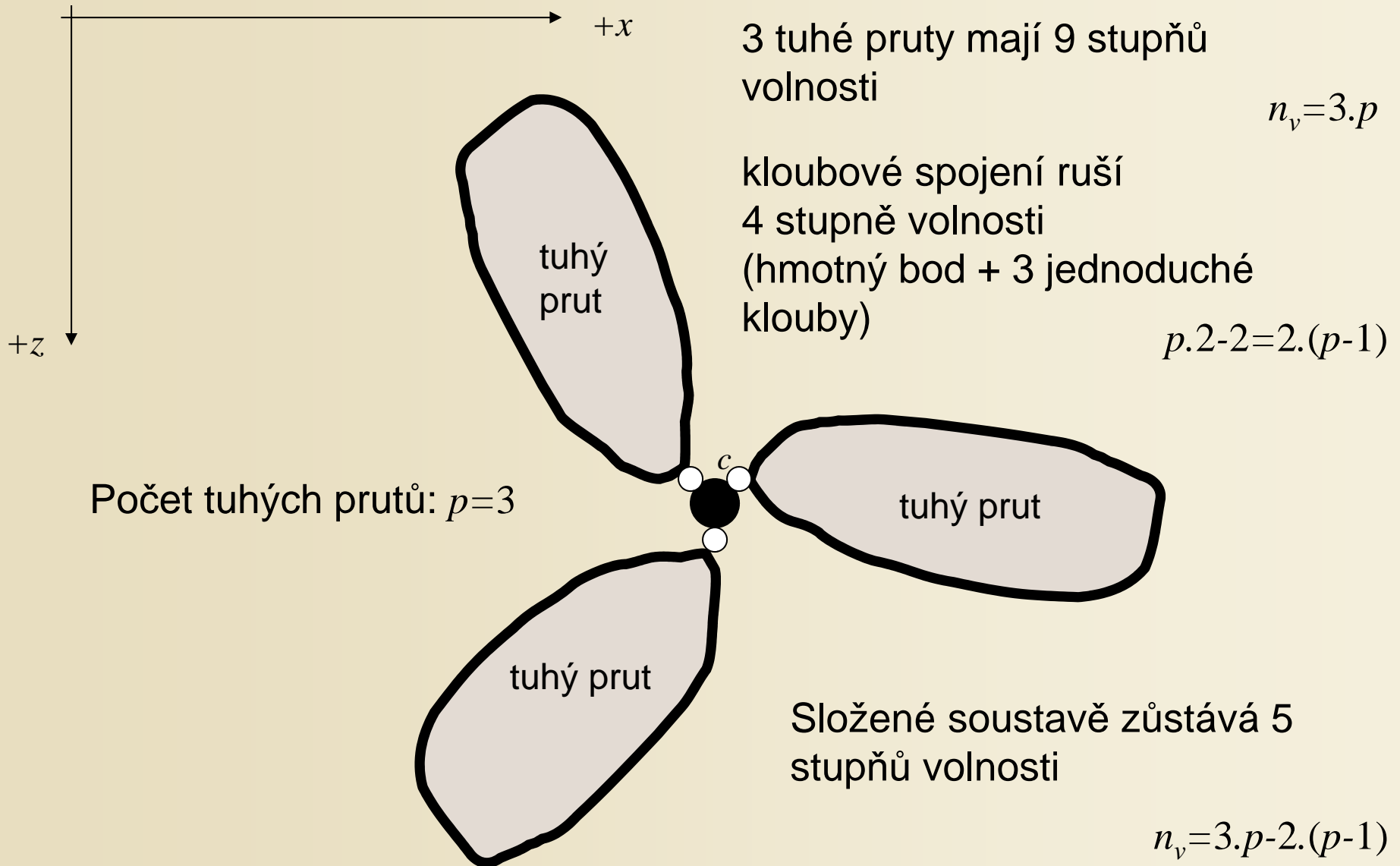
Vnitřní vazba – kloubové spojení 2 tuhých prutů



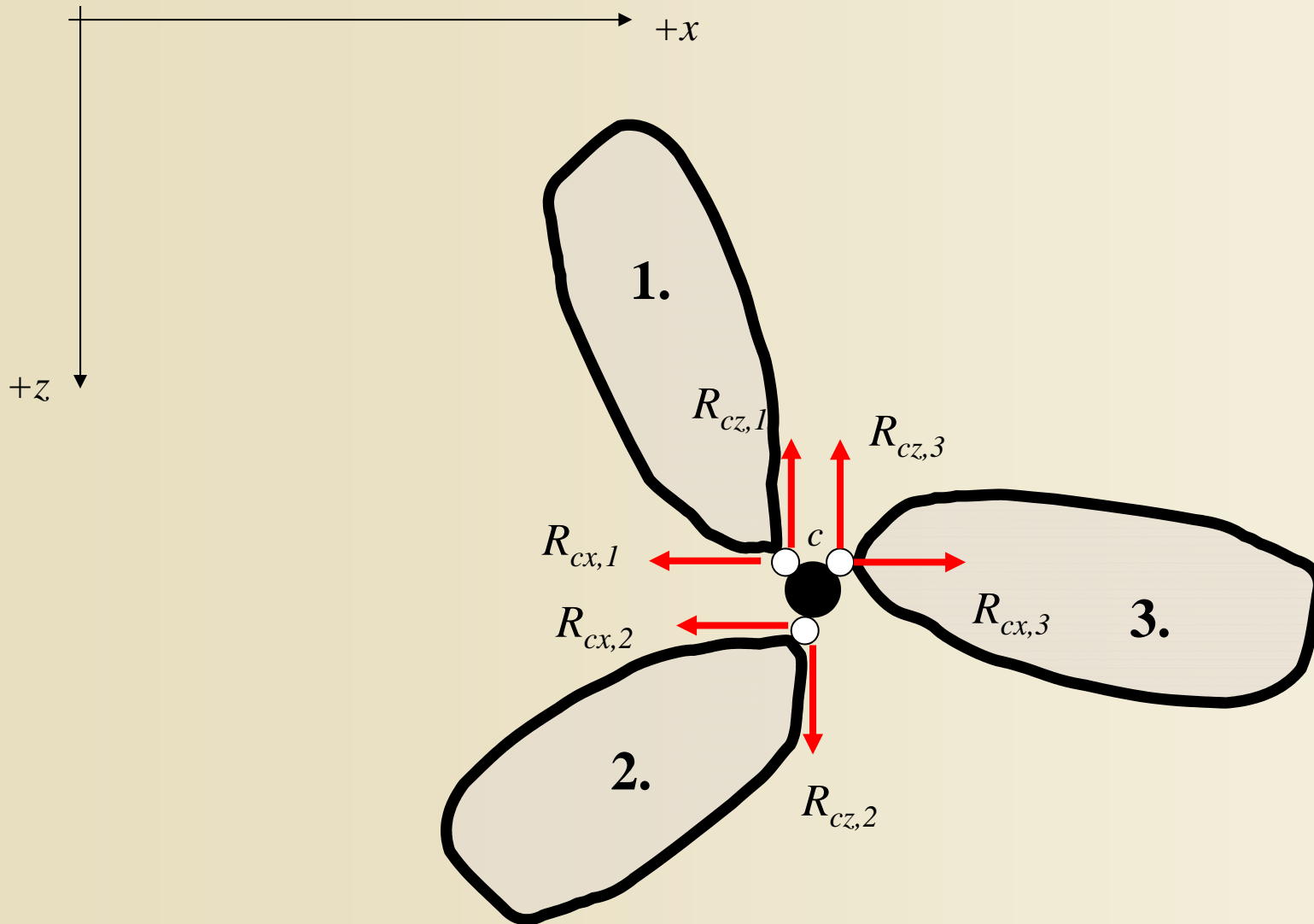
Vnitřní vazba – kloubové spojení 3 tuhých prutů



Vnitřní vazby – kloubové spojení 3 tuhých prutů



Interakce při kloubovém spojení 3 tuhých prutů



Zajištění nehybnosti rovinné kloubové prutové soustavy

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

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)

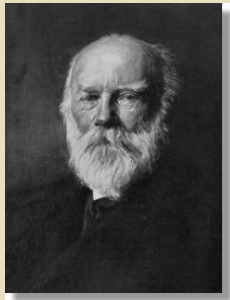
$n_v = v$ kinematicky určitá soustava

$n_v < v$ kinematicky přeuročitá soustava

$n_v > v$ kinematicky neurčitá soustava

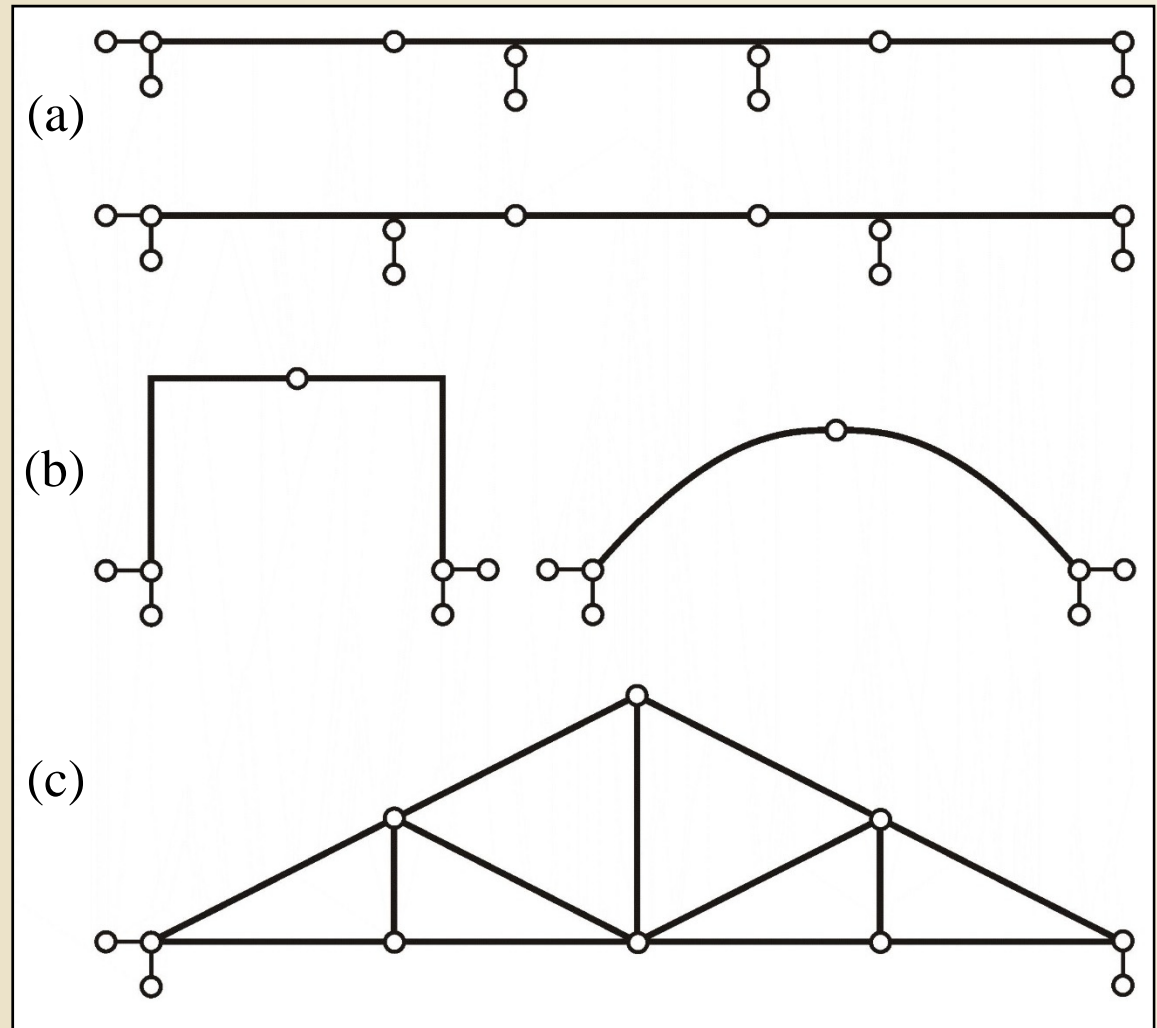
Základní typy kinematically určitých prutových soustav

- 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 kinematically určitých rovinných kloubových soustav

Obr. 6.22. / str. 87

Spojité nosník s vloženými klouby



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

Spojité nosník s vloženými klouby



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

Spojité nosník s vloženými klouby



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

Spojité nosník s vloženými klouby



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

Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Spojité nosník s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici u Výstaviště, Ostrava

Trojkloubový oblouk



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

Trojkloubový oblouk



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

Trojkloubový oblouk



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

Trojkloubový oblouk



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

Trojkloubový oblouk



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

Příhradový nosník



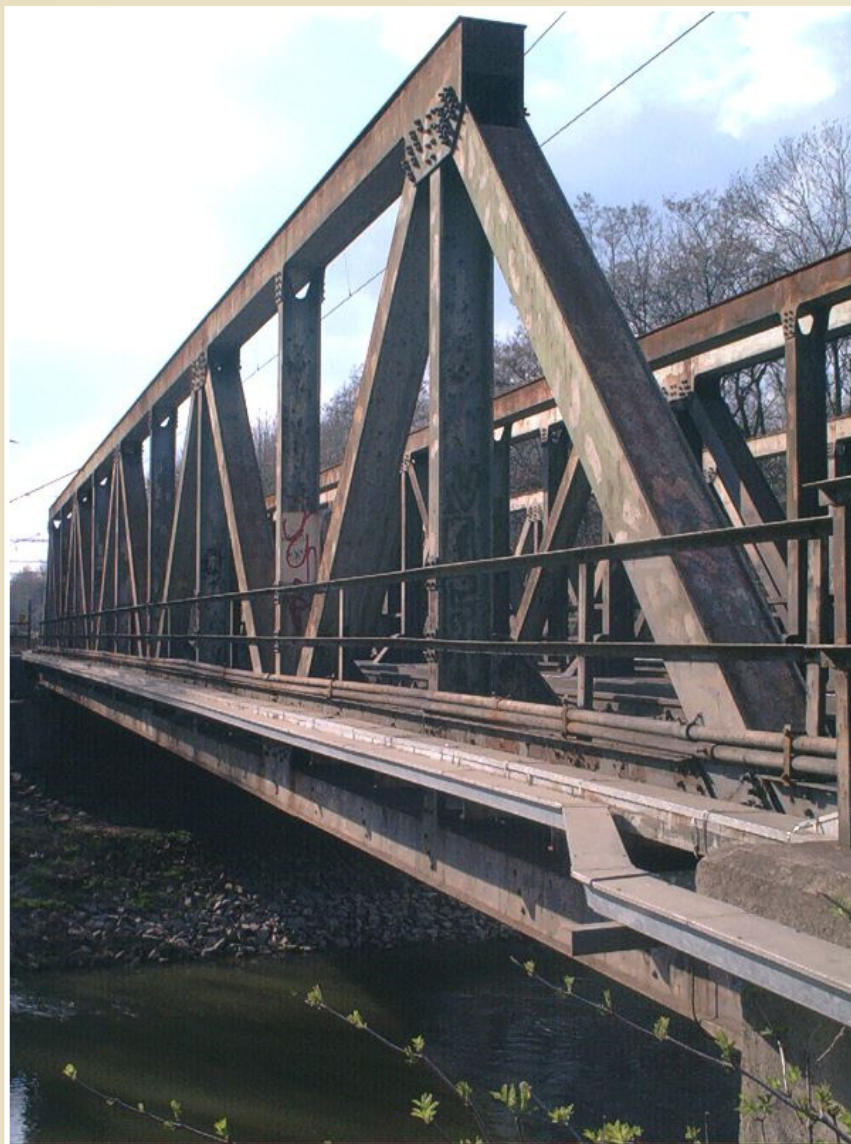
Most přes řeku Odru z roku 1964, Polanecká spojka, Ostrava – Zábřeh

Příhradový nosník



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

Příhradový nosník



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

Rámová konstrukce s vnitřním kloubem



Tribuna fotbalového stadionu Baníku Ostrava, Ostrava - Bazaly

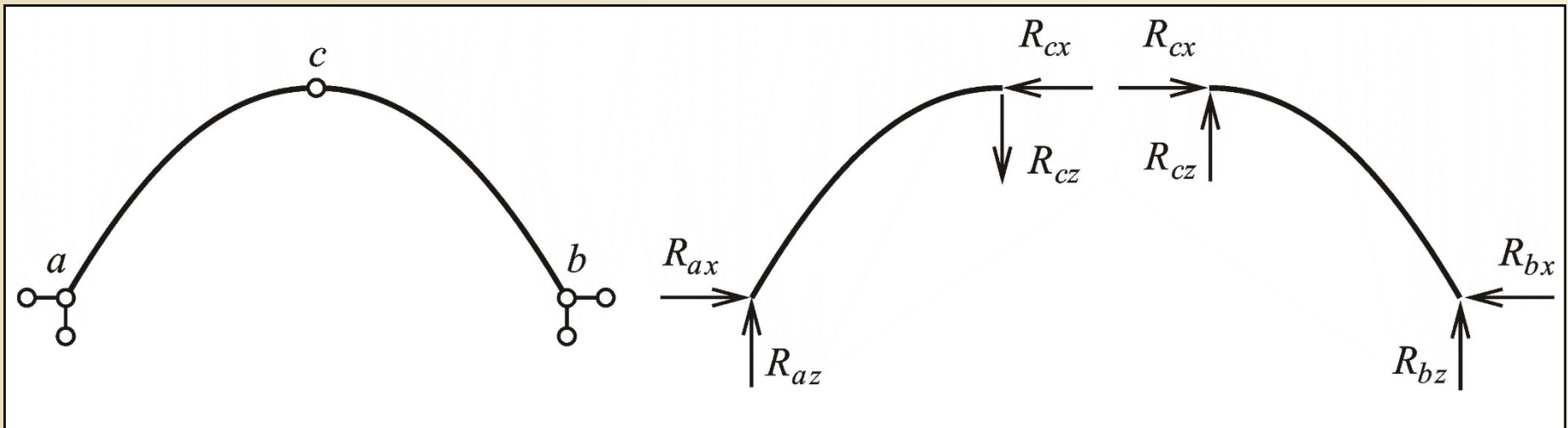
Rámová konstrukce s vnitřním kloubem



Tribuna fotbalového stadionu Baníku Ostrava, Ostrava - Bazaly

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

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 přeuročitá** 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.

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