

P - 5 - Předpjatý beton

Vliv objemových změn na působení betonových konstrukcí – část 2

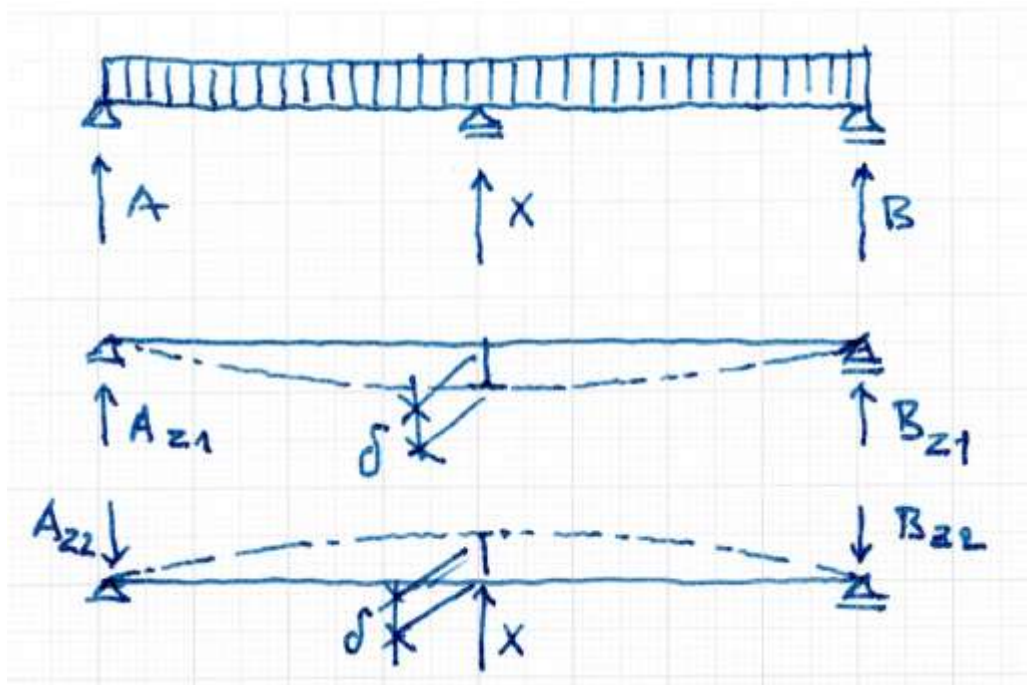
Výpočet vlivu objemových změn na působení betonových konstrukcí

- Principy výpočtu
- Zjednodušené metody
 - Silová metoda
 - Relaxační metoda
- Numerické postupy

Princip výpočtu

Pružná staticky neurčitá konstrukce

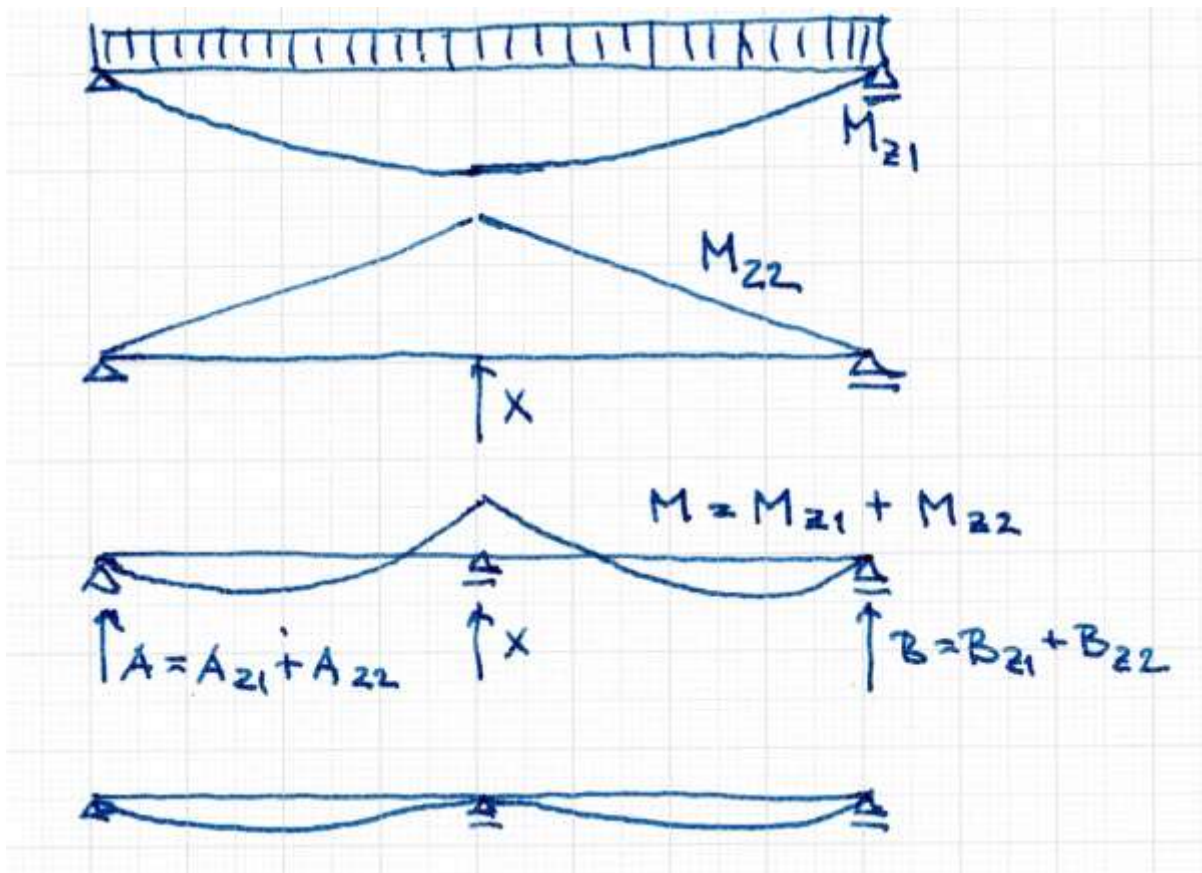
- Staticky určité podepření + redundantní reakce
- Neznámé jsou redundantní reakce
- Podmínky rovnováhy + přetvárné podmínky



Princip výpočtu

Pružná staticky neurčitá konstrukce

Neznámá reakce X je v čase konstantní



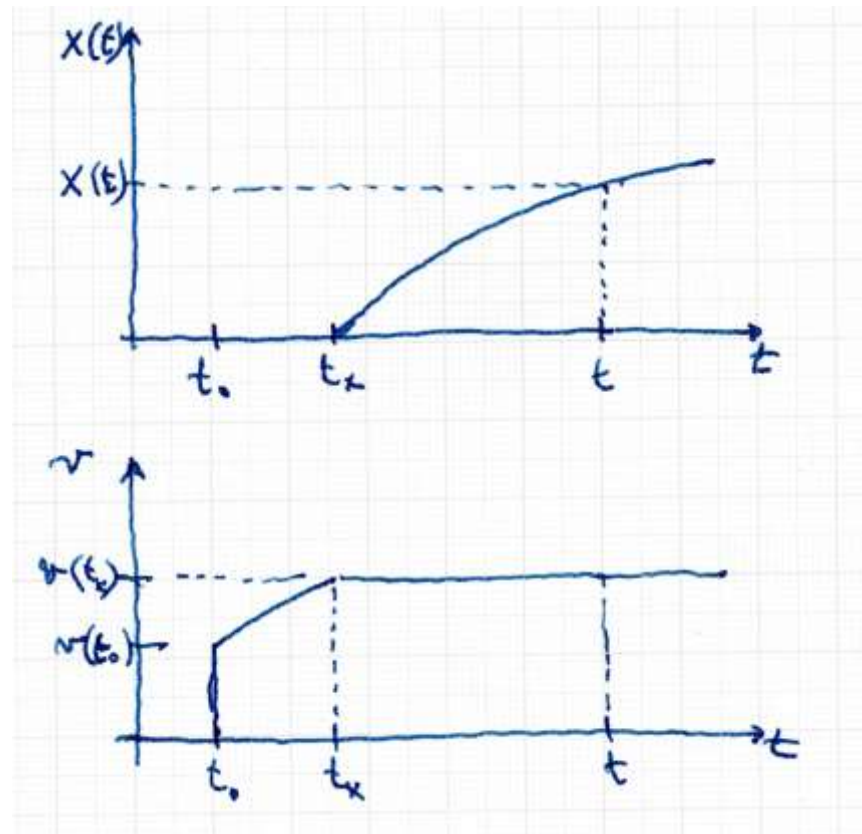
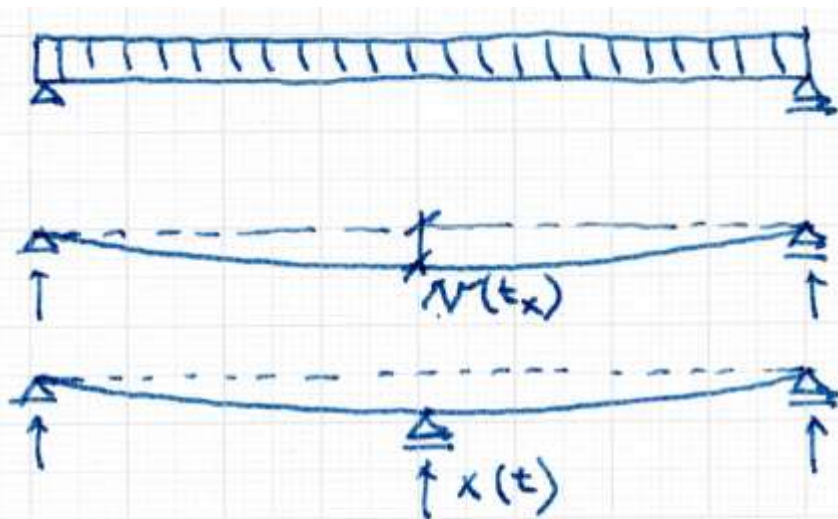
Vnitřní síly jsou v čase neměnné,
Průhyby jsou v čase neměnné

Neznámá reakce X se určí ze soustavy lineárních rovnic

Princip výpočtu

Statically neurčitá konstrukce s objemovými změnami

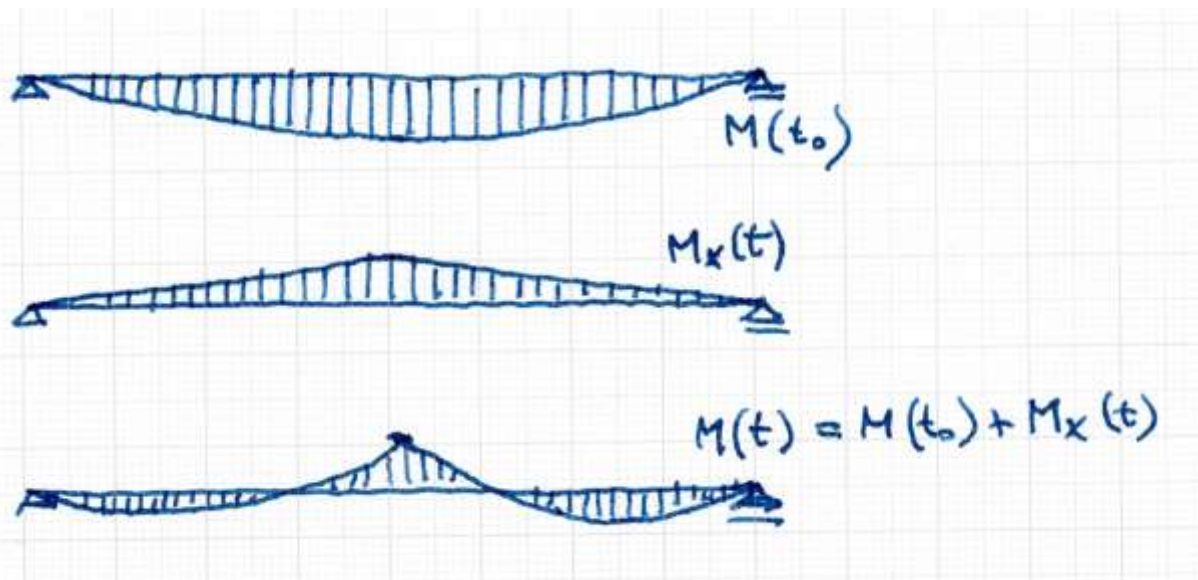
Neznámá reakce X je v čase proměnná



Princip výpočtu

Statically neurčitá konstrukce s objemovými změnami

Neznámá reakce X je funkce času (v čase proměnná)



Vnitřní síly jsou v čase proměnné, Průhyby se v čase mění

Neznámá funkce $X(t)$ lze určit soustavou lineárních diferenciálních rovnic

Princip výpočtu

Statically neurčitá konstrukce s objemovými změnami

Podmínky pro soustavu diferenciálních rovnic (přetvárné podmínky)

Přírůstek přetvoření (průhybu) v čase je roven nule (příklad
dodatečné podpory) nebo

Přírůstek přetvoření na jedné části konstrukce je roven přírůstku
přetvoření na jiné části konstrukce

Diferenciální rovnice lze řešit v uzavřené formě jen výjimečně. Např.
je-li součinitel dotvarování ve formě dle teorie stárnutí

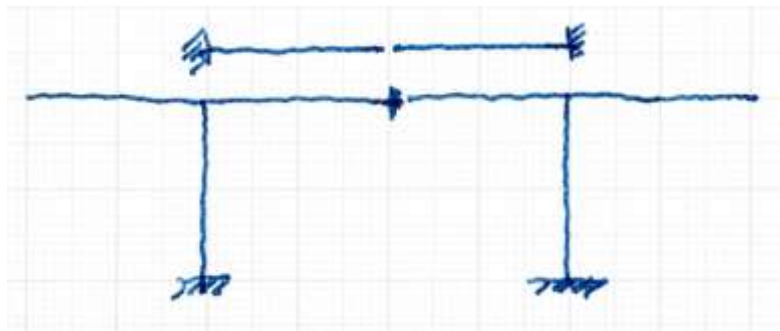
$$\varphi(t, t_0) = \varphi_s(t) - \varphi_s(t_0) \text{ (rozdíl funkcí jedné proměnné)}$$

Teorie stárnutí nevystihuje správně chování betonu, dnes se
nepoužívá.

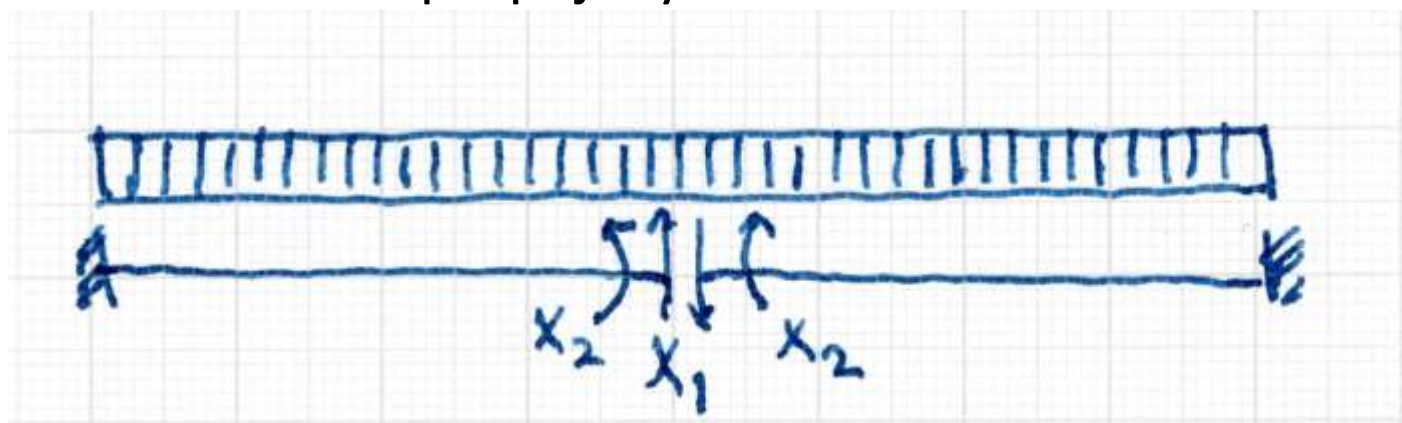
Řešení diferenciálních rovnic se nahrazuje numerickými postupy

Zjednodušené metody

Silová metoda pro konstrukce s objemovými změnami



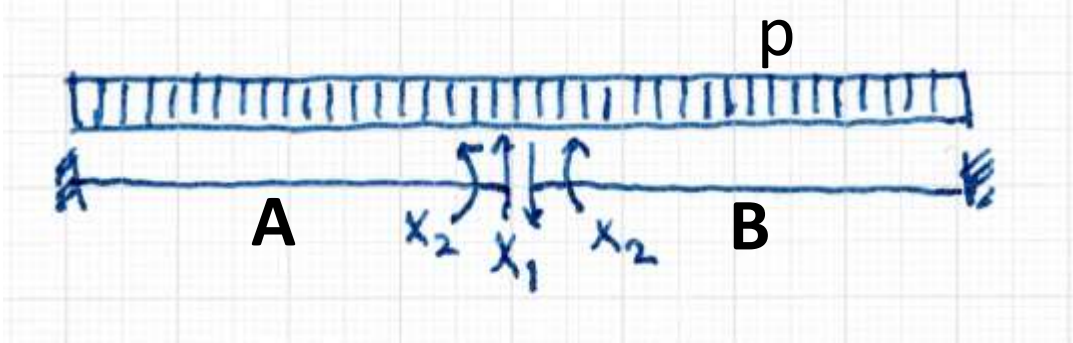
Příklad dvou konzol propojených do vetknutého nosníku



Pevné propojení – vzniká posouvající síla ($X_1(t)$) a ohybový moment ($X_2(t)$). Obě veličiny jsou funkcí času !

Silová metoda

Silová metoda pro konstrukce s objemovými změnami



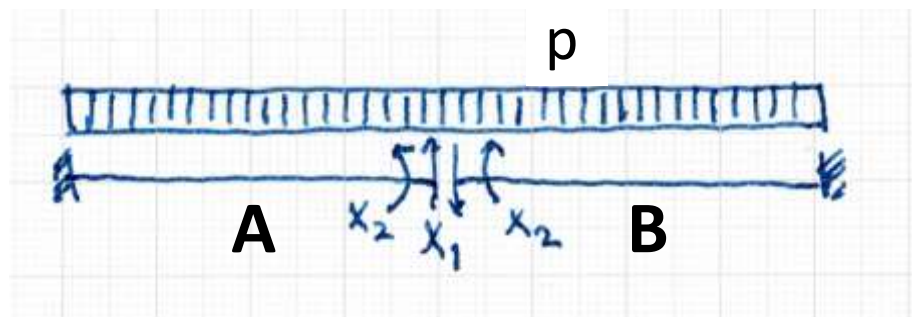
Čas t_{0A} stáří betonu kdy byla konzola A zatížena zatížením p

Čas t_{xA} stáří betonu konzoly A, kdy došlo k propojení

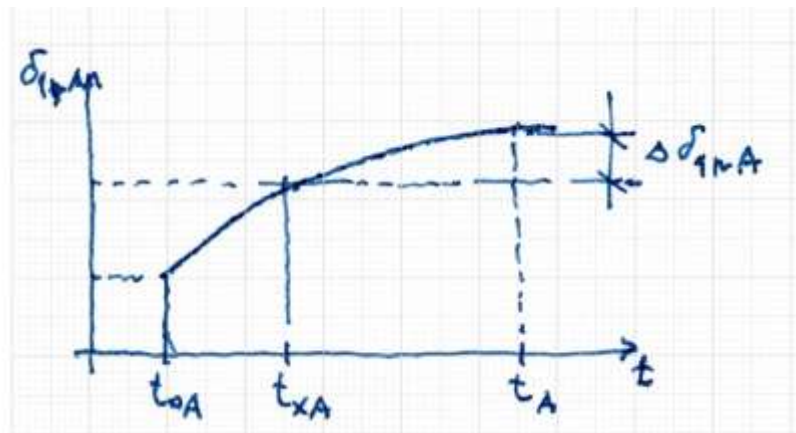
Čas t_A stáří betonu konzoly A, kdy počítáme vnitřní síly (průhyby)

Pro konzolu B platí podobně časy t_{0B} , t_{xB} a t_B Pro stejný okamžik časy pro konzolu A a B nemusí být stejné, vyjadřují stáří betonu!

Silová metoda



Základní staticky určitá soustava

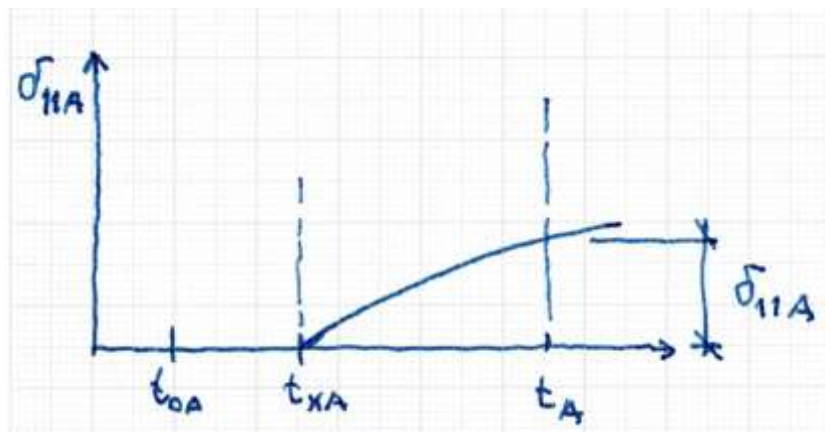
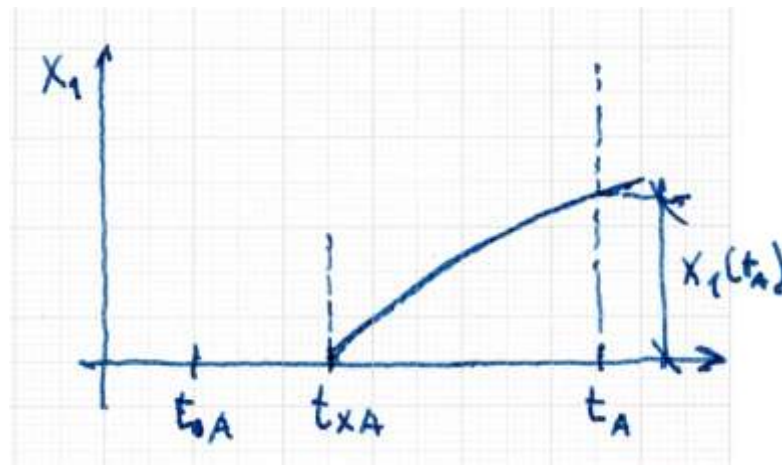
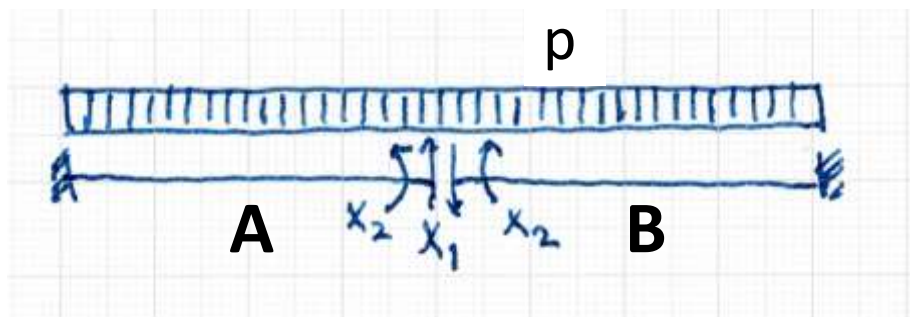


$$\delta(t_{xA}) = \delta_{1pA}[1 + \varphi(t_{xA}, t_{0A})]$$

$$\delta(t_A) = \delta_{1pA}[1 + \varphi(t_A, t_{0A})]$$

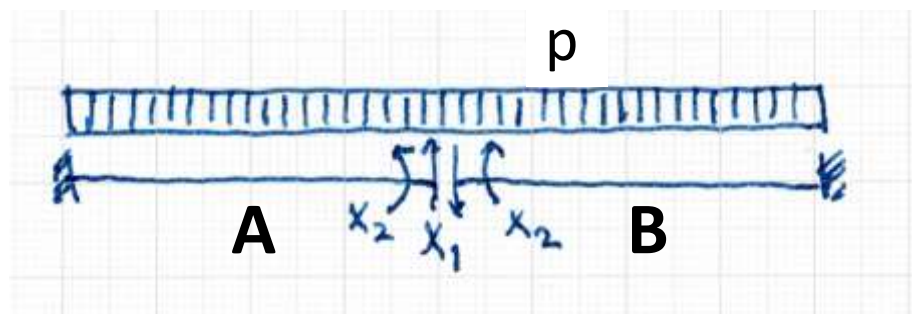
$$\Delta\delta_{1pA} = \delta_{1pA}[\varphi(t_A, t_{0A}) - \varphi(t_{xA}, t_{0A})]$$

Silová metoda



$$\delta_{11A}(t_A) = \delta_{11A}[1 + \chi \varphi(t_A, t_{xA})]$$

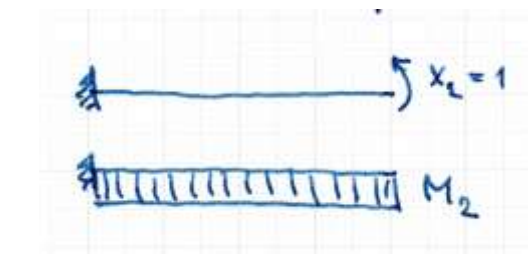
Silová metoda



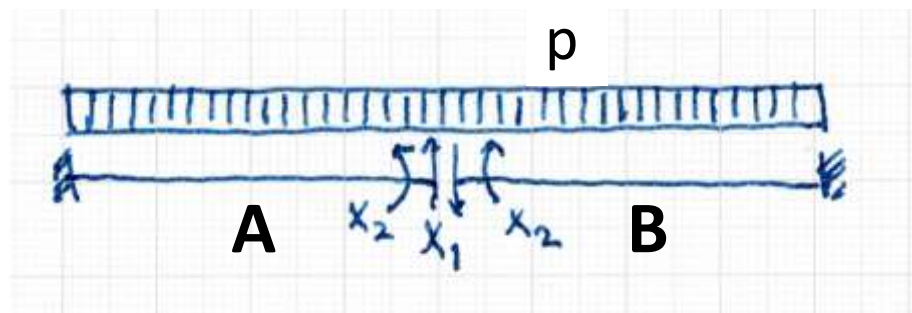
$$\delta_{11A} = \int_0^{l/2} \frac{M_1^2}{EI} [1 + \chi\varphi(t_A, t_{xA})] dx$$

$$\delta_{22A} = \int_0^{l/2} \frac{M_2^2}{EI} [1 + \chi\varphi(t_A, t_{xA})] dx$$

$$\delta_{12A} = \int_0^{l/2} \frac{M_1 M_2}{EI} [1 + \chi\varphi(t_A, t_{xA})] dx = \delta_{21A}$$

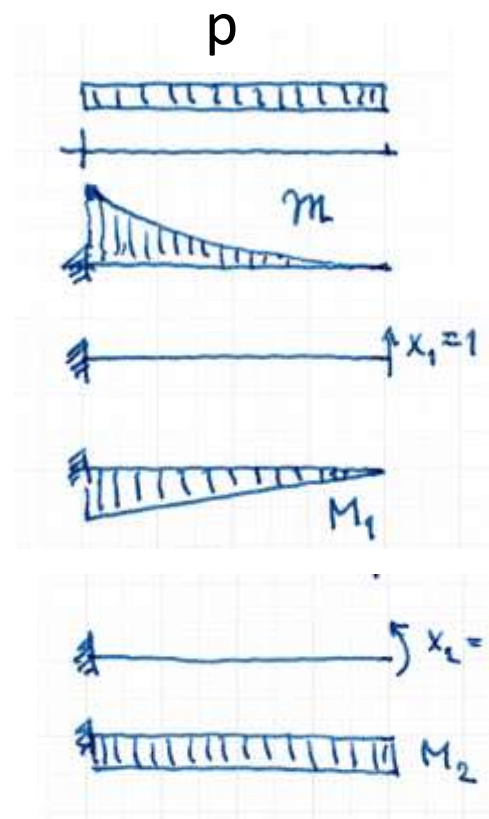


Silová metoda

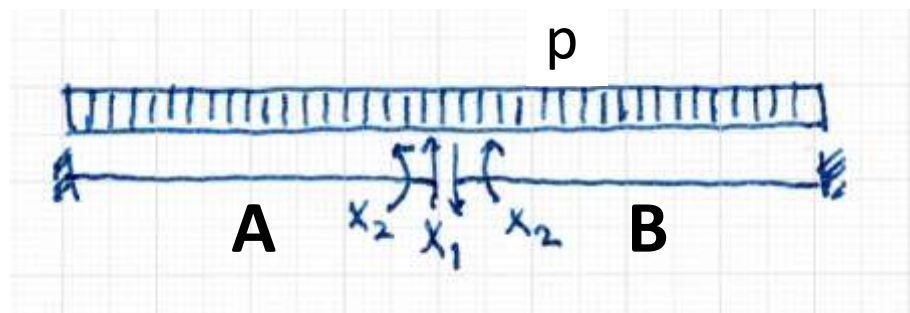


$$\Delta\delta_{1pA} = \int_0^{l/2} \frac{M_1 m}{EI} [\varphi(t_A, t_{0A}) - \varphi(t_{xA}, t_{0A})] dx$$

$$\Delta\delta_{2pA} = \int_0^{l/2} \frac{M_2 m}{EI} [\varphi(t_A, t_{0A}) - \varphi(t_{xA}, t_{0A})] dx$$



Silová metoda



$$\begin{Bmatrix} \Delta \delta_{1A} \\ \Delta \delta_{2A} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11A} & \delta_{12A} \\ \delta_{21A} & \delta_{22A} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \Delta \delta_{1pA} \\ \Delta \delta_{2pA} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \Delta \delta_{1B} \\ \Delta \delta_{2B} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11B} & \delta_{12B} \\ \delta_{21B} & \delta_{22B} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \Delta \delta_{1pB} \\ \Delta \delta_{2pB} \end{Bmatrix}$$

$$\Delta \delta_{1A} = \Delta \delta_{1B} \Rightarrow X_1 =$$

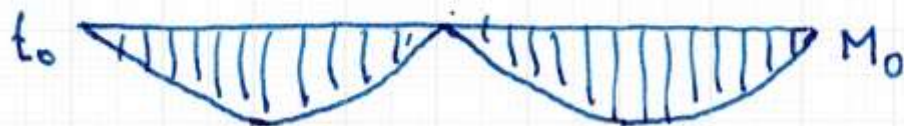
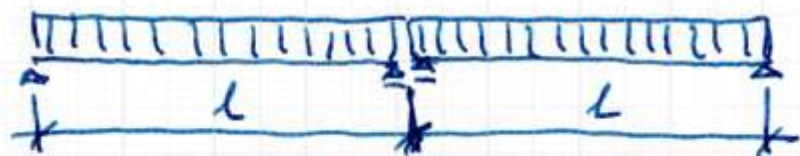
$$\Delta \delta_{2A} = \Delta \delta_{2B} \Rightarrow X_2 =$$

Vnitřní síly $X_1(t)$ – posouvající síla a $X_2(t)$ – ohybový moment jsou vypočteny v jednom čase t

Byla použita metoda efektivního modulu pružnosti

Relaxační metoda

Příklad : dva prosté nosníky se spojí a vytvoří se spojitý nosník.



Čas t_0 stáří betonu, kdy byly prosté nosníky zatíženy

Čas t_x stáří betonu, kdy došlo ke spojení

Čas t stáří betonu, kdy se počítají vnitřní síly

(Pokud jsou nosníky různě staré, opět různá stáří betonu na jednotlivých nosnících)

První krok řešení

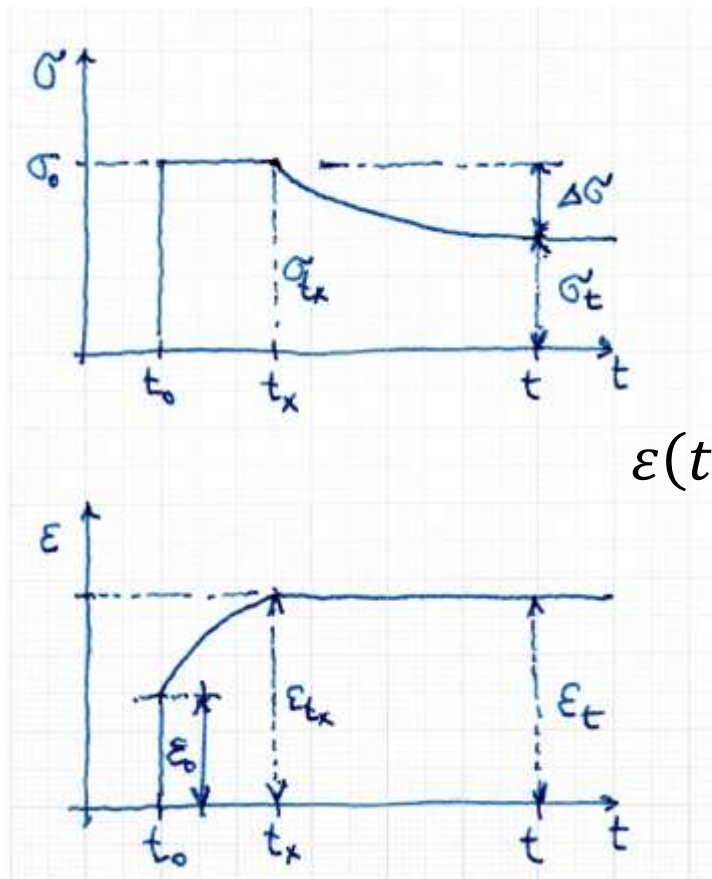
$$M_1 = r \cdot M_0$$

$$q_2 = \frac{d^2(M_0 - M_1)}{dx^2}$$

Relaxační metoda

Relaxace betonu

$$\sigma_t = r \sigma_0 \quad r - \text{relaxační koeficient}$$



$$\varepsilon(t_x) = \frac{\sigma_0}{E} [1 + \varphi(t_x, t_0)]$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} [1 + \varphi(t, t_0)] - \frac{\Delta\sigma}{E} [1 + \chi\varphi(t, t_x)]$$

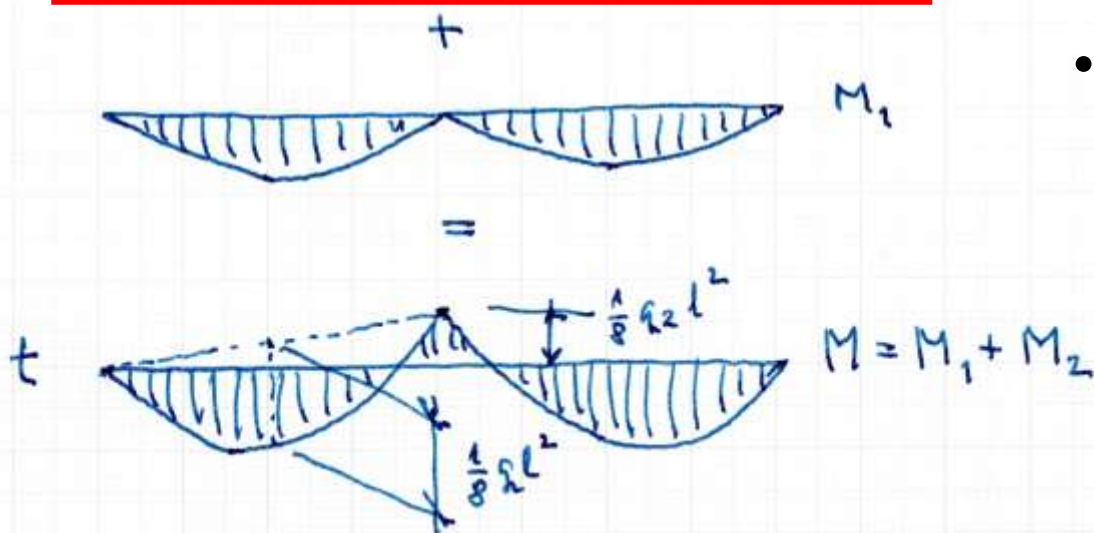
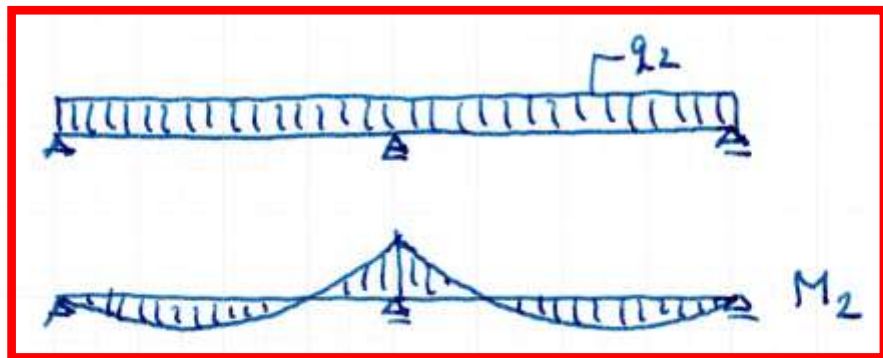
$$\varepsilon(t_x) = \varepsilon(t)$$

$$\Delta\sigma = \frac{\varphi(t, t_0) - \varphi(t_x, t_0)}{1 + \chi\varphi(t, t_x)}$$

$$r = \frac{\sigma_t}{\sigma_0} = \frac{\sigma_0 - \Delta\sigma}{\sigma_0}$$

Relaxační metoda

Relaxační metoda **Druhý krok řešení**



Výhody relaxační metody:

- Řeší se pružné konstrukce (použití běžných výpočetních programů)
- Vliv dotvarování se zavádí pouze relaxačním součinitelem, nezávisle na konstrukci

Výhradně použití ve výpočetních programech

Metoda časové diskretizace – časový úsek (výstavba a provoz konstrukce) se dělí na intervaly, na počátku intervalu je akce.

Akce je zatížení, předepnutí, změna okrajových podmínek, přidání části konstrukce, změna zatížení ...

Postup zadání:

- Popis konstrukce – geometrie, průřezy
- Popis materiálů (E , φ , ε_s)
- Časová osa (t_0 , t_i , ..., t) obvykle $t = 0 \dots$ betonáž části konstr.
(lokální / globální časové měřítko)
 - Podpory
 - Montáž/demontáž prvků
 - Předpínání
 - Zatížení

Výpočetní programy

- Prutové
 - SCIA TDA
 - MIDAS
 - TM-18
- Prostorové konečné prvky (nelineární)
 - DIANA
 - ATENA

Závěr

- Vliv objemových změn – nutno počítat u významných konstrukcí (mosty, vysoké budovy, jaderné elektrárny, ...)
- Dotvarování a smršťování betonu – nejistoty
- Návrh tak, aby byl vliv objemových změn minimalizován
- Zjednodušené metody pouze orientační
- Praktické využití – numerické metody
- Projekt konstrukce – pouze předpokládané hodnoty
- Při realizaci – použít hodnoty reálných materiálů (měření)
- Důležité pro stanovení nadvýšení a dosažení projektovaného tvaru konstrukce