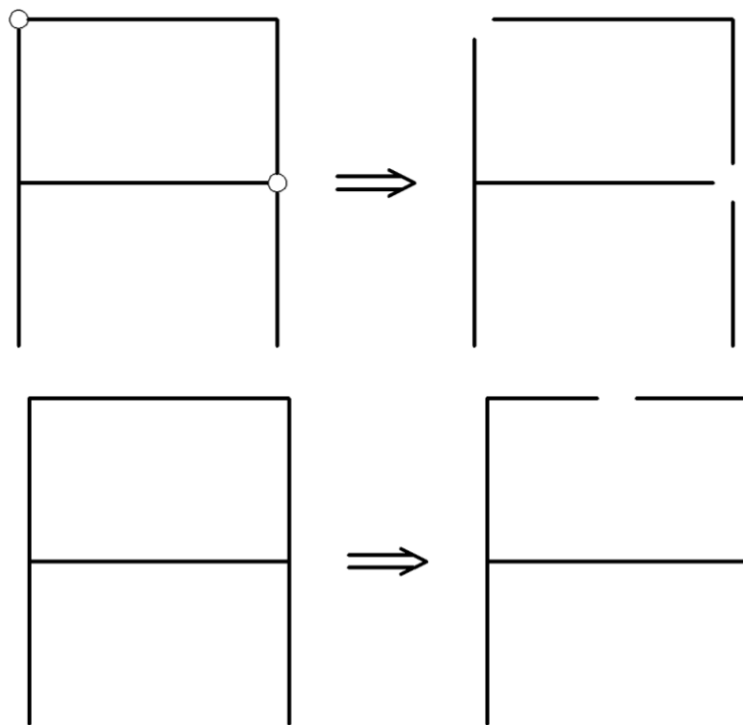




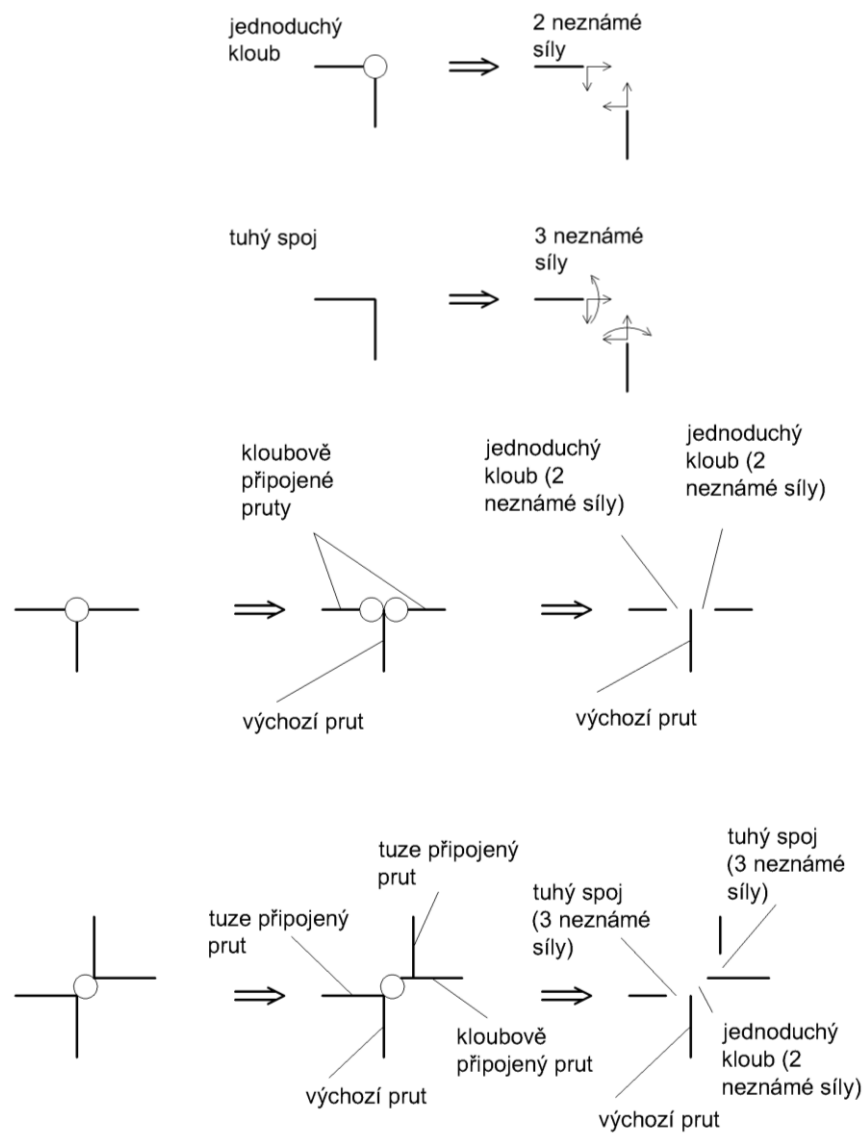
Obr.: rozdělení konstrukce na tuhé desky

Stupeň statické neurčitosti

Stupeň statické neurčitosti udává, kolik dalších podmínek je třeba přidat ke statickým podmínkám rovnováhy tak, aby bylo možné vyřešit všechny neznámé reakce a vnitřní síly na konstrukci. Při jeho určování je možné vyjít přímo z definice.

Postup:

a) konstrukce se rozdělí na tuhé desky – části, které neobsahují klouby ani uzavřené části



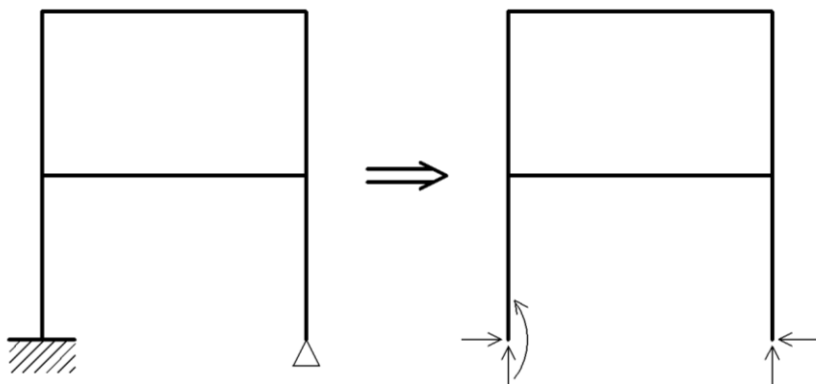
Obr.: Nahrazení vnitřních vazeb reakcemi

Stupeň statické neurčitosti

Postup:

a) konstrukce se rozdělí na tuhé desky – části, které neobsahují klouby ani uzavřené části

b) Odstraněné vnitřní vazby se nahradí nezávislými reakcemi vnitřních vazeb (při styku více jak dvou prutů se uvažuje jeden jako výchozí a ostatní jsou k němu připojeny tuhými nebo kloubovými vazbami, popř. k těmto prutům je připojen další prut)



Obr.: Nahrazení vnitřních vazeb reakcemi

Stupeň statické neurčitosti

Postup:

a) konstrukce se rozdělí na tuhé desky – části, které neobsahují klouby ani uzavřené části

b) Odstraněné vnitřní vazby se nahradí nezávislými reakcemi vnitřních vazeb (při styku více jak dvou prutů se uvažuje jeden jako výchozí a ostatní jsou k němu připojeny tuhými nebo kloubovými vazbami, popř. k těmto prutům je připojen další prut)

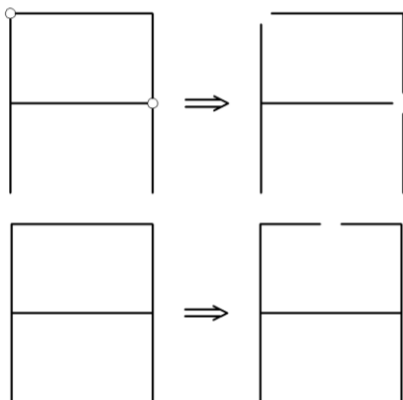
c) Odstraní se vnější vazby a nahradí neznámými reakcemi vnějších vazeb

d) Počet neznámých sil

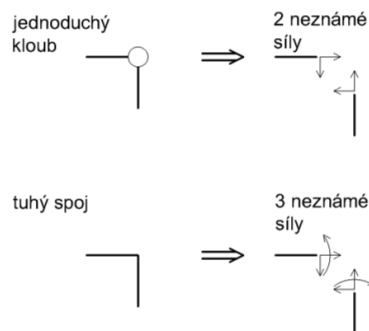
$$a = a_e + a_i$$

a_e ... počet neznámých vnějších vazeb

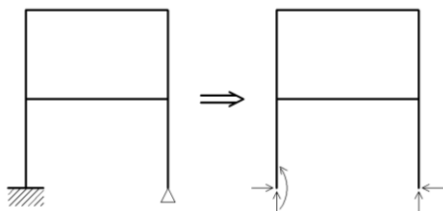
a_i ... počet neznámých vnitřních vazeb



Obr.: rozdělení konstrukce na tuhé desky



Obr.: Nahrazení vnitřních vazeb reakcemi



Obr.: Nahrazení vnitřních vazeb reakcemi

Stupeň statické neurčitosti

Postup:

a) konstrukce se rozdělí na tuhé desky – části, které neobsahují klouby ani uzavřené části

b) Odstraněné vnitřní vazby se nahradí nezávislými reakcemi vnitřních vazeb (při styku více jak dvou prutů se uvažuje jeden jako výchozí a ostatní jsou k němu připojeny tuhými nebo kloubovými vazbami, popř. k těmto prutům je připojen další prut)

c) Odstraní se vnější vazby a nahradí neznámými reakcemi vnějších vazeb

d) Počet neznámých sil

$$a = a_e + a_i$$

a_e ... počet neznámých vnějších vazeb

a_i ... počet neznámých vnitřních vazeb

e) počet podmínek rovnováhy, které jsou k dispozici

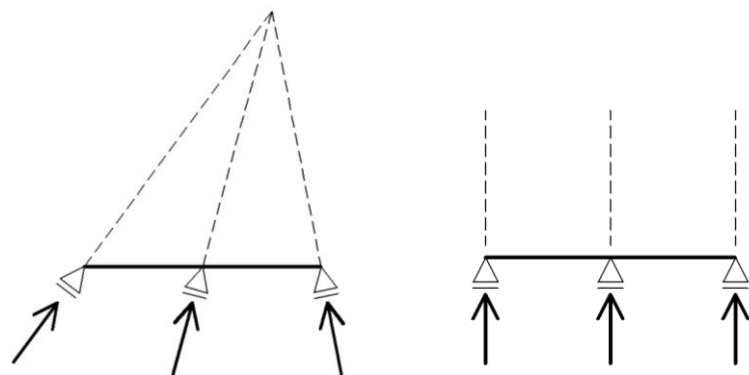
Pro každou tuhous desku je možno napsat 3 podmínky rovnováhy

$$v = 3 \cdot d$$

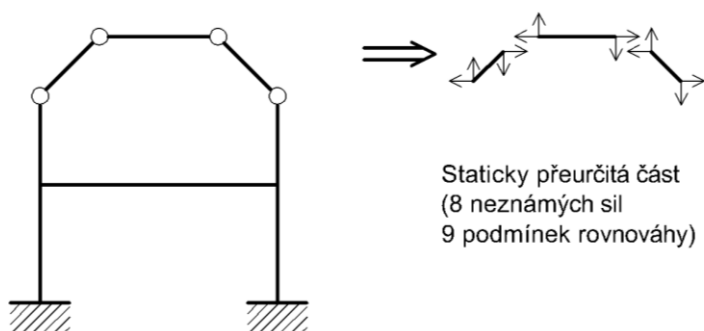
d ... počet tuhých desek vzniklých rozdělením konstrukce

f) stupeň statické neurčitosti

$$s = a - v$$



Obr.: výjimečné případy podepření



Statically přeurčitá část
(8 neznámých sil
9 podmínek rovnováhy)

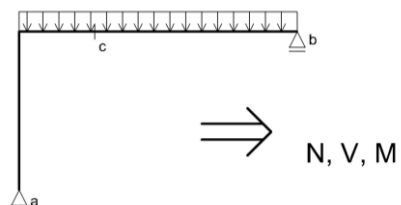
Obr.: Část konstrukce je polohově neurčitá

g) vyhodnocení

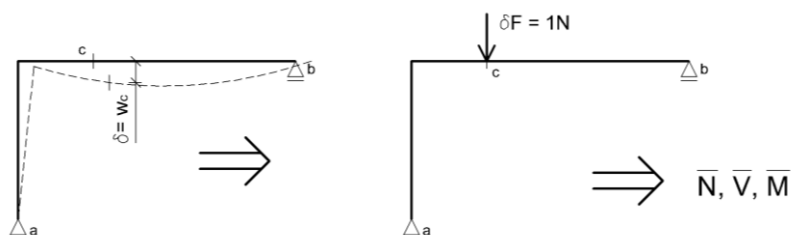
- $s = 0$ - konstrukce je staticky určitá – lze řešit neznámé reakce a vnitřní síly z podmínek rovnováhy na konstrukci nebo její části – konstrukce je dostatečně podepřena
- $s > 0$ - konstrukce je staticky neurčitá – nelze řešit neznámé reakce a vnitřní síly pouze z podmínek rovnováhy na konstrukci nebo její části, je třeba přidat další pomocné podmínky – konstrukce je dostatečně podepřena
- $s < 0$ - konstrukce je staticky přeurčitá (polohově neurčitá) – konstrukce je nedostatečně podepřena – nepřipustný stav

Pozn.: Může nastat případ, kdy dostatečný počet podpor, ale nevhodně rozmístěných způsobuje kolaps konstrukce

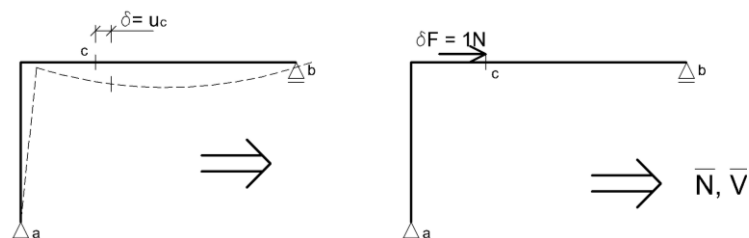
- výjimečné případy podepření - neznámé síly působící na tuhou desku představují rovinný svazek sil nebo soustavu rovnoběžných sil
- část konstrukce je nedostatečně podepřena – je staticky přeurčitá a tím polohově neurčitá (viz druhý obrázek: celkově konstrukce vychází 2x staticky neurčitá, ale její část vychází staticky přeurčitá)



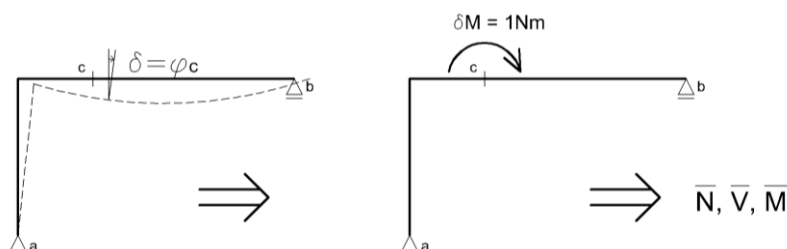
Obr.: Původní zatížení konstrukce



Obr.: Virtuální zatížení pro výpočet průhybu w_c



Obr.: Virtuální zatížení pro výpočet posunu u_c



Obr.: Virtuální zatížení pro výpočet potočení φ_c

Metoda jednotkových sil

Je určena pro výpočet přemístění (posun, pootočení) staticky určité konstrukce. Použije se Maxwell-Mohrův vzorec:

$$\delta = \int_L \frac{N\bar{N}}{EA} ds + \int_L \frac{V\bar{V}}{GA_x} ds + \int_L \frac{M\bar{M}}{EI} ds +$$

$$\int_L \bar{N}\alpha_t \Delta t_0 ds + \int_L \bar{M}\alpha_t \frac{\Delta t_1}{h} ds - \sum_r \bar{R}_x u - \sum_r \bar{R}_z w - \sum_r \bar{M}_r \varphi_r$$

E, G materiálové charakteristiky: modul pružnosti a modul pružnosti ve smyku

A, A_x, I průřezové charakteristiky: plocha průřezu, redukovaná smyková plocha, moment setrvačnosti k ose y

N, V, M vnitřní síly od skutečného zatížení nosníku

$\bar{N}, \bar{V}, \bar{M}$ vnitřní síly od fiktivního (jednotkového) zatížení nosníku

$\bar{R}_x, \bar{R}_z, \bar{M}_r$ reakce od fiktivního (jednotkového) zatížení nosníku – uvažuje se pouze v případě nenulových přemístění podpor

u_r, w_r, φ_r nenulová předepsaná přemístění podpor

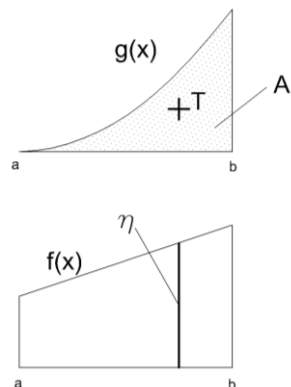
α_t součinitel teplotní roztažnosti

Δt_0 změna teploty v těžišti průřezu

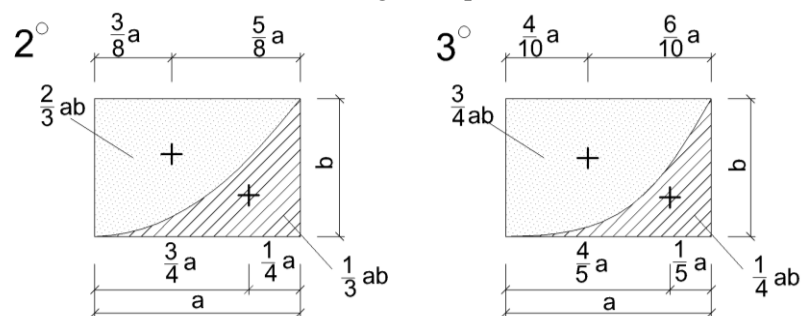
$$\Delta t_1 = \Delta t_d - \Delta t_h$$

.... rozdíl změn teplot na obou površích průřezu (Δt_d ... teplota na kladné straně osy z , Δt_h ... teplota na záporné straně osy z)

h výška průřezu



Obr.: Vereščaginovo pravidlo



Obr.: Plochy a polohy těžišť pro paraboly 2° a 3°
(směrnice tečny ve špičce musí být rovna nule)

Výpočet integrálů $\int_L \bar{N} N dx$, $\int_L \bar{V} V dx$ a $\int_L \bar{M} M dx$.

a) Přímá integrace

Průběhy vnitřních sil se vyjádří jako funkce x , funkce se vynásobí a provede integrace v příslušných mezích.

b) Vereščaginovo pravidlo

Toto pravidlo je možné použít pro součin dvou funkcí, z nichž alespoň jedna má nejvýše lineární průběh, což v případě řešených integrálů je vždy splněno.

Pravidlo říká, že integrál ze součinu funkcí daných dvěma obrázky je roven součinu plochy A jednoho obrazce a pořadnice η druhého (nejvýše lineárního) obrazce v místě těžiště prvního obrazce.

$$I = \int_a^b f(x)g(x)dx = \eta A$$

K těmto výpočtům je třeba znát plochy a polohy těžišť jednotlivých geometrických obrazců.

c) Použití tabulek

Využije se tabulka na následující straně.

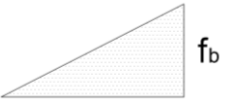
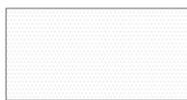
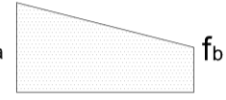
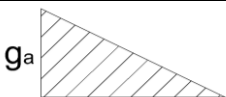
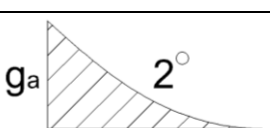
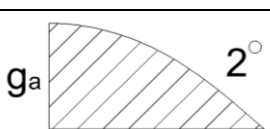
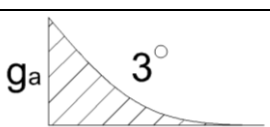
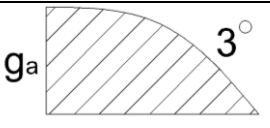
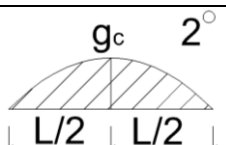
Poznámky k tabulce integrálů:

- Tabulku je možné použít pro určitý integrál $I = \int_a^b f(x)g(x)dx$ (mezi body a a b) ze součinu libovolných funkcí se stejným průběhem, jako mají funkce

$$f(x) \text{ a } g(x) - \text{např. pro řešení integrálů } \delta = \frac{1}{EA} \int_L \bar{N} N dx, \delta = \frac{1}{GA_{\kappa}} \int_L \bar{V} V dx \text{ nebo } \delta = \frac{1}{EI} \int_L \bar{M} M dx.$$

- L představuje délku úseku, ve kterém se integruje: $L = x_b - x_a$.
- Za f_a, f_b, g_a, g_b a g_c se dosazují hodnoty se správným znaménkem
- Dosazuje se v základních jednotkách
- U lichoběžníkového průběhu nehraje roli, která z krajních hodnot je větší a která je menší; dokonce lze na jedné straně dosadit kladnou a na druhé zápornou hodnotu
- Obrazce je možné zrcadlově obrátit (zaměnit a a b), je ale nutno provést tuto záměnu u obou funkcí zároveň
- U parabolických průběhů je vždy v jednom z bodů a, b, c tečna rovnoběžná s osou x

Tabulka integrálů $I = \int_a^b f(x)g(x)dx$

				
	$I = \frac{1}{3} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{6} f_b g_a L$	$I = \frac{1}{2} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{6} (2f_a + f_b) g_a L$
	$I = \frac{1}{6} f_a (2g_a + g_b) L$	$I = \frac{1}{6} f_b (g_a + 2g_b) L$	$I = \frac{1}{2} f_a (g_a + g_b) L$	$I = \frac{1}{6} [f_a (2g_a + g_b) + f_b (g_a + 2g_b)] L$
	$I = \frac{1}{4} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{12} f_b g_a L$	$I = \frac{1}{3} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{12} (3f_a + f_b) g_a L$
	$I = \frac{5}{12} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{4} f_b g_a L$	$I = \frac{2}{3} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{12} (5f_a + 3f_b) g_a L$
	$I = \frac{1}{5} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{20} f_b g_a L$	$I = \frac{1}{4} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{20} (4f_a + f_b) g_a L$
	$I = \frac{9}{20} f_a g_a L$	$I = \frac{6}{20} f_b g_a L$	$I = \frac{3}{4} f_a g_a L$	$I = \frac{1}{20} (9f_a + 6f_b) g_a L$
	$I = \frac{1}{3} f_a g_c L$	$I = \frac{1}{3} f_b g_c L$	$I = \frac{2}{3} f_a g_c L$	$I = \frac{1}{3} (f_a + f_b) g_c L$

POZN:

V případě, že funkce $f(x)$ a $g(x)$ nemají jednoduché průběhy (např. obsahují lineární a kvadratickou složku), je třeba tyto funkce rozdělit. Pak je třeba násobit všechny složky funkce $f(x)$ všemi složkami funkce $g(x)$.

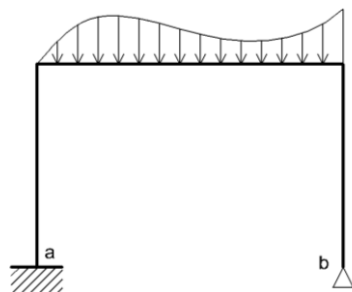
Pokud by se například obě funkce $f(x)$ a $g(x)$ dělili na dvě složky:

$$f(x) = f'(x) + f''(x) \qquad g(x) = g'(x)g''(x),$$

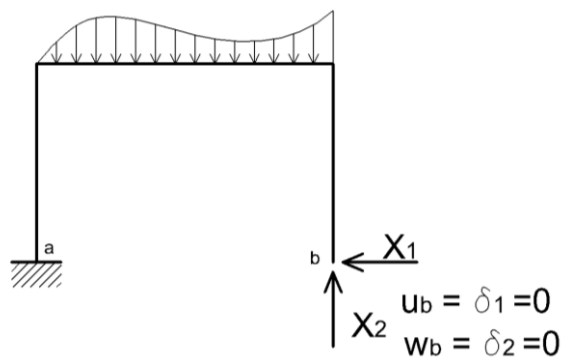
integrál by se rozdělil na čtyři části:

$$\begin{aligned} I &= \int_a^b f(x) \cdot g(x) dx = \int_a^b [f'(x) + f''(x)] \cdot [g'(x) + g''(x)] dx \\ &= \int_a^b f'(x) \cdot g'(x) dx + \int_a^b f'(x) \cdot g''(x) dx + \int_a^b f''(x) \cdot g'(x) dx + \int_a^b f''(x) \cdot g''(x) dx \end{aligned}$$

Tento postup je třeba použít ve složitějších případech *b)* a *c)*, ale je možné ho využít i v případě *a)*.



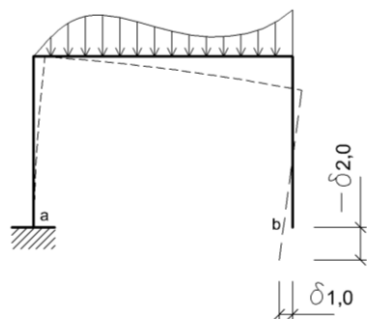
Obr.: Staticky neurčitá konstrukce



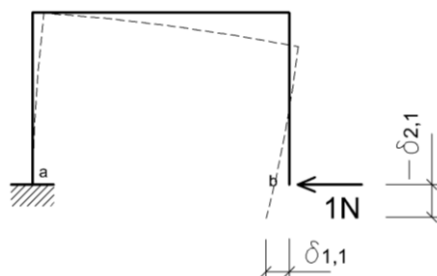
Obr.: Základní staticky určitá soustava včetně neznámých sil a geometrických podmínek

Silová metoda

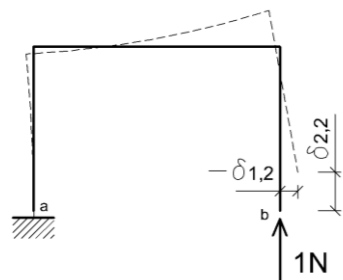
Silová metoda je určena pro výpočet reakcí a vnitřních sil na staticky neurčité konstrukci. První krok je určení stupně statické neurčitosti. Další krok je vytvoření základní staticky určité soustavy odebráním vazeb (vnitřních nebo vnějších). Počet odebraných vazeb odpovídá stupni statické neurčitosti konstrukce. Vazby se nahradí neznámou silou (reakcí) a přidá se geometrická podmínka, kterou vazba zajišťovala.



Obr.: Zatěžovací stav 0: Původní zatížení a odpovídající přemístění



Obr.: Zatěžovací stav 1: Jednotková síla v místě a směru první neznámé síly X_1 a odpovídající přemístění



Obr.: Zatěžovací stav 2: Jednotková síla v místě a směru první neznámé síly X_2 a odpovídající přemístění

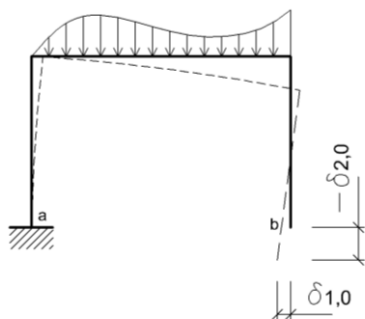
Silová metoda

Silová metoda je určena pro výpočet reakcí a vnitřních sil na staticky neurčité konstrukci. První krok je určení stupně statické neurčitosti s . Dalším krokem je vytvoření základní staticky určité soustavy odebráním vazeb (vnitřních nebo vnějších). Počet odebraných vazeb n odpovídá stupni statické neurčitosti konstrukce s . Vazby se nahradí neznámou silou (reakcí) X_i a přidá se geometrická podmínka, kterou vazba zajišťovala.

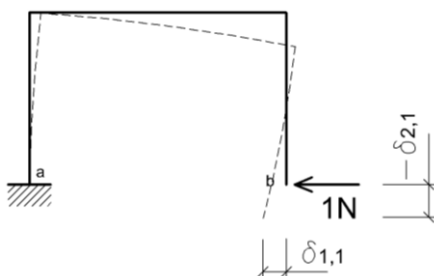
Zatížení základní staticky určité soustavy se rozdělí do zatěžovacích stavů

0. *zatěžovací stav* – původní zatížení konstrukce

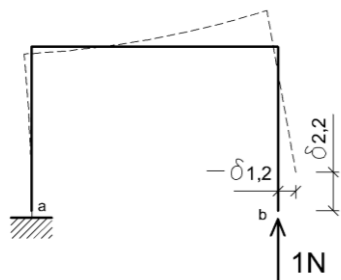
i . *zatěžovací stav* (i se mění od jedné do n) – jednotková síla (jednotkový moment) ve směru neznámé síly (momentu) X_i .



Obr.: Zatěžovací stav 0: Původní zatížení a odpovídající přemístění



Obr.: Zatěžovací stav 1: Jednotková síla v místě a směru první neznámé síly X_1 a odpovídající přemístění



Obr.: Zatěžovací stav 2: Jednotková síla v místě a směru první neznámé síly X_2 a odpovídající přemístění

Silová metoda

Obecný tvar deformační podmínky pak je

$$\delta_i = \delta_{i,0} + \sum_{j=1}^n X_j \delta_{i,j} = \bar{\delta}_i$$

kde

δ_i je celkové přemístění ve směru i -té neznámé síly

$\delta_{i,0}$ je přemístění ve směru i -té neznámé síly způsobené původním zatížením

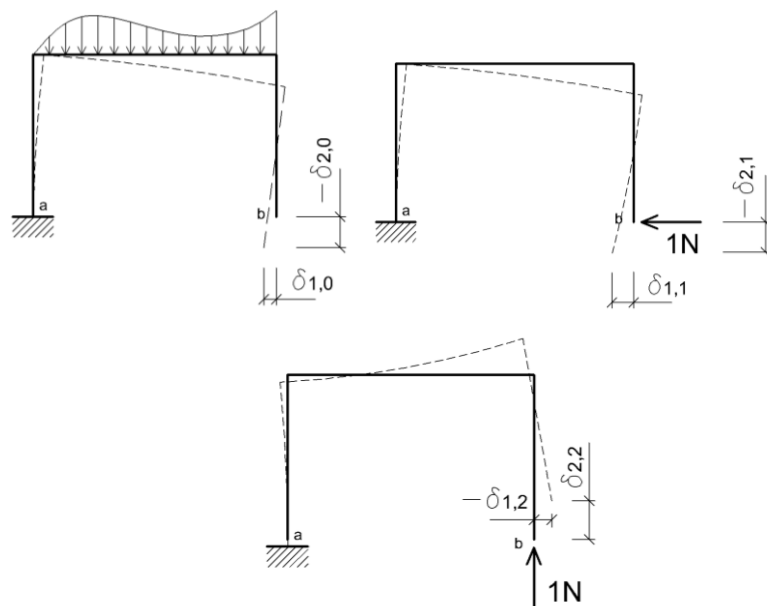
X_j je velikost j -té neznámé síly

$\delta_{i,j}$ je přemístění ve směru i -té neznámé síly způsobené jednotkovou silou ve směru j -té neznámé síly

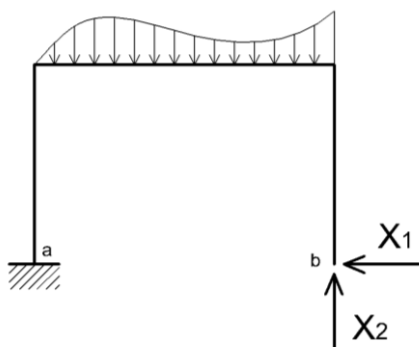
$\bar{\delta}_i$ je předepsané přemístění ve směru j -té neznámé (obvykle nulové)

i číslo deformační podmínky ve směru i -té neznámé síly

n je počet neznámých sil X_j , počet deformačních podmínek



Obr.: Zatěžovací stavy staticky určité soustavy (0., 1., a 2.) a odpovídající přemístění



Obr.: Zatížení staticky určité soustavy pro určení výsledných průběhů vnitřních sil pro staticky neurčitou konstrukci

Silová metoda

Neznámá přemístění se s výhodou určují metodou jednotkových sil. Je tedy třeba určit průběhy vnitřních sil od vlastního zatížení N_0 , V_0 , M_0 a od jednotkového impulsu v místě a směru hledaného přemístění N_i , V_i , M_i .

Maxwell-Mohrův vztah:

$$\delta = \int_L \frac{N\bar{N}}{EA} ds + \int_L \frac{V\bar{V}}{GA_x} ds + \int_L \frac{M\bar{M}}{EI} ds +$$

$$\int_L \bar{N}\alpha_t \Delta t_0 ds + \int_L \bar{M}\alpha_t \frac{\Delta t_1}{h} ds - \sum_r (\bar{R}_{rx} u_r + \bar{R}_{rz} w_r + \bar{M}_r \varphi_r)$$

nabude tvaru

$$\delta_{i,j} = + \int_L \frac{N_i N_j}{EA} ds + \int_L \frac{V_i V_j}{GA_x} ds + \int_L \frac{M_i M_j}{EI} ds$$

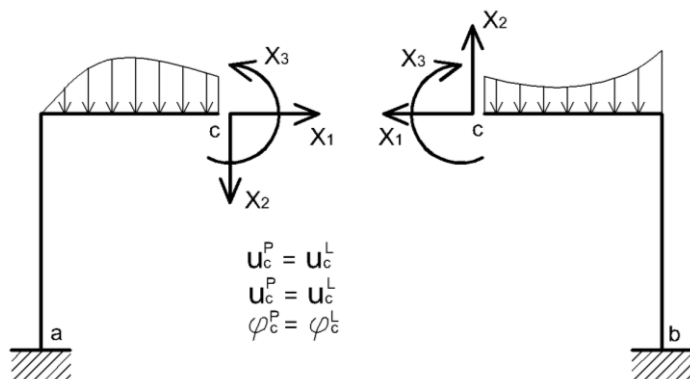
$$+ \int_L N_i \alpha_t \Delta t_0 ds + \int_L M_i \alpha_t \frac{\Delta t_1}{h} ds - \sum_r (R_{ix} u_r + \bar{R}_{iz} w_r + M_{ir} \varphi_r)$$

kde

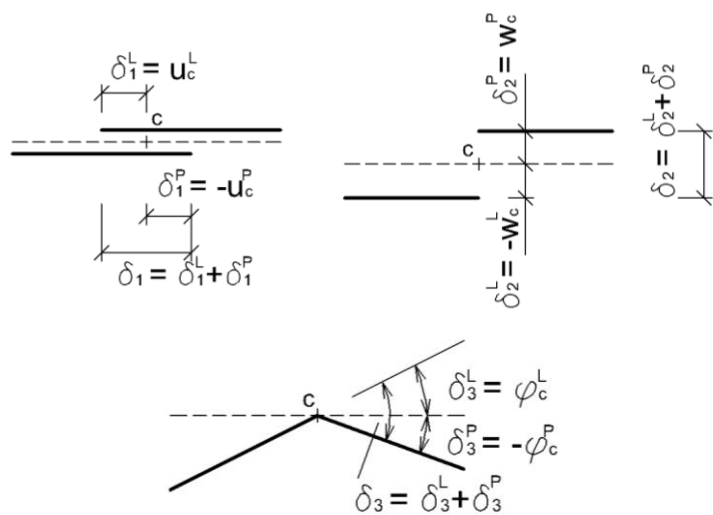
- i číslo ZS, který definuje místo a směr přemístění (přemístění má stejnou konvenci jako zatěžovací impuls), mění se od 1 do n ;
- j číslo ZS, který způsobuje přemístění, mění se od 0 do n .

(pozn.: Poklesy podpor se obvykle řeší v rámci deformační podmínky)

Řešením deformačních podmínek se získají neznámé síly X_i . Základní soustava se zatíží původním zatížením a nyní již známými silami X_i . Výsledné průběhy vnitřních sil na takto zatíženou základní soustavě pak odpovídají původní staticky neurčité soustavě.



Obr.: Základní soustava s neznámými silami



Obr.: konvence přemístění na koncích prutů

Silová metoda

Při vytváření základní staticky určité soustavy lze odebírat také vnitřní vazby. Neznámé síly představují reakce vnitřních vazeb a působí tedy na oba oddělené konce konstrukce – podobně jako vnitřní síly.

Deformační podmínky představují rovnost přemístění na levé a pravé části konstrukce v místě rozdělení konstrukce.

$$u_c^L = u_c^P$$

$$w_c^L = w_c^P$$

$$\varphi_c^L = \varphi_c^P$$

Přemístění se vyjádří běžným způsobem – metodou jednotkových sil. Jednotková síla se zavede do obou konců rozděleného prutu.

Vzhledem k opačnému působení reakcí vnitřních vazeb (a tedy i jednotkových sil definujících směr vypočteného přemístění) na oba konce prutů přemístění zleva a zprava bodu c můžeme vyjádřit

$$\delta_1^L = u_c^L \quad \dots \text{směřuje doprava}$$

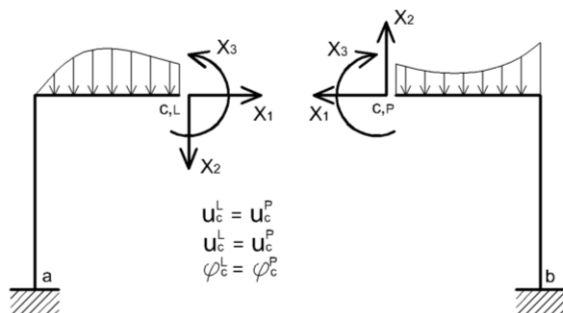
$$\delta_1^P = -u_c^P \quad \dots \text{směřuje doleva}$$

$$\delta_2^L = w_c^L \quad \dots \text{směřuje dolů}$$

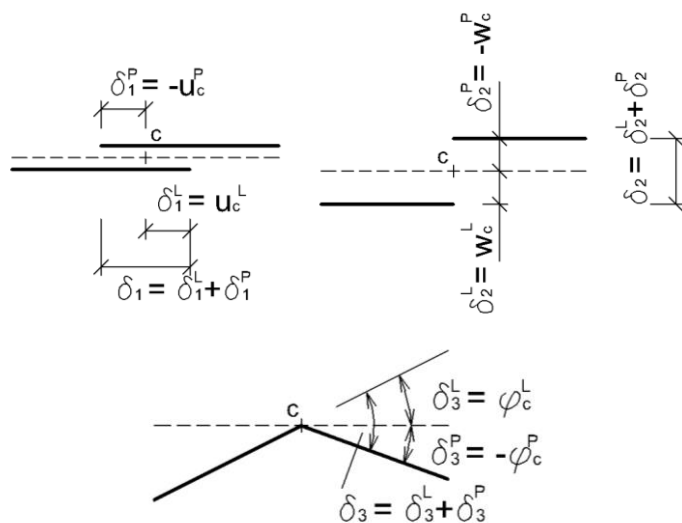
$$\delta_2^P = -w_c^P \quad \dots \text{směřuje nahoru}$$

$$\delta_3^L = \varphi_c^L \quad \dots \text{točí proti směru hodinových ručiček}$$

$$\delta_3^P = -\varphi_c^P \quad \dots \text{točí po směru hodinových ručiček}$$



Obr.: Základní soustava s neznámými silami



Obr.: konvence přemístění na koncích prutů

Po dosazení do původních geometrických podmínek se dostane

$$u_c^L - u_c^P = \delta_1^L + \delta_1^P = 0,$$

$$w_c^L - w_c^P = \delta_2^L + \delta_2^P = 0,$$

$$\varphi_c^L - \varphi_c^P = \delta_3^L + \delta_3^P = 0$$

nebo

$$\delta_1^L + \delta_1^P = \delta_1 = 0,$$

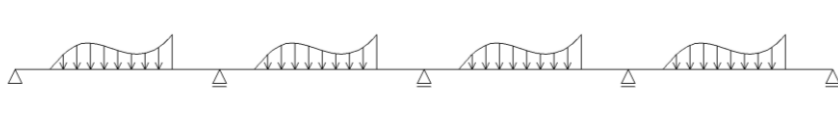
$$\delta_2^L + \delta_2^P = \delta_2 = 0,$$

$$\delta_3^L + \delta_3^P = \delta_3 = 0.$$

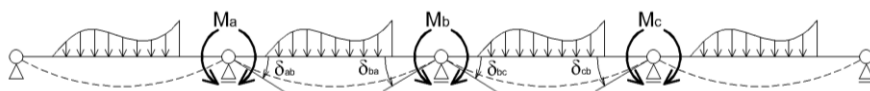
Vzhledem k tomu, že se přemístění δ z levého a pravého konce sčítají, je možné počítat je zároveň na obou částech konstrukce společně a také použít obecný tvar deformační podmínky:

$$\delta_i = \delta_{i,0} + \sum_{j=1}^n X_j \delta_{i,j} = \bar{\delta}_i.$$

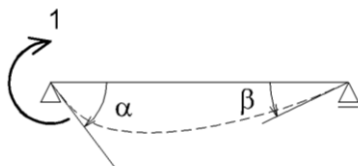
Výpočet se neliší od způsobu popsaného v předchozím textu.



Obr.: Spojitý nosník



Obr.: Základní staticky určitá soustava s neznámými nadpodporovými momenty a odpovídajícími pootočeními



Obr.: Pootočení konců prutů vlivem přilehlého a protilehlého nadpodporového jednotkového momentu

Řešení pojítených nosníků silovou metodou – třímomentová rovnice

Při řešení spojitých nosníků se základní soustava s výhodou vytváří odebráním vazeb proti vzájemnému pootočení konců prutů nad podporami. Neznámými silami jsou pak nadpodporové momenty. Pro dané pole je v jeho nadpodporových momentech shrnut účinek všech ostatních polí. Základní podmínka vyjadřuje, že vzájemné pootočení konců sousedních prutů nad podporou je rovno nule. Pro podporu b vypadá následovně:

$$\delta_{ba} + \delta_{bc} = \delta_b = 0.$$

V případě řešení spojitého nosníku se pracuje pouze s nadpodporovými pootočeními, pro něž zavedeme konvenci odpovídající působení neznámých nadpodporových momentů – pootočení na začátku a konci nosníku tedy bude mít rozdílné směry otáčení. Pootočení u levé podpory je v tomto odvození uvažováno kladné po směru hodinových ručiček a u pravé podpory kladné proti směru hodinových ručiček.

První index u označení pootočení představuje jeho pozici, druhý index definuje prut.

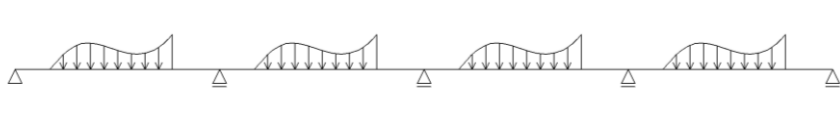
Tato pootočení jsou způsobena vlivem přilehlého nadpodporového momentu, protilehlého nadpodporového momentu a zatížení daného pole.

$$\delta_{ba} = \varphi_{ba, Ma} + \varphi_{ba, Mb} + \varphi_{ba, 0}$$

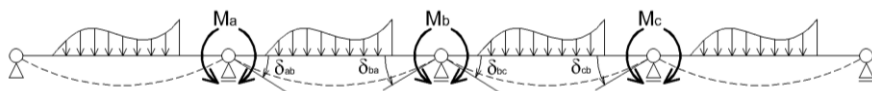
$$\delta_{bc} = \varphi_{bc, Mb} + \varphi_{bc, Mc} + \varphi_{bc, 0}$$

V případě vetknutí, například v bodě a , se v rovnici uvažuje pouze natočení na jedné straně podpory.

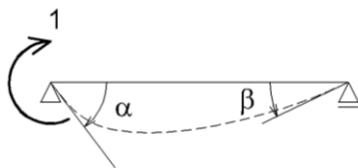
$$\delta_a = \delta_{ab} = \varphi_{ab, Ma} + \varphi_{ab, Mb} + \varphi_{ab, 0} = 0$$



Obr.: Spojitý nosník



Obr.: Základní staticky určitá soustava s neznámými nadpodporovými momenty a odpovídajícími pootočeními



Obr.: Pootočení konců prutů vlivem přílehlého a protilehlého nadpodporového jednotkového momentu

Vliv nadpodporových momentů na pootočení podpor lze vyjádřit pomocí pootočení od jednotkových přílehlých a protilehlých momentů.

Pootočení v podpoře přílehlé působícímu momentu se označí α .

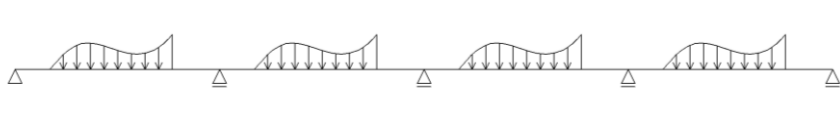
$$\alpha = \frac{L}{3EI}$$

Pootočení v podpoře přílehlé působícímu momentu se označí β .

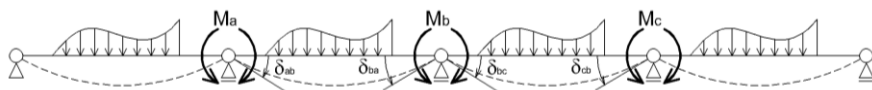
$$\beta = \frac{L}{6EI}$$

Základní podmínku lze přepsat do tvaru

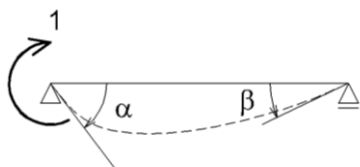
$$M_a \beta_{ab} + M_b (\alpha_{ab} + \alpha_{bc}) + M_c \beta_{bc} + \varphi_{ba,0} + \varphi_{bc,0} = 0.$$



Obr.: Spojitý nosník



Obr.: Základní staticky určitá soustava s neznámými nadpodporovými momenty a odpovídajícími pootočeními



Obr.: Pootočení konců prutů vlivem přilehlého a protilehlého nadpodporového jednotkového momentu

Pootočení od zatížení pole se vyjádří pomocí pootočení od silového zatížení, poklesu podpory a teplotního zatížení

$$\varphi_{ba,0} = \varphi_{ba} + \frac{w_a - w_b}{L_{ab}} + \frac{\alpha_T}{2} \frac{L_{ab}}{h_{ab}} \Delta t_{ab}$$

$$\varphi_{bc,0} = \varphi_{bc} + \frac{w_c - w_b}{L_{bc}} + \frac{\alpha_T}{2} \frac{L_{bc}}{h_{bc}} \Delta t_{bc}$$

φ ... pootočení od silového zatížení

w_i ... pokles i-té podpory

α_T ... součinitel teplotní roztažnosti materiálu

$$\Delta t = \Delta t_d - \Delta t_h$$

... rozdíl změny teploty na dolním a horním povrchu prutu

h ... výška průřezu

Výsledná podmínka pro podporu b je následující:

$$M_a \frac{L_{ab}}{6EI_{ab}} + M_b \left(\frac{L_{ab}}{3EI_{ab}} + \frac{L_{bc}}{3EI_{bc}} \right) + M_c \frac{L_{bc}}{6EI_{bc}} + \varphi_{ba} + \varphi_{bc} + \frac{w_a - w_b}{L_{ab}} + \frac{w_c - w_b}{L_{bc}} + \frac{\alpha_T}{2} \left(\frac{L_{ab}}{h_{ab}} \Delta t_{ab} + \frac{L_{bc}}{h_{bc}} \Delta t_{bc} \right) = 0$$

Rovnice pro následující podporu se získá záměnou indexů

$$a \rightarrow b, \quad b \rightarrow c, \quad c \rightarrow d.$$