



## **BDA016 Stavební mechanika 2**

### **1. přednáška**

- Rozdělení nosných stavebních konstrukcí
- Zatížení stavebních konstrukcí
- Příčinkové čáry statických veličin

doc. Ing. Hana Šimonová, Ph.D. ([hana.simonova@vut.cz](mailto:hana.simonova@vut.cz))

## **Statika** stavebních konstrukcí

- nauka o výpočtech stavebních konstrukcí
- vyšetřuje stavební konstrukce v klidu, podmínky rovnováhy

## **Stavební konstrukce**

- bezpečný přenos daného zatížení
- bez porušení nebo ztráty stability
- bez větších tvarových změn – přípustné deformace
- kritéria hospodárnosti

## **Nosná konstrukce**

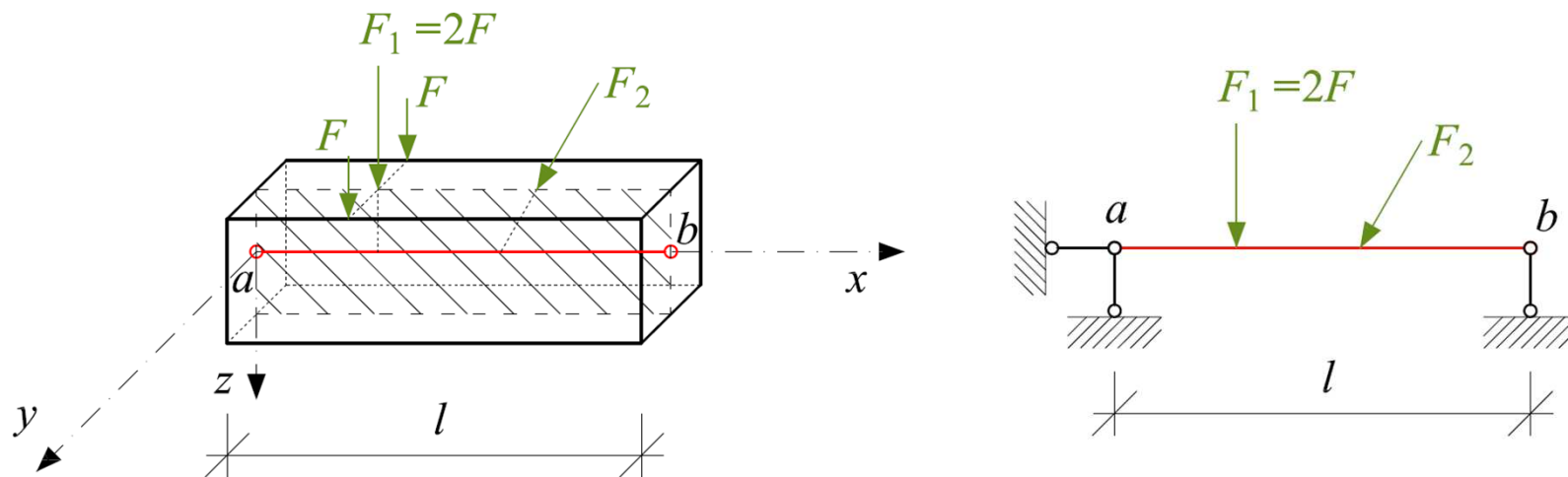
- část, která zajišťuje potřebnou tuhost a odolnost stavební konstrukce

## Stavební konstrukce

- prostorový hmotný útvar – těleso
- pro řešení nosných částí se zavádí zjednodušení
- **idealizace** jednotlivých **nosných prvků**
  - jednorozměrný prvek – prut, nosník, sloup
  - dvojrozměrný prvek – deska, stěna, skořepina
  - trojrozměrný prvek – blok, základová patka, opěrná zed'
- **idealizace vnějších a vnitřních vazeb**
  - vzájemné spojení a spolupůsobení nosných prvků
  - připojení nosné konstrukce k základům

## PRUTOVÉ KONSTRUKCE

- vytvořeny z prutů (nejjednodušší konstrukční prvek)
- **Prut** – nosný prvek, u kterého délkový rozměr značně převládá nad příčnými rozměry, hmotnost rozložena v ose prutu



## **PRUT**

podle **polohy** střednice a zatížení v prostoru

- rovinný, prostorový

podle **tvaru střednice**

- přímý, lomený, zakřivený, obecného tvaru

podle **tvaru průřezu**

- obdélníkového, čtvercového, kruhové, složeného průřezu, tenkostěnné
- konstantní nebo proměnný průřez

## **SPOJENÍ PRUTŮ**

- tuhé – monolitické (koncové průřezy se nemohou proti sobě posunout ani potočit)
- vnitřní kloub

## PLOŠNÉ KONSTRUKCE

- dva z délkových rozměrů konstrukce jsou výrazně větší než zbývající rozměr (tloušťka)
- idealizace dvojrozměrným plošným prvkem, který představuje střednicovou plochu (hmotnost rozložena do jedné roviny)

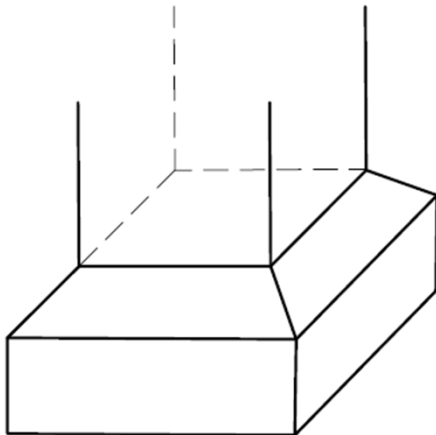
podle **tvaru střednicové plochy**

- omezená rovina – deska, stěna
- obecná prostorová plocha – skořepina (válcové, rotační, aj.)



## **MASIVNÍ KONSTRUKCE**

- žádný z rozměrů konstrukce podstatně nepřevyšuje ostatní
- prostorové konstrukce – základové patky, opěrné zdi, apod.



## Zatížení stavebních konstrukcí

- veličina proměnná v čase a prostoru

podle **proměnlivosti v čase**

- **stálé** zatížení – velikost a rozložení se po dokončení stavby nemění (vlastní tíha konstrukce, tlak hornin, účinky předpětí)
- **nahodilé** zatížení – velikost a rozložení po konstrukci je během existence stavby proměnné (užitná, klimatická)
- **mimořádné** zatížení – může se vyskytnout při provádění a užívání konstrukcí jen ve výjimečných případech (havárie, zemětřesení, výbuch)



podle **proměnlivosti polohy v prostoru**

- **pevná** zatížení, např. vlastní tíha konstrukce
- **volná** zatížení, např. přemístitelné užité zatížení, zatížení sněhem

podle **odezvy konstrukce** na zatížení

- **statická** zatížení – nevyvolávají významná zrychlení konstrukce
- **dynamická** zatížení – vyvolávají taková zrychlení konstrukce, že nelze zanedbat vliv setrvačných sil hmoty konstrukce

## **POHYBLIVÉ ZATÍŽENÍ**

- zvláštní případ nahodilého zatížení, které vzniká poježděním vozidel a zařízení po konstrukci – soustava svislých břemen (nápravové tlaky), spojitě zatížení na určité délce

- účinek pohyblivého zatížení na stavebních konstrukcích řešíme s výhodou pomocí **příčinkových čar**
- funkční závislost, která udává jak se mění velikost sledované statické veličiny  $S$  (reakce, normálová síla, posouvající síla, ohybový moment, průhyb nosníku) v průřezu  $x$ , pohybuje-li se po nosníku jednotková síla neměnného směru

## **Metody řešení příčinkových čar**

- **analytická** metoda – vzorce odvozené podle zásad statiky
- **kinematická** metoda – s použitím kinematické definice příčinkové čáry
- **kombinace analytické a kinematické** metody – tvar příčinkové čáry se určí kinematickou metodou a početně pak její pořadnice v charakteristických průřezech (určující pořadnice)

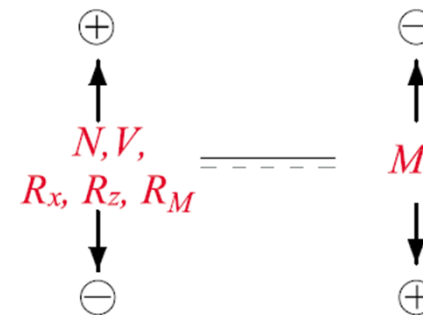
## Kinematická definice a tvar příčinkové čáry

- příčinková čára statické veličiny  $S$  v průřezu  $x$  konstrukce je **ohybová čára**, vyvozená na konstrukci **jednotkovým impulsem** v průřezu  $x$  **duálním** k veličině  $S$ , na které koná práci pouze uvažovaná veličina  $S$
- příčinkové čáry statických veličin rovinných nosníků se staticky určitým podepřením se skládají pouze z úseček

## Jednotkový impuls duální k veličině

- $\Delta = 1$  – pro příčinkovou čáru posouvající síly, normálové síly a silové složky reakce
- $\varphi = 1$  – pro příčinkovou čáru ohybového momentu a momentové složky reakce

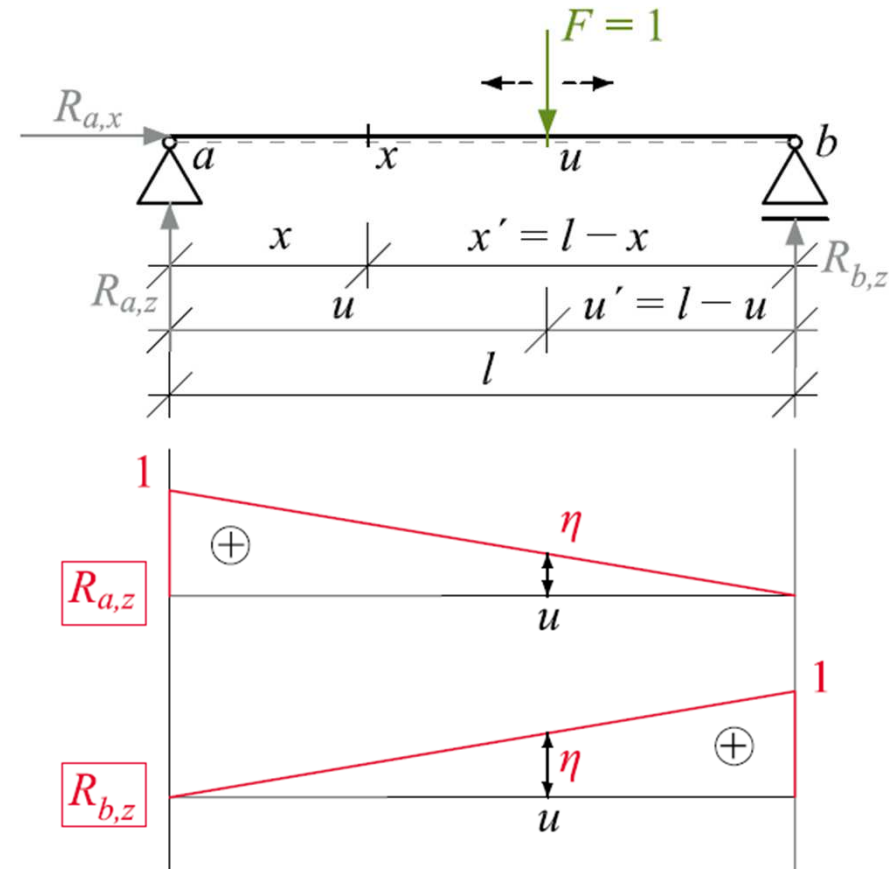
## Znaménková konvence



## PŘÍČINKOVÉ ČÁRY PRO SLOŽKY REAKCÍ

### ANALYTICKÁ METODA

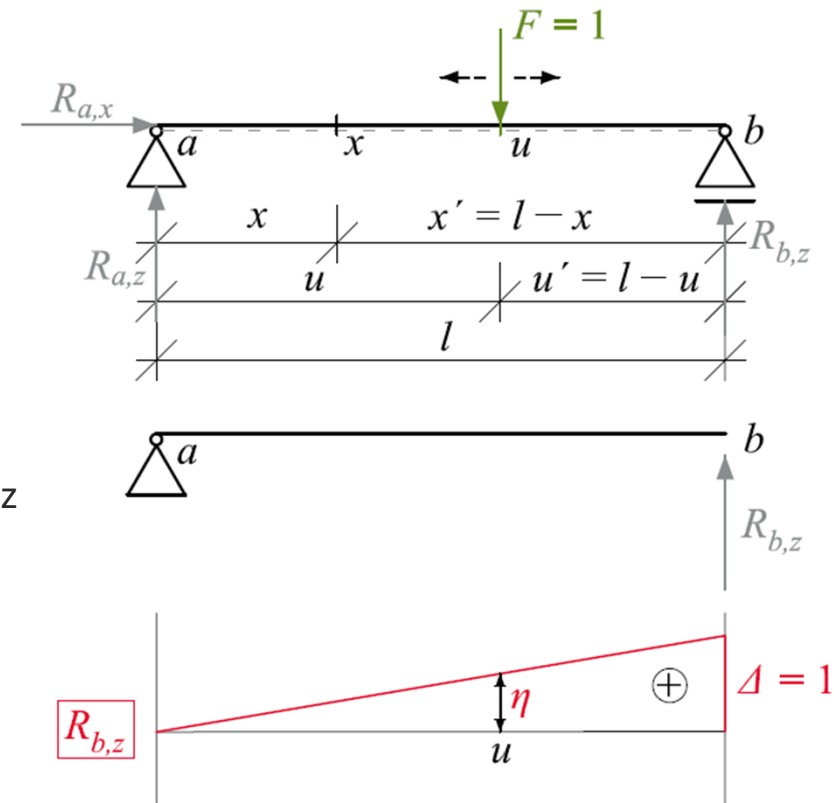
- $\sum F_{i,x} = 0 \rightarrow R_{a,x} = \eta = 0$
- $\sum M_{i,b} = 0; -R_{a,z} \cdot l + F \cdot u' = 0$   
 $\rightarrow R_{a,z} = \eta = \frac{F \cdot u'}{l} = \frac{u'}{l} = \frac{l-u}{l}$
- $\sum M_{i,a} = 0; -F \cdot u + R_{b,z} \cdot l = 0$   
 $\rightarrow R_{b,z} = \eta = \frac{F \cdot u}{l} = \frac{u}{l}$
- $u = 0; R_{a,z} = 1; R_{b,z} = 0$
- $u = l; R_{a,z} = 0; R_{b,z} = 1$



## PŘÍČINKOVÉ ČÁRY PRO SLOŽKY REAKCÍ

### KINEMATICKÁ METODA

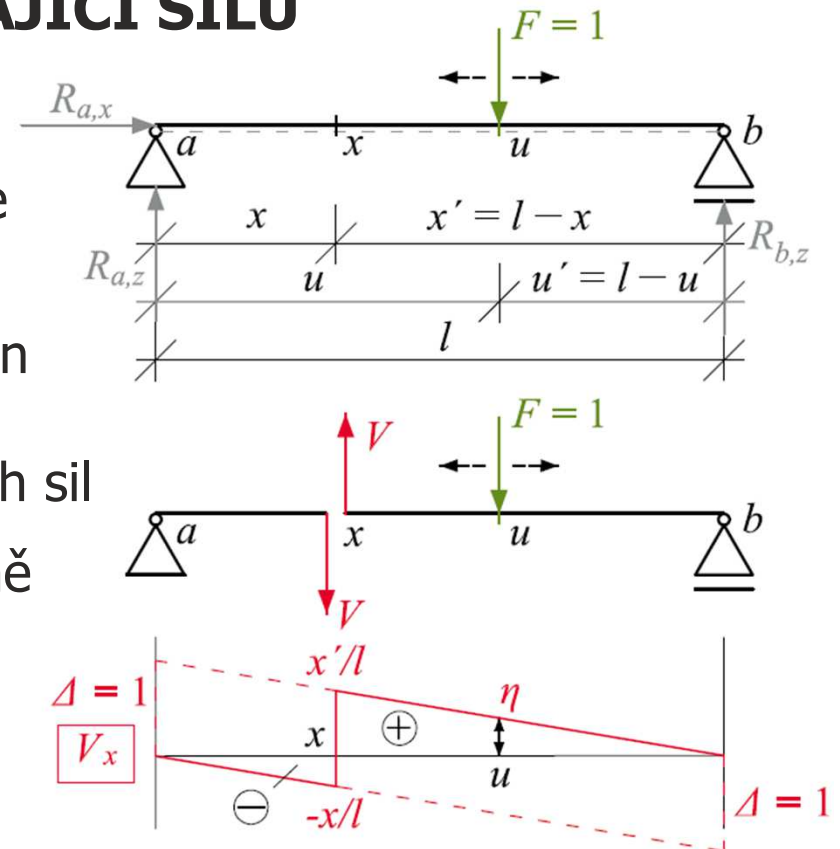
- odebereme posuvný kloub  $b$
- jeho účinek nahradíme reakcí  $R_{b,z}$
- nosníku udělíme virtuální posun (duální impuls  $\Delta = 1$ ) v průřezu  $b$  ve směru a kladném smyslu reakce  $R_{b,z}$
- tím dojde k virtuálnímu pootočení střednice nosníku kolem pevného kloubu  $a$
- příčinková čára reakce  $R_{b,z}$  je totožná s ohybovou čarou prostého nosníku, vyvozenou jednotkovým posunutím podporového průřezu  $b$  ve směru a kladném smyslu reakce  $R_{b,z}$



## PŘÍČINKOVÁ ČÁRA PRO POSOUVAJÍCÍ SÍLU

### KINEMATICKÁ METODA

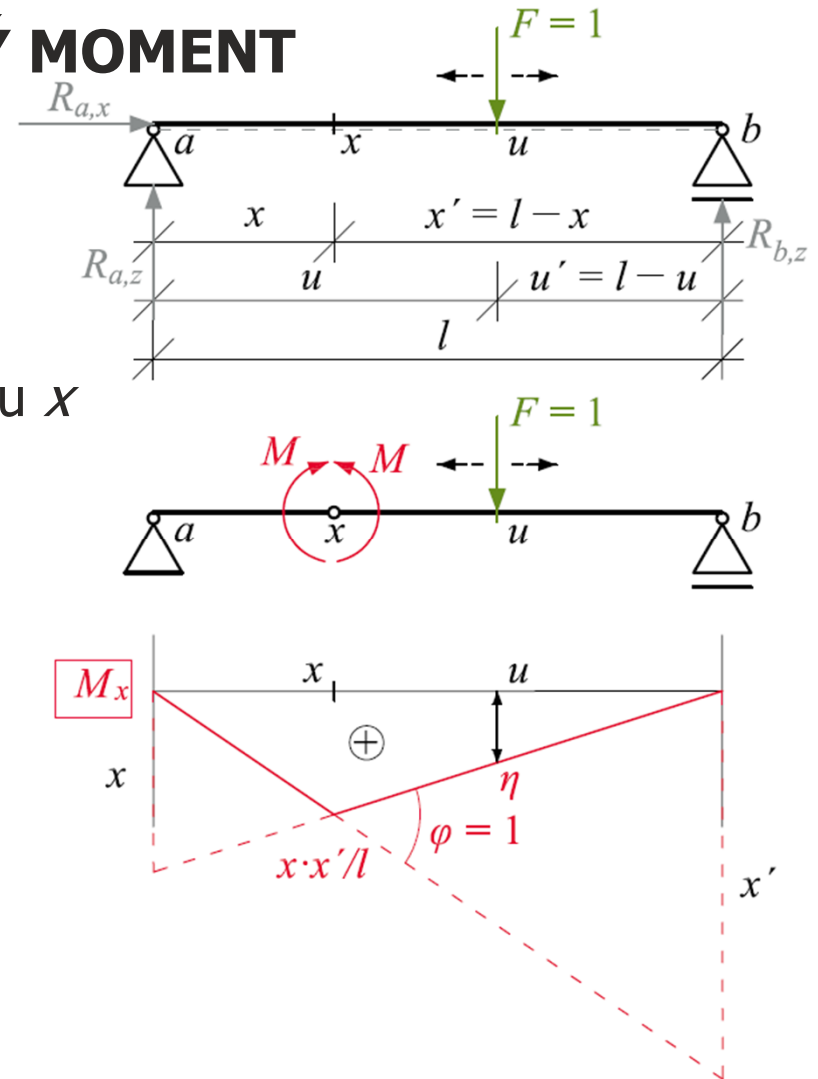
- v průřezu  $x$  nosník „rozřízneme“ (vložíme posuvné vetknutí)
- nosníku udělíme vzájemný virtuální posun (duální impuls  $\Delta = 1$ ) v průřezu  $x$  ve směru a kladném smyslu posouvajících sil
- úsečky příčinkové čáry musí být vzájemně rovnoběžné
- příčinková čára posouvající síly  $V_x$  v průřezu  $x$  je ohybová čára nosníku, vyvozená vzájemným jednotkovým posunutím rozříznutých konců nosníku v průřezu  $x$  ve směru a kladném smyslu  $V_x$



## PŘÍČINKOVÁ ČÁRA PRO OHYBOVÝ MOMENT

### KINEMATICKÁ METODA

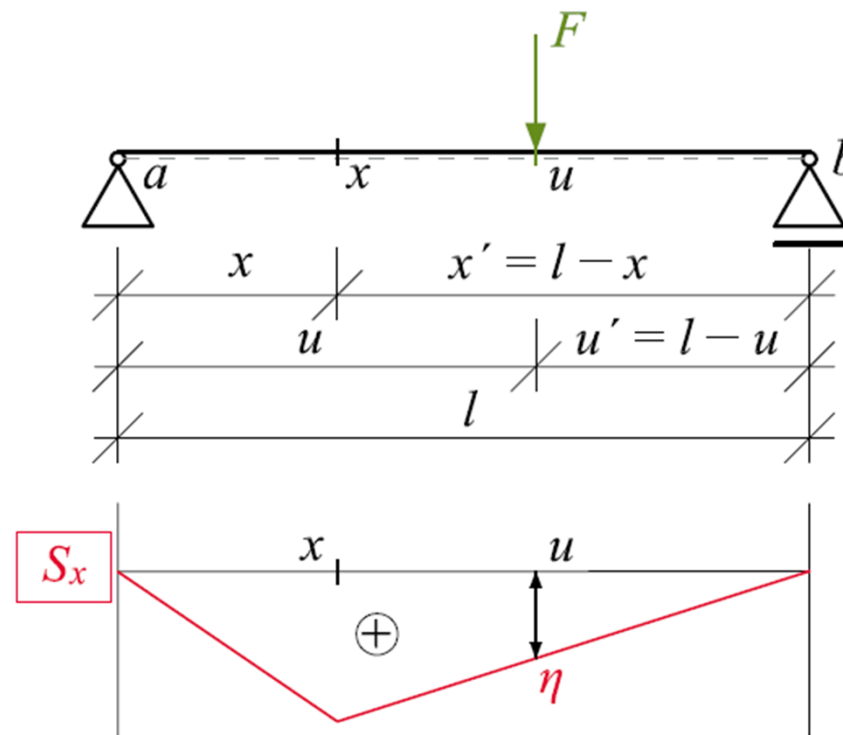
- do průřezu  $x$  vložíme vnitřní kloub
- nosníku udělíme vzájemné virtuální pootočení (duální impuls  $\varphi = 1$ ) v průřezu  $x$  v kladném smyslu ohybových momentů
- příčinková čára ohybového momentu  $M_x$  v průřezu  $x$  je ohybová čára nosníku, vyvozená vzájemným jednotkovým natočením konců nosníku v průřezu  $x$  spojených vnitřním kloubem kladným smyslu  $M_x$



pomocí příčinkové čáry statické veličiny  $S_x$  lze stanovit hodnotu veličiny  $S$  v průřezu  $x$  pro libovolné stálé i nahodilé zatížení

## JEDINÉ BŘEMENO $F$

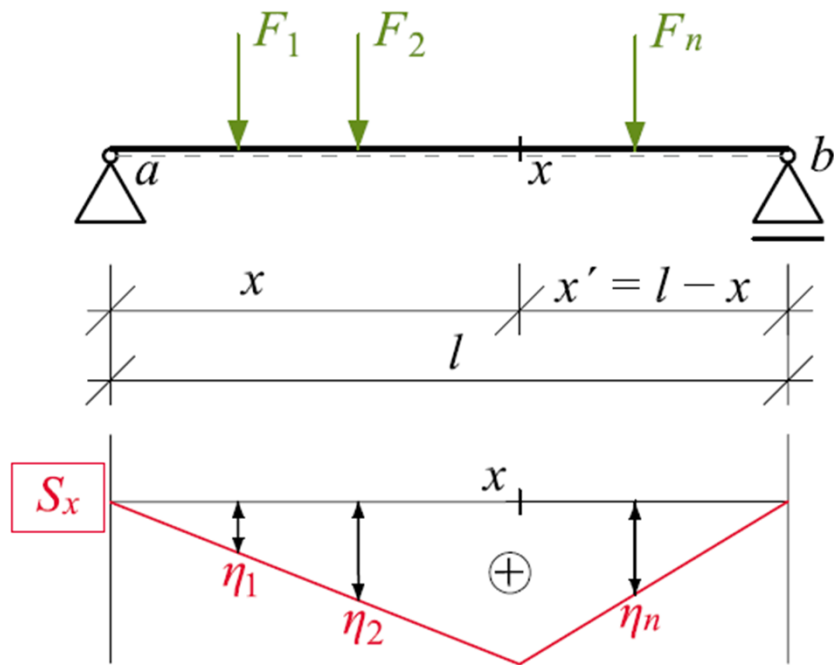
- $S_x = F \cdot \eta$





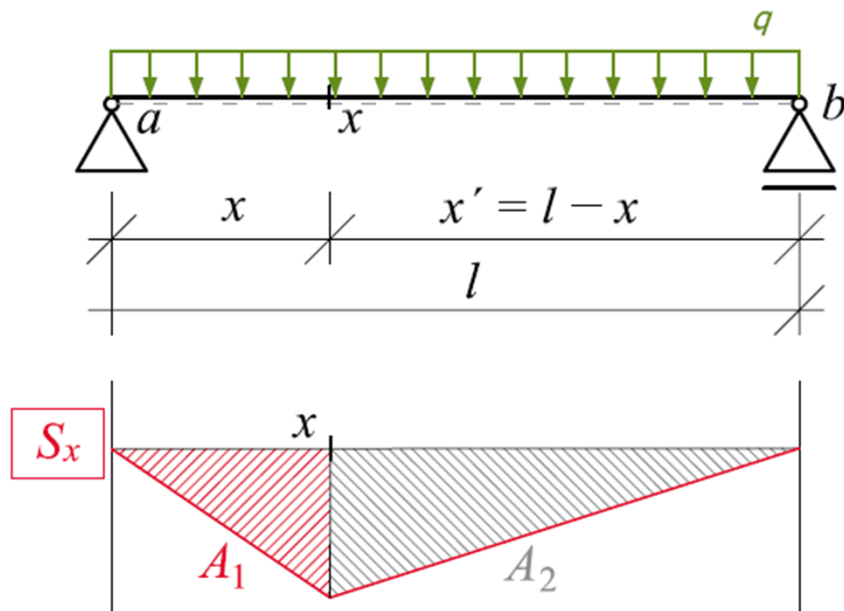
## SOUSTAVA OSAMĚLÝCH BŘEMEN

- $S_x = F_1 \cdot \eta_1 + F_2 \cdot \eta_2 + \dots + F_n \cdot \eta_n = \sum_{k=1}^n F_k \cdot \eta_k$



## SPOJITÉ ROVNOMĚRNÉ PŘÍČNÉ ZATÍŽENÍ $q$

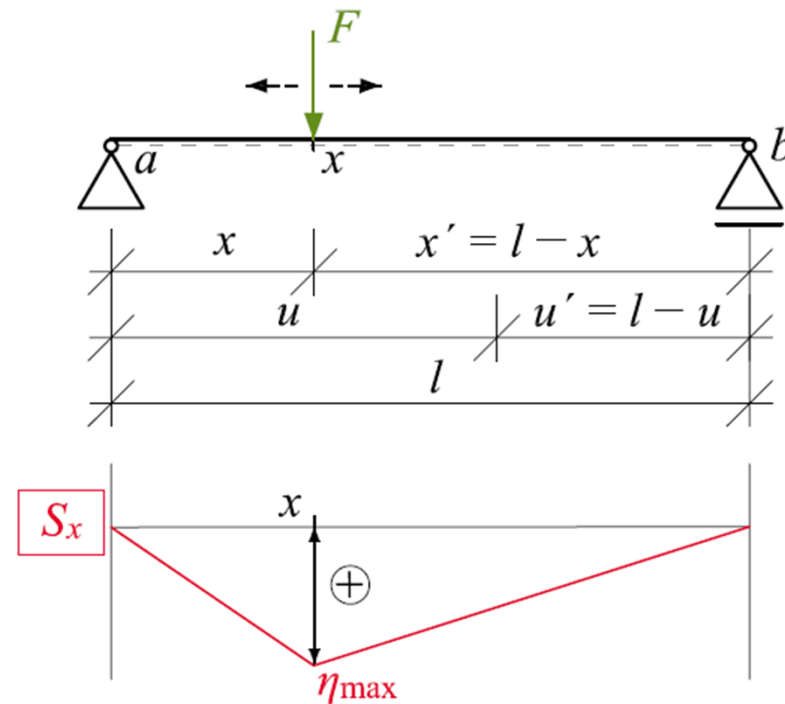
- $S_x = q \cdot \int_a^x \eta(u) du + q \cdot \int_x^b \eta(u) du = q \cdot (A_1 + A_2)$



extrémní hodnoty (maximální nebo minimální) statické veličiny  $S$  v průřezu  $x$  pomocí příčinkové čáry pro různé typy pohyblivých zatížení

## JEDNO POHYBLIVÉ BŘEMENO $F$

- $\max S_x = F \cdot \eta_{\max}$



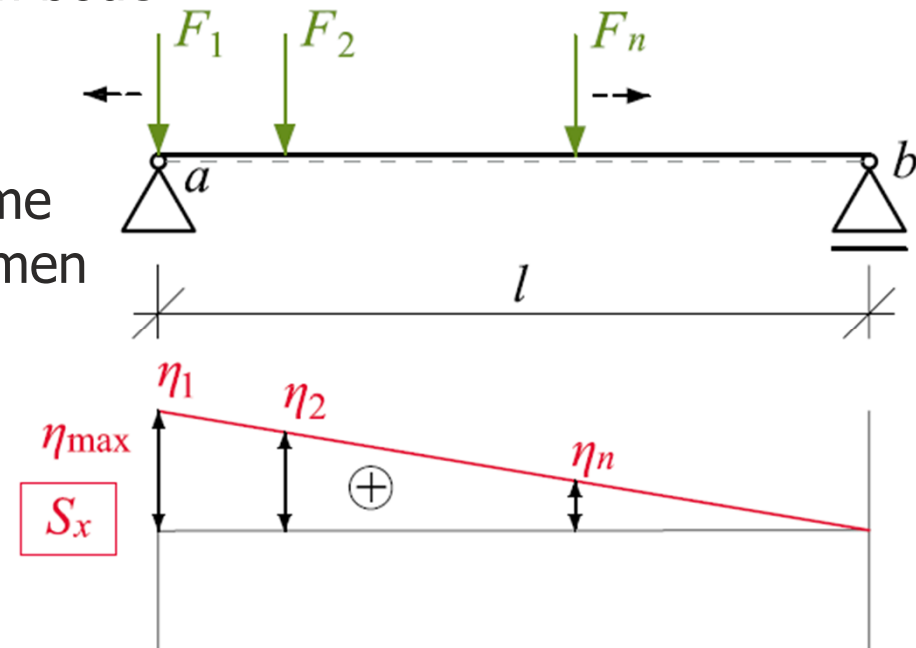
## SOUSTAVA BŘEMEN S PEVNÝMI VZDÁLENOSTMI

- $\max S_x = \sum_{i=1}^n F_i \cdot \eta_i$
- soustavu břemen umístíme na nosník tak, aby největší a nejbližší k sobě položená břemena působila v blízkosti největší pořadnice  $\eta_{\max}$  příčinkové čáry  $S_x$  a jedno z nich přímo v tom bodě

- u příčinkové čáry veličiny  $S$  v průřezu  $x$ , která má v místě extrémní pořadnice zlom stanovíme nejúčinnější polohu soustavy břemen pomocí **Winklerova kritéria**

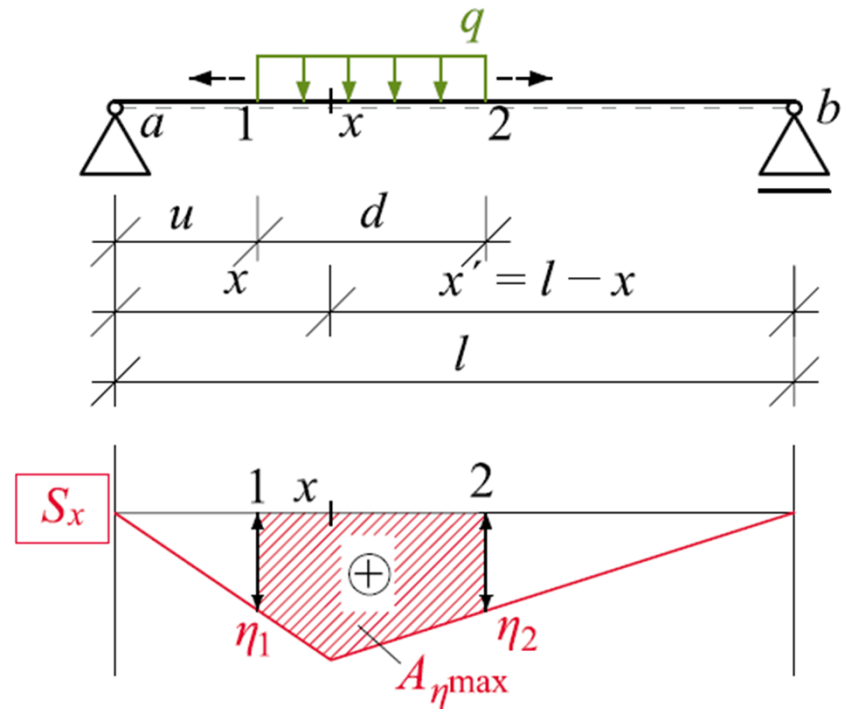
– do průřezu  $x$  umístíme tzv. kritické břemeno  $F_k$

$$\sum_{i=1}^{k-1} F_i < R \frac{x}{l} < \sum_{i=1}^k F_i$$



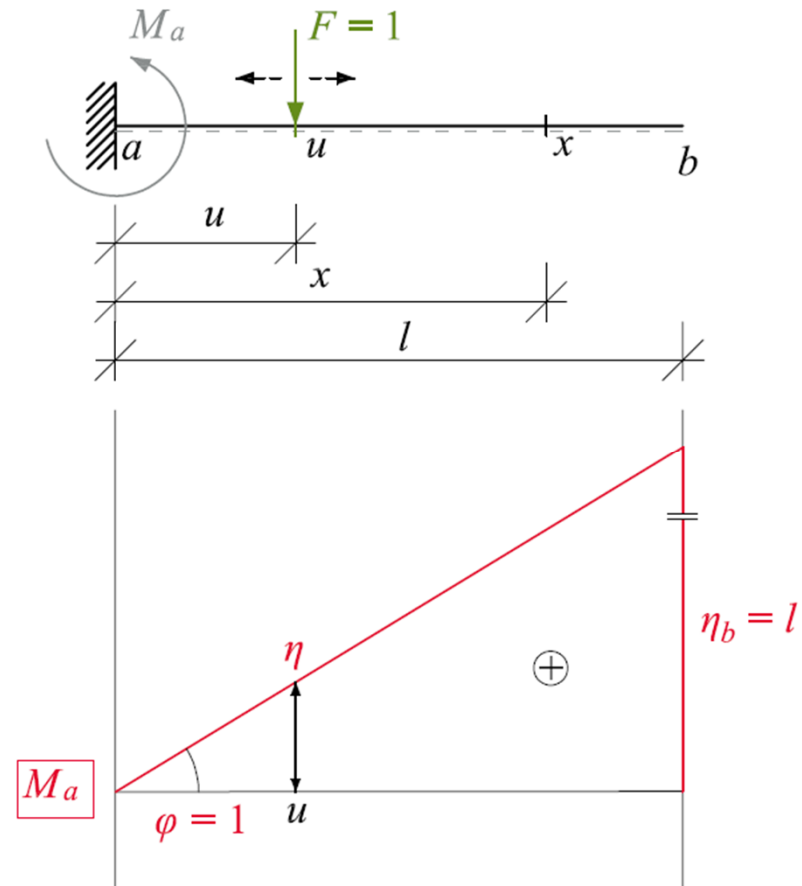
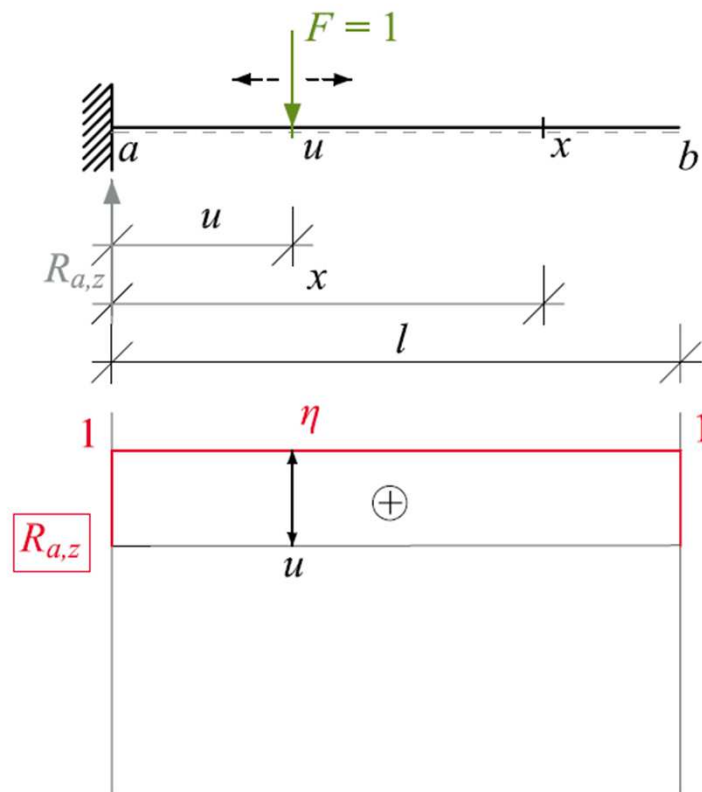
## ČÁSTEČNÉ ROVNOMĚRNÉ PŘÍČNÉ ZATÍŽENÍ $q$ NA DÉLCE $d$

- $\max S_x = q \cdot A_{\eta_{\max}}$
- $\eta_1 = \eta_2 \rightarrow A_{\eta_{\max}}$



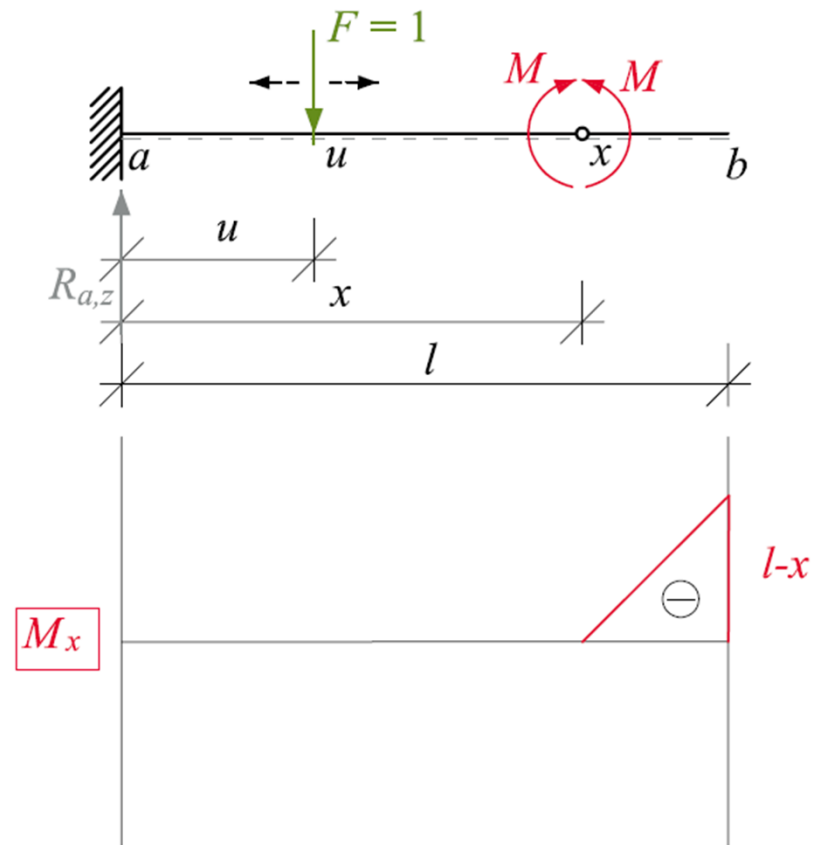
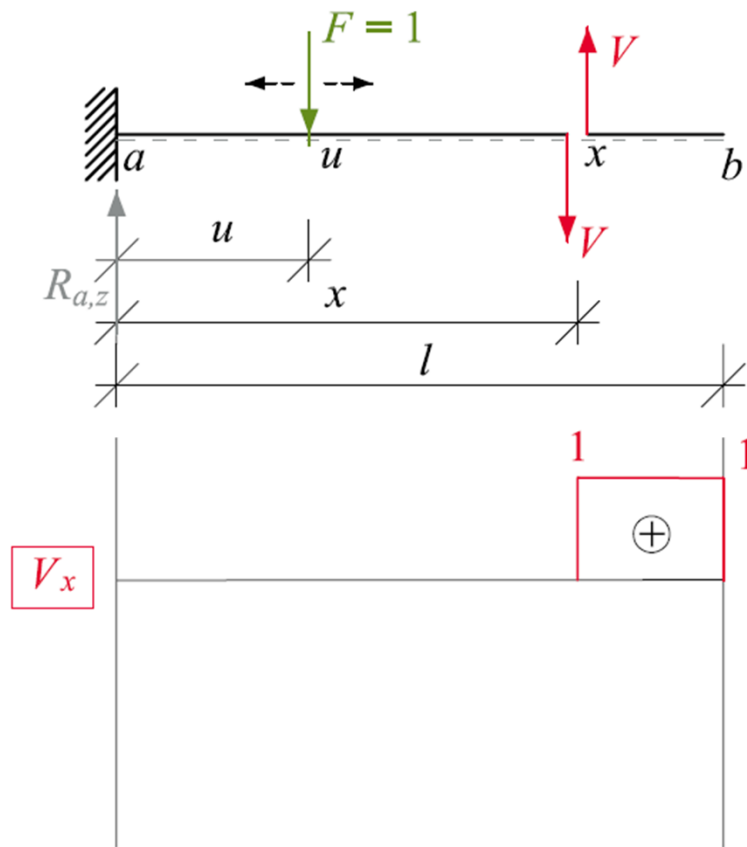
## PŘÍČINKOVÉ ČÁRY PRO SLOŽKY REAKCÍ

### KINEMATICKÁ METODA



## PŘÍČINKOVÉ ČÁRY PRO VNITŘNÍ SÍLY

### KINEMATICKÁ METODA



VYKRESLETE PŘÍČINKOVÉ ČÁRY A S JEJICH VUŽITÍM URČETE HODNOTY VYBRANÝCH STATICKÝCH VELIČIN:  $R_{b,z}$ ,  $M_{x_1}$  a  $V_{x_2}$

