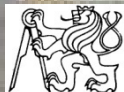


PŘEDPJATÝ BETON



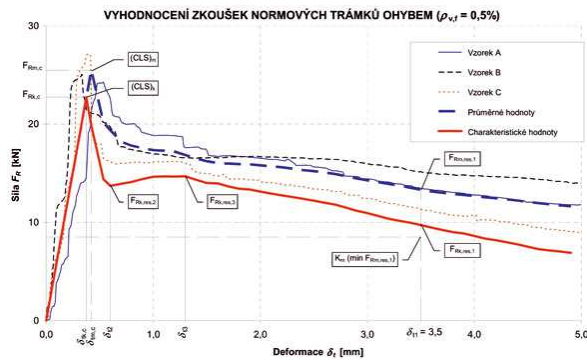


PROSTÝ BETON



DRÁTKOBETON

ŽELEZOBETON

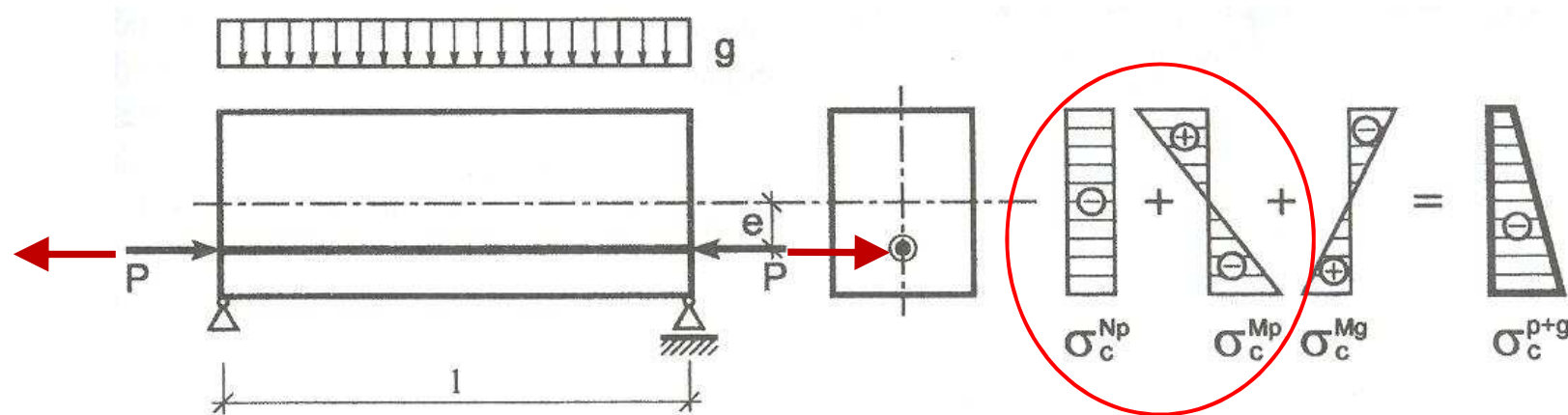


PŘEDPJATÝ BETON



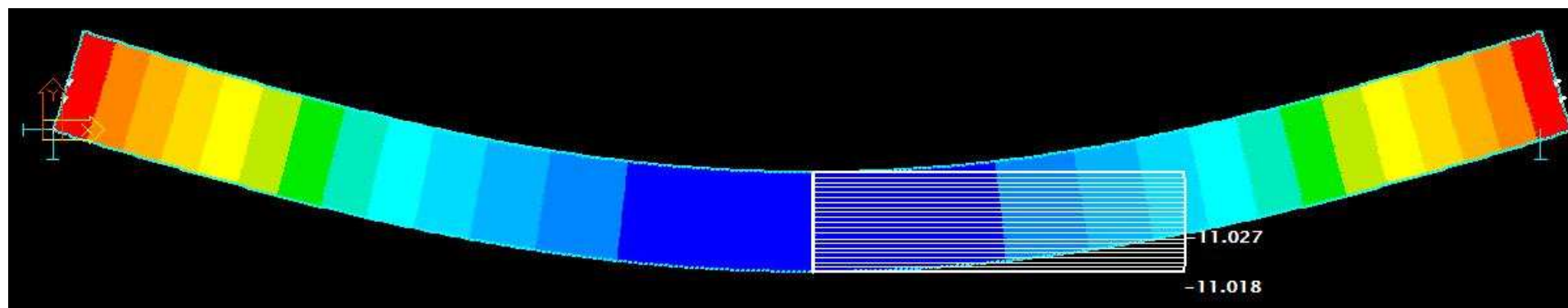
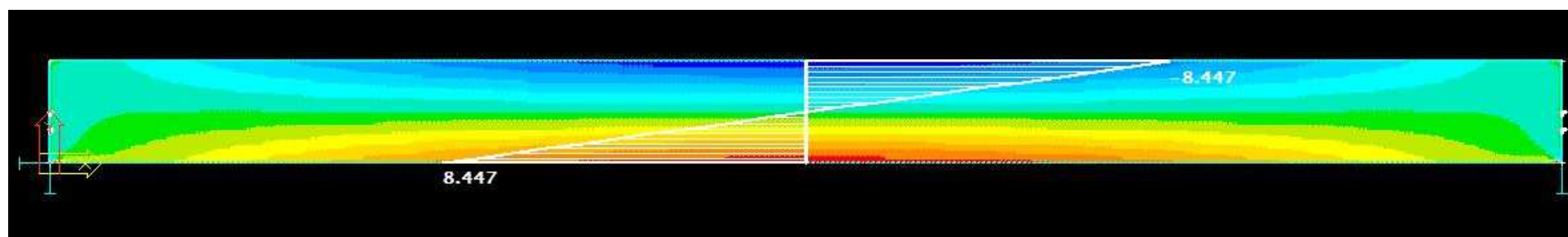
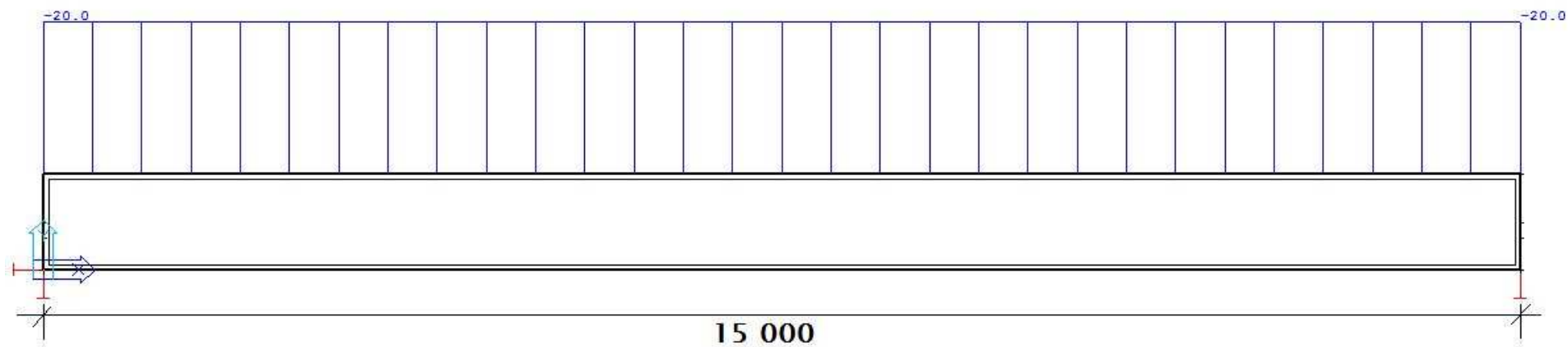
Podstata předpjatého betonu

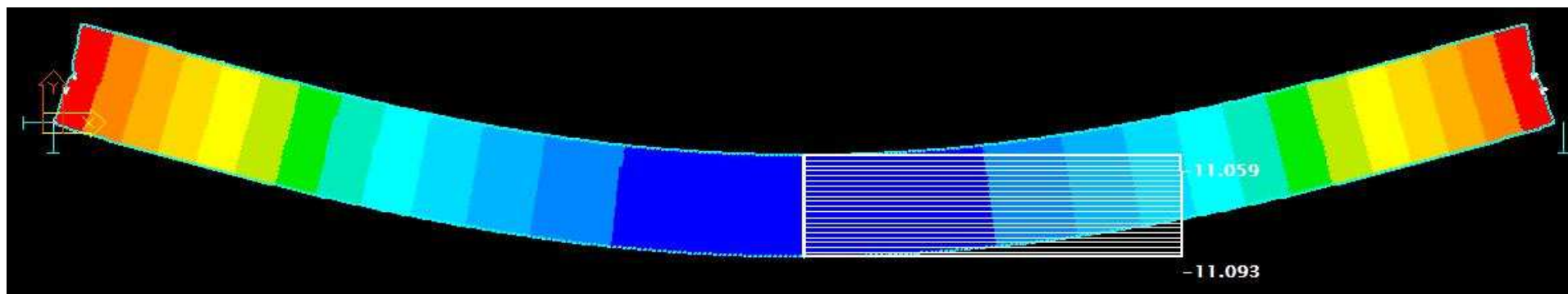
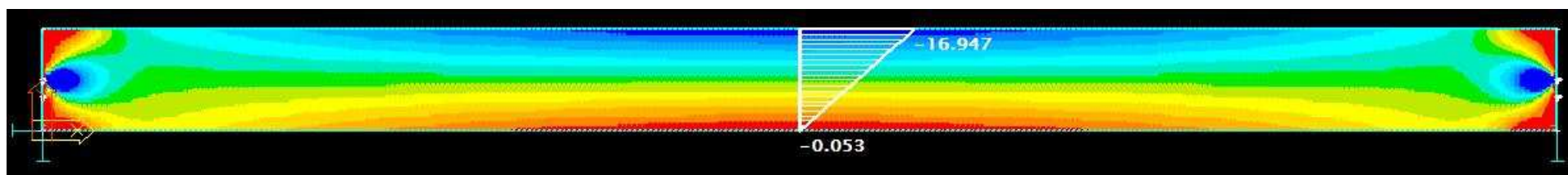
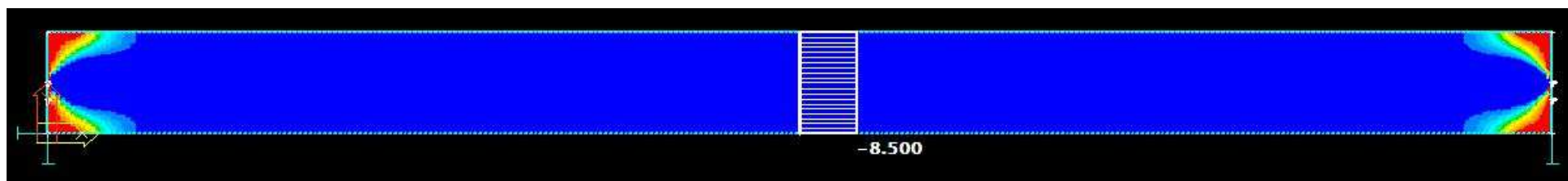
- základní princip vychází ze železobetonu – beton tlakové napětí x ocel tahové napětí
- výztuž navíc napnuta přes betonový prvek, vnesena přídatná tlaková napětí. Vzniká tak v průřezu tlaková rezerva, rezerva pro přenos zatížení



- do průřezu vnesena záměrně přídatné vnitřní síly pro redukci, popřípadě pro kompletní vyrovnaní účinků zatížení
- výztuž působí aktivně – změna vnitřních sil v konstrukci
- pro MSÚ stejný princip jako v železobetonu – vnějšímu momentu vzdoruje dvojice vnitřních sil (beton, ocel) na určitém rameni

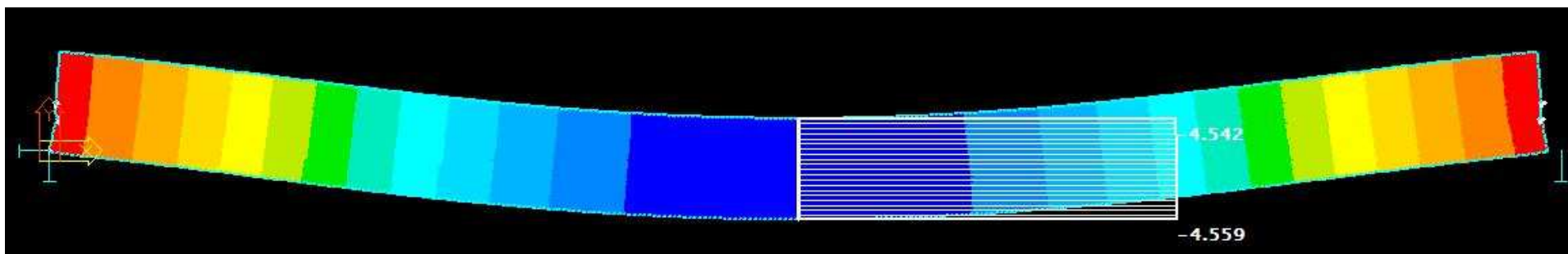
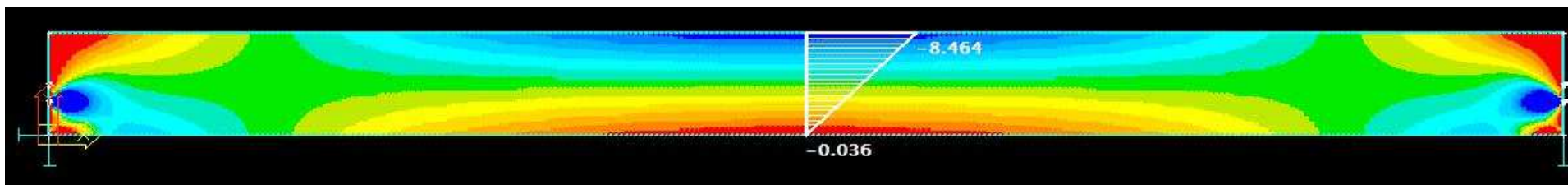
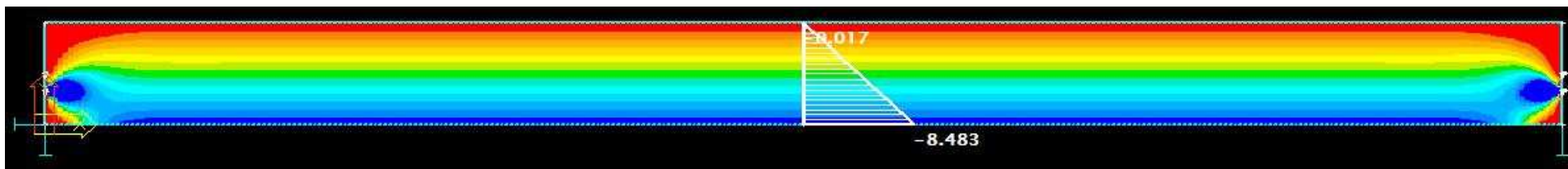






Předpínací síla $N_p = 3400 \text{ kN}$, $e_p = 0 \text{ m}$





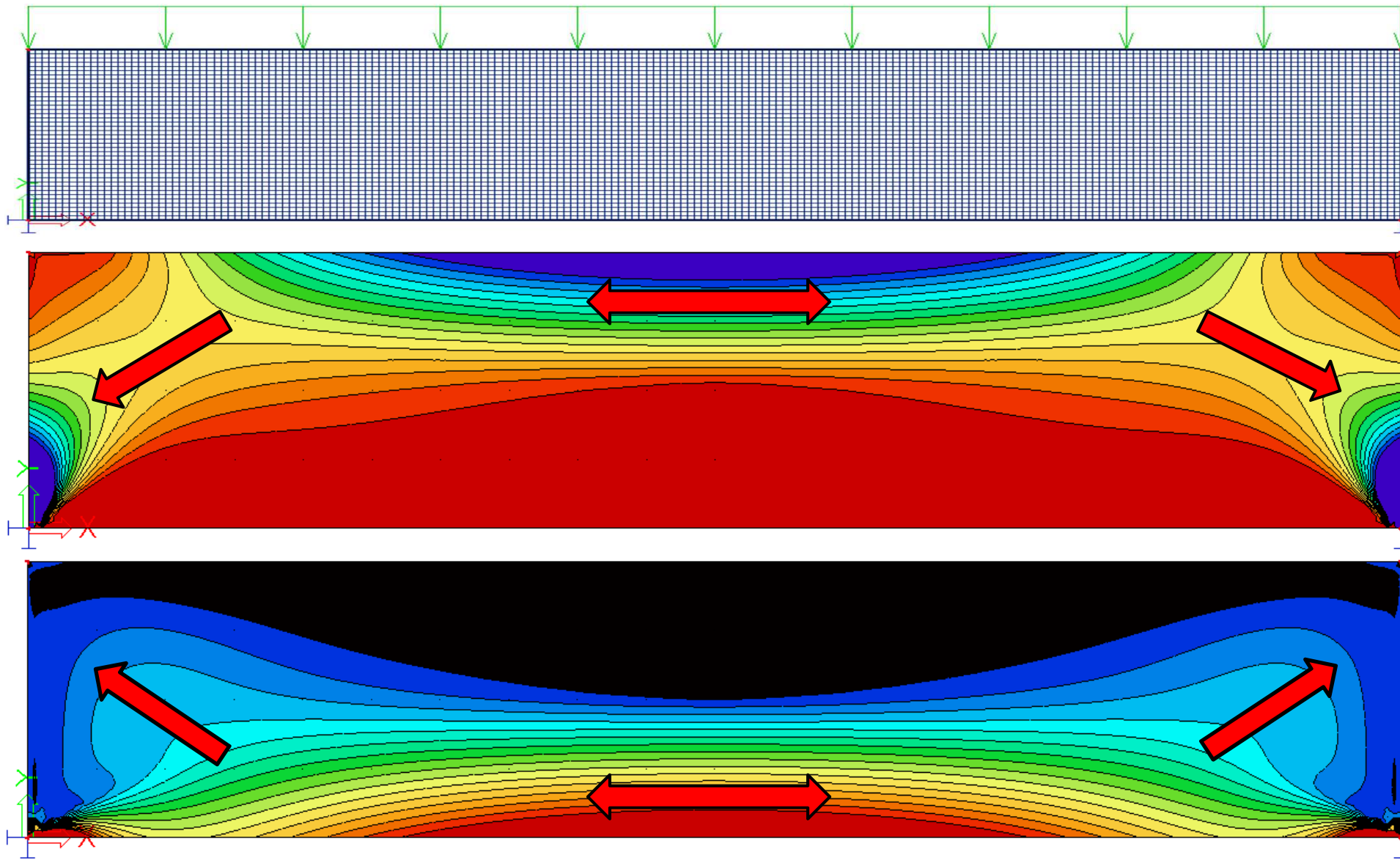
Předpínací síla $N_p = 1700 \text{ kN}$, $e_p = 0,166 \text{ m}$

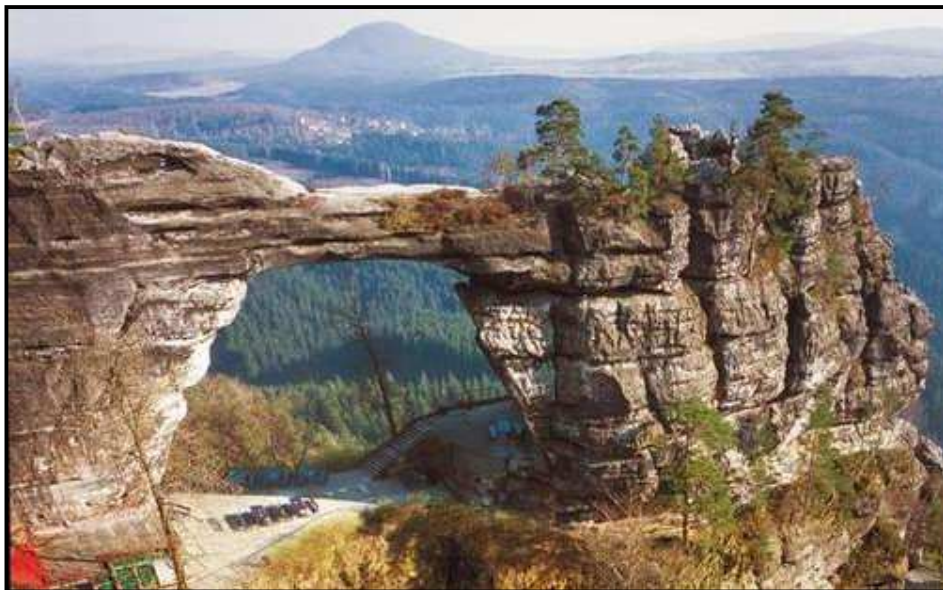
← Jádru průřezu



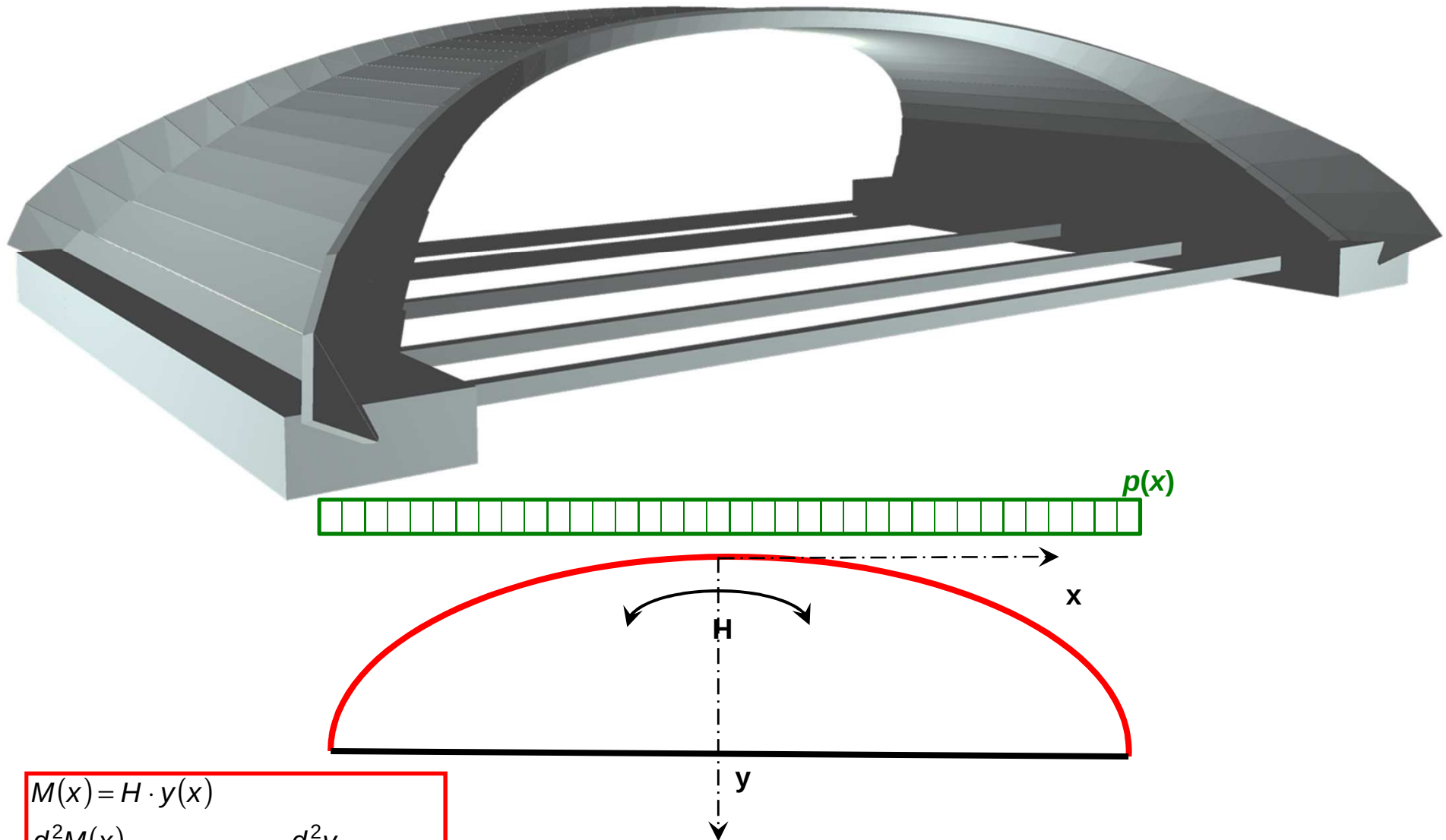
Průběh namáhání konstrukce

- Podle namáhání konstrukce – **tah** × **tlak**





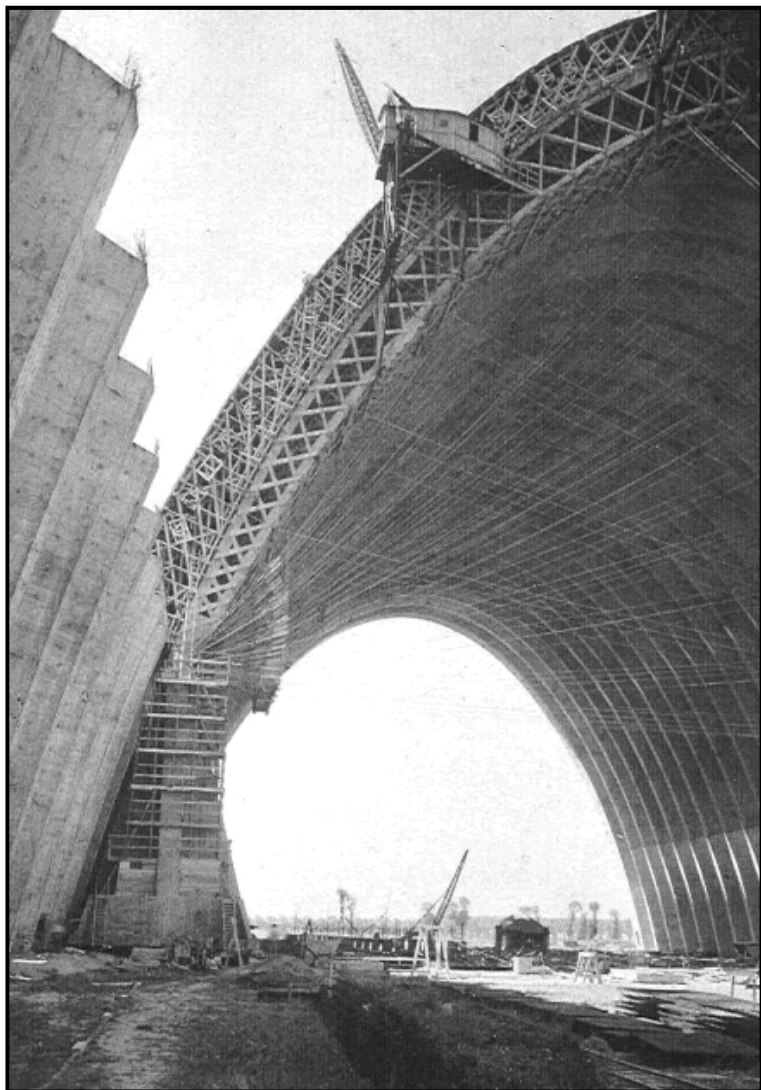
- Přirozeně tlačené konstrukce – **klenby a oblouky**



$$M(x) = H \cdot y(x)$$

$$\frac{d^2 M(x)}{d^2 x} = -p(x) \Rightarrow H \frac{d^2 y}{d^2 x} = -p(x)$$







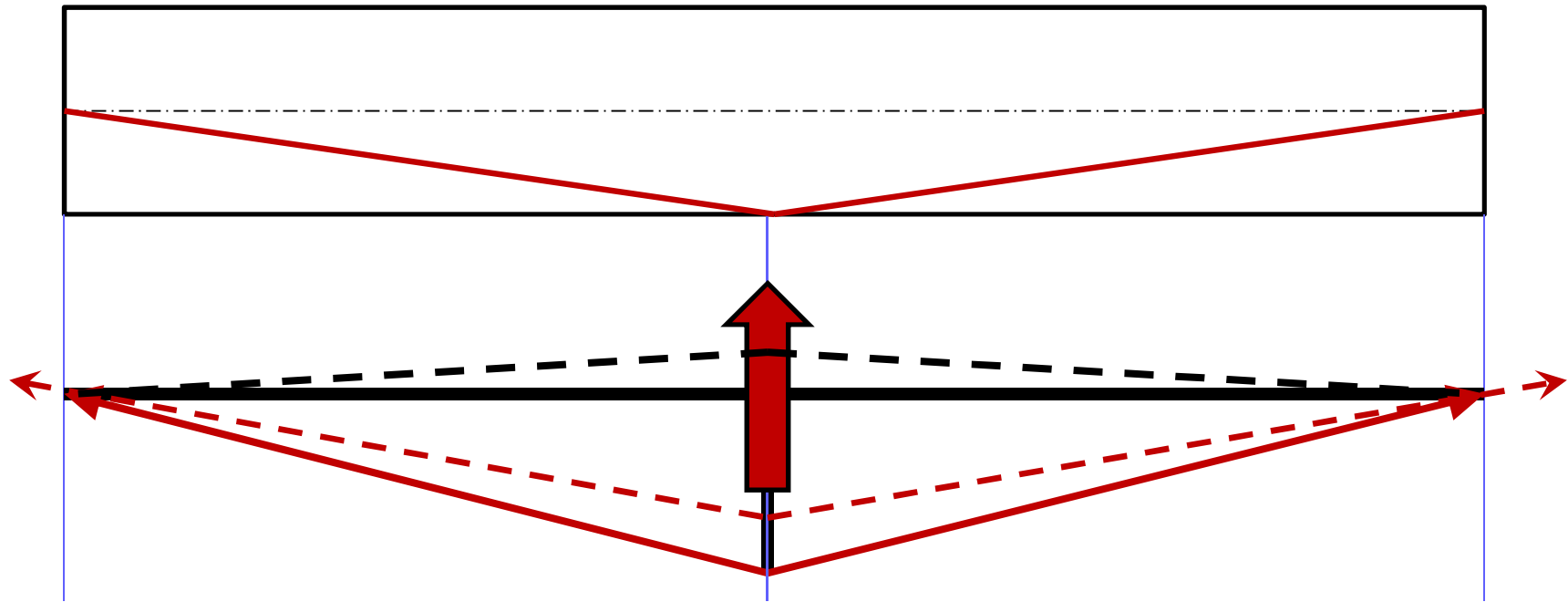
Vývoj předpjatého betonu

- Počátek vývoje na konci 19. století – neúspěchy z důvodů použití výztuže běžné kvality; napětí při napínání cca 300 MPa – poměrné přetvoření $\varepsilon = 300/200\ 000 = 0,0015$; vliv dotvarování a smršťování betonu $\varepsilon = - 0,001 \rightarrow 2/3$ účinku předpětí vymizelo
- 1928 Freyssinet – skutečný počátek předpjatého betonu – napínací napětí výztuže 1000 MPa – poměrné přetvoření $\varepsilon = 1000/200\ 000 = 0,005 \rightarrow$ úbytek napětí cca 20 %
- Československo – rozmach předpjatého betonu v polovině 20. století



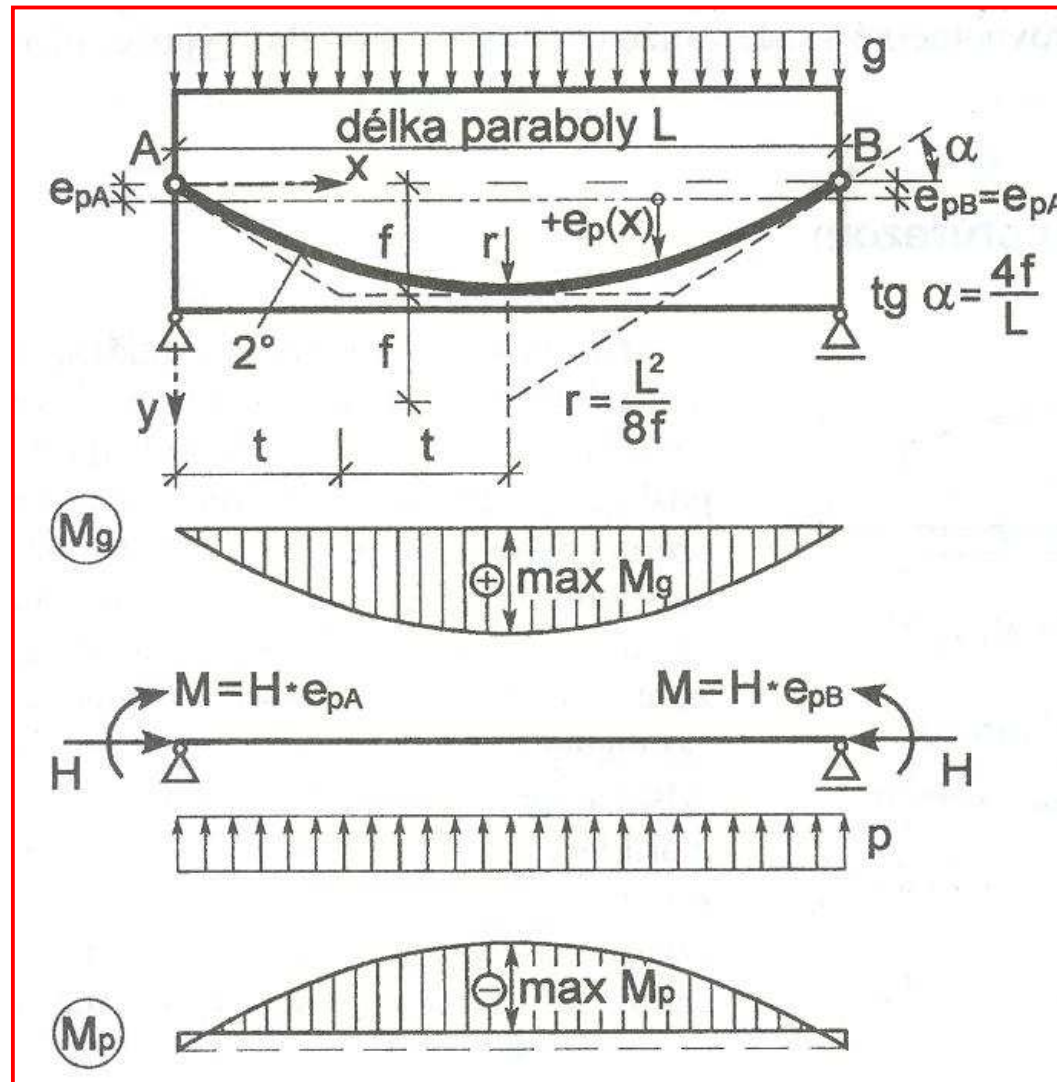
Působení předpětí

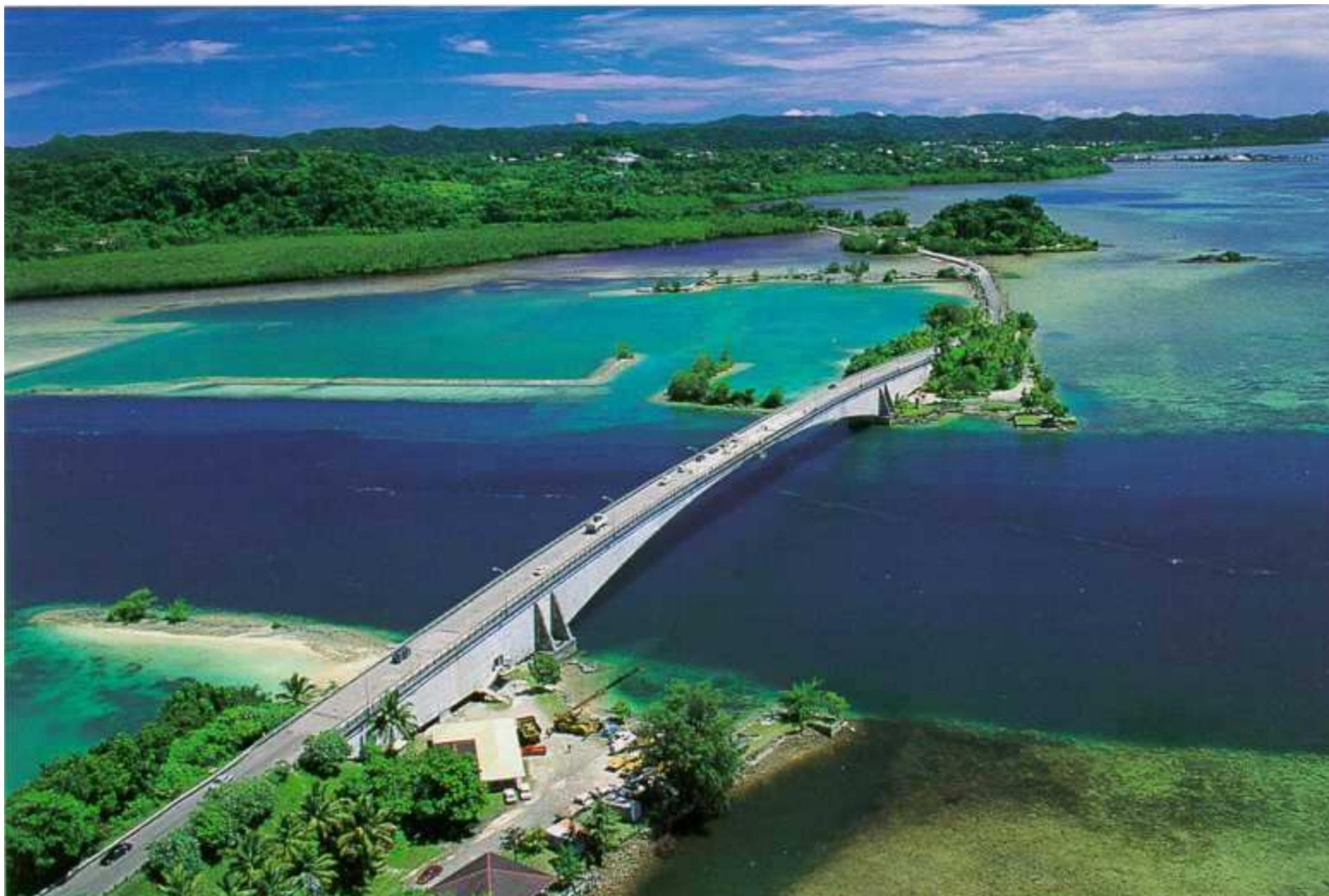
- Možnost aktivně ovlivnit rozložení vnitřních sil na konstrukci

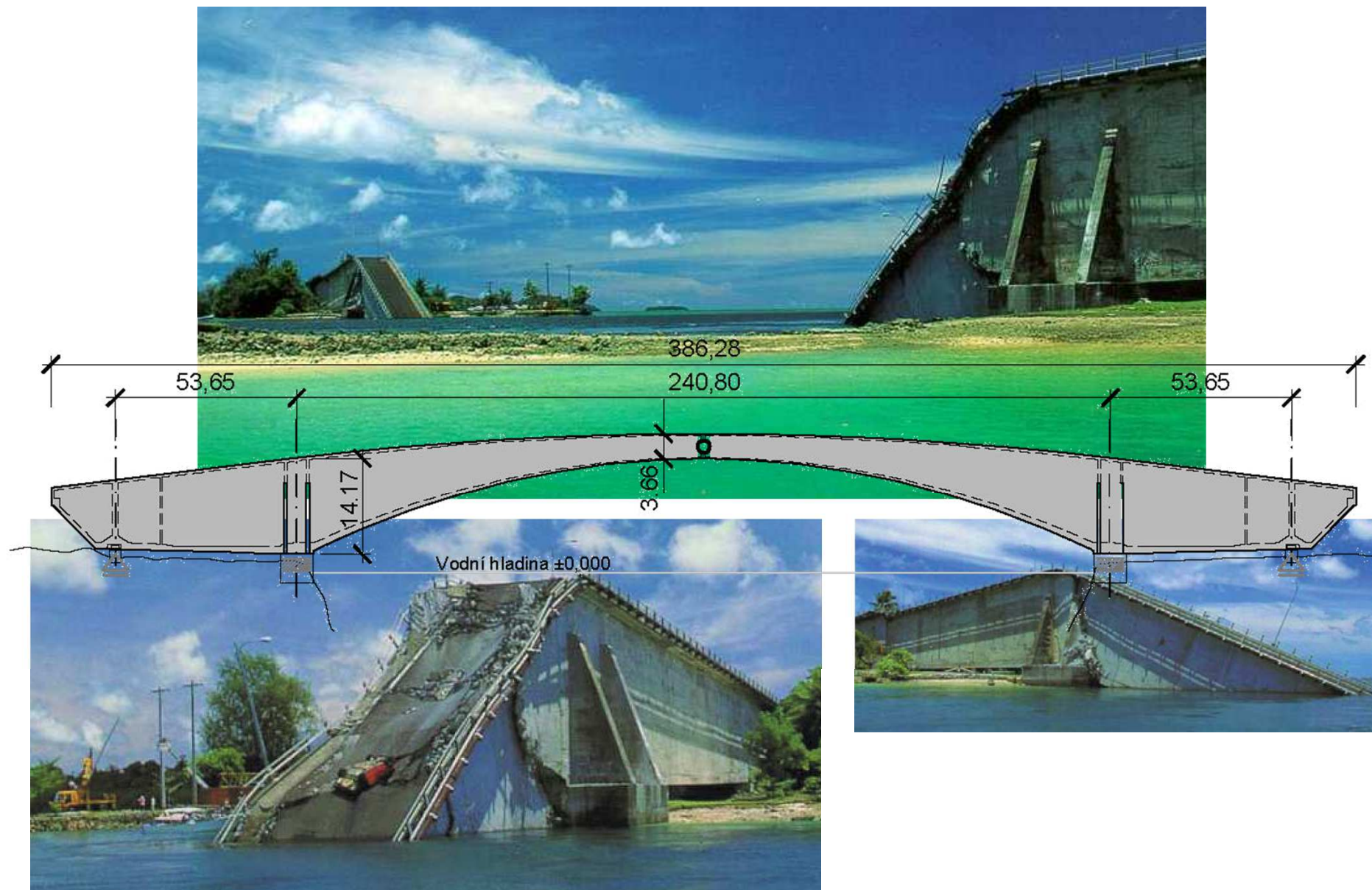


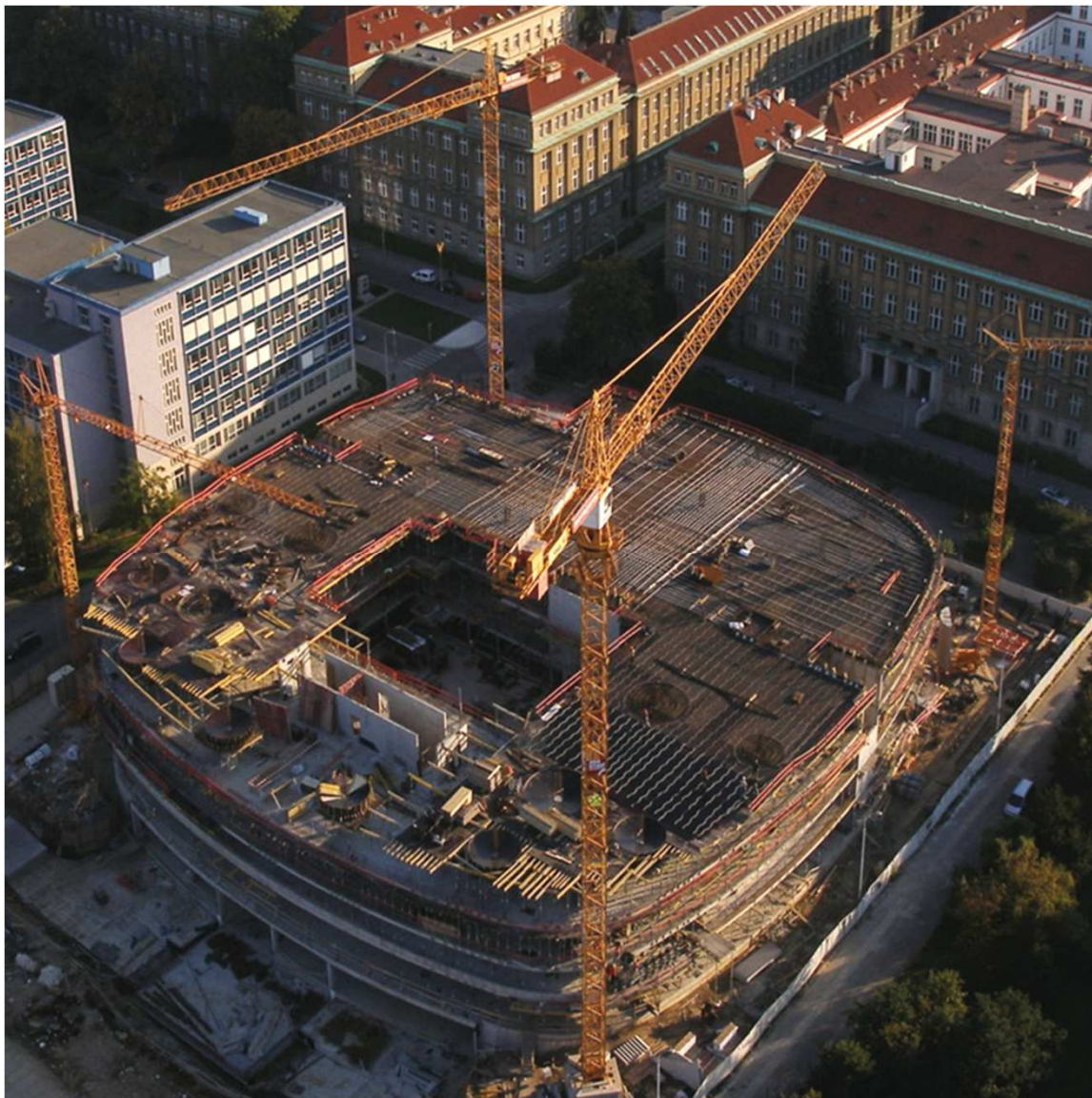
Působení předpětí

- Možnost aktivně ovlivnit rozložení vnitřních sil na konstrukci





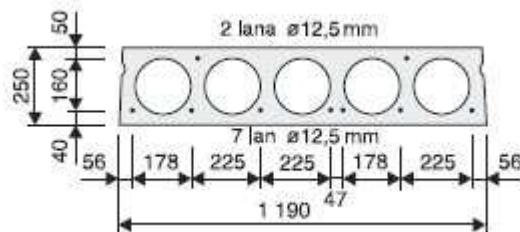




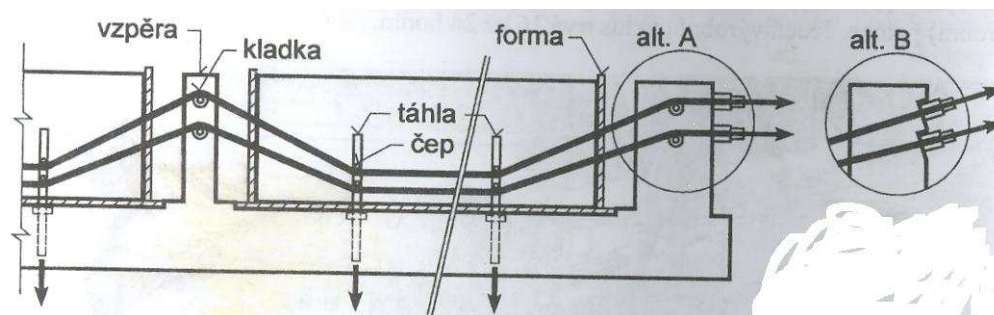
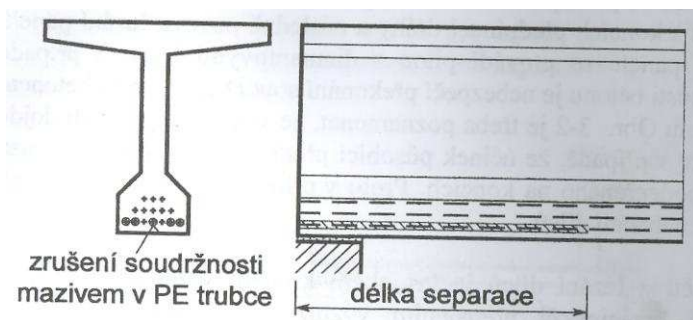


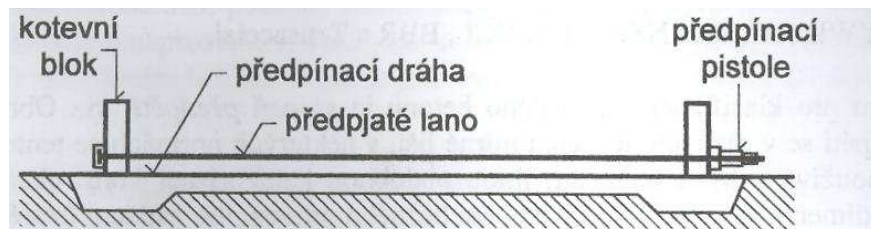
Předem předpjatý beton

- Napnutí lan (dočasné zakotvení) – betonáž prvku – uvolnění výztuže (vnesení předpětí do prvku kotvení soudržností)
- Výhradně ve formě prefabrikovaných dílců ve výrobnách
- Výroba v tuhých formách × výroba na dlouhé (předpínací) dráze (až 200 m)

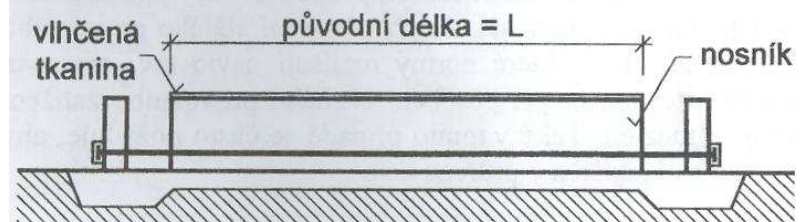


- Prefabrikované dílce s předpínací výztuží při dolním povrchu s maximální excentricitou – možný vznik tahových napětí v oblasti krajních podpor od předpětí – zrušení soudržnosti s betonem až $\frac{1}{2}$ lan tzv. separací – mazivo v PE trubce; popřípadě použití staticky příznivějšího průběhu předpínacích lan – vychylování (vhodné pro vysoké nosníky)

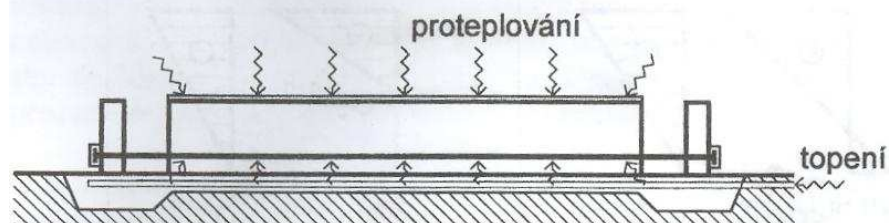




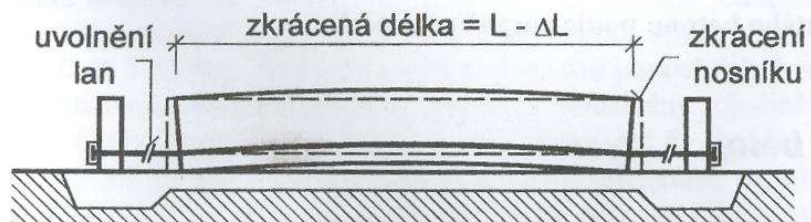
(a) napnutí předpínací výztuže na předpínací dráze



(b) betonáž a ošetřování betonu



(c) urychlení tvrdnutí betonu



(d) vnesení předpětí do zatvrdlého betonu





TOPOS Tovačov



ARST - Architektura a statika



TOPOS Tovačov



ARST - Architektura a statika



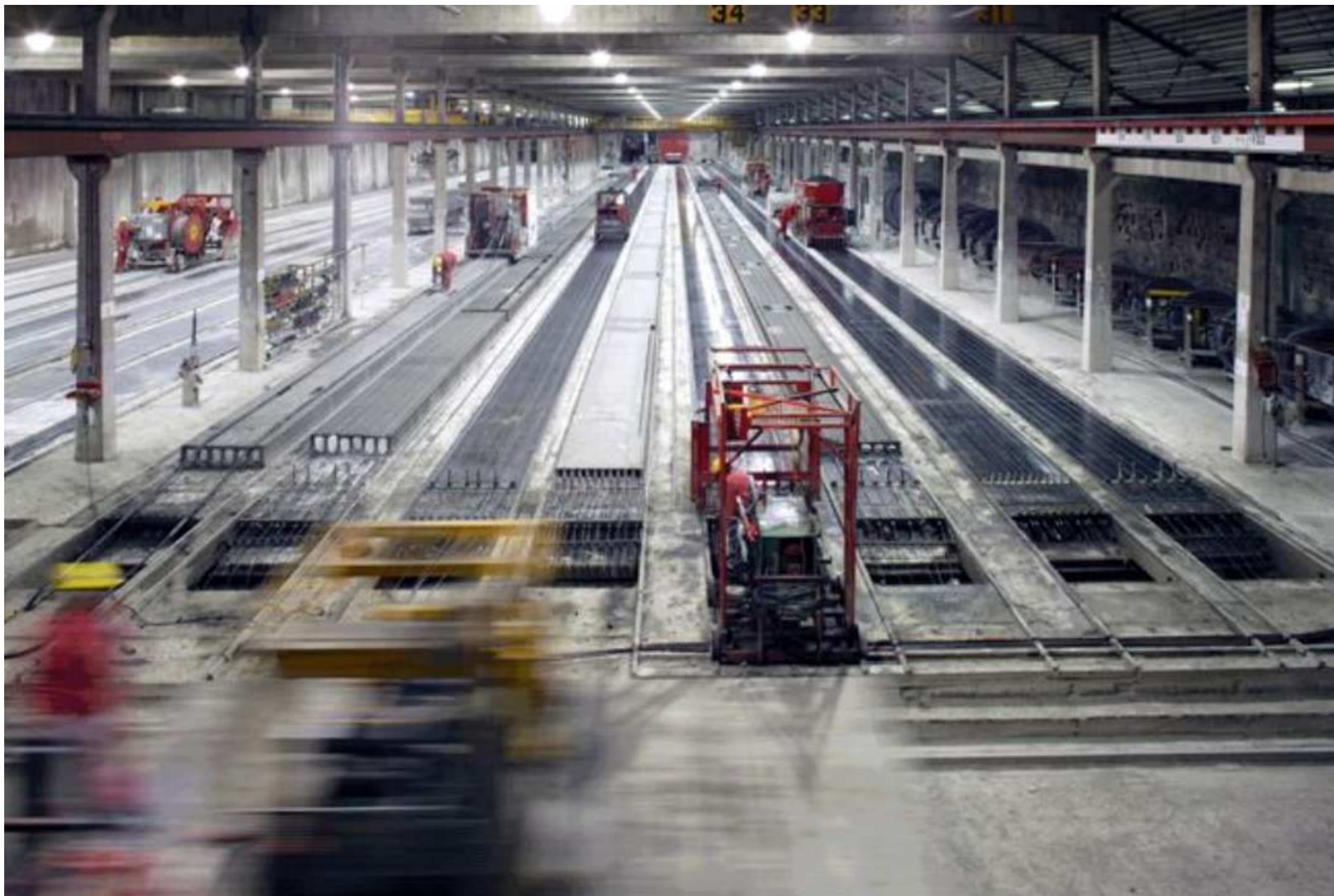
TOPOS Tovačov

ARST - Architektura a statika



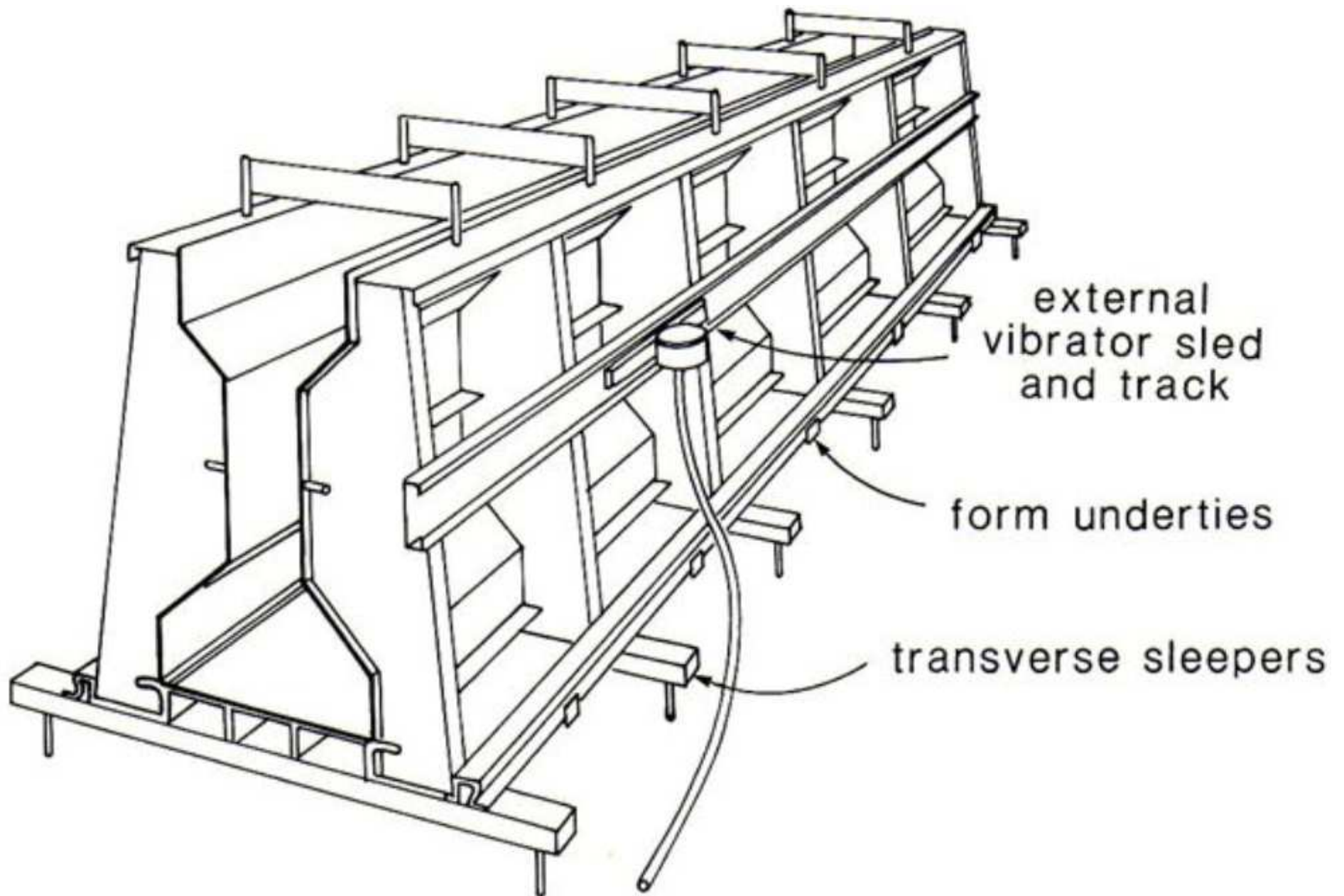
TOPOS Tovačov

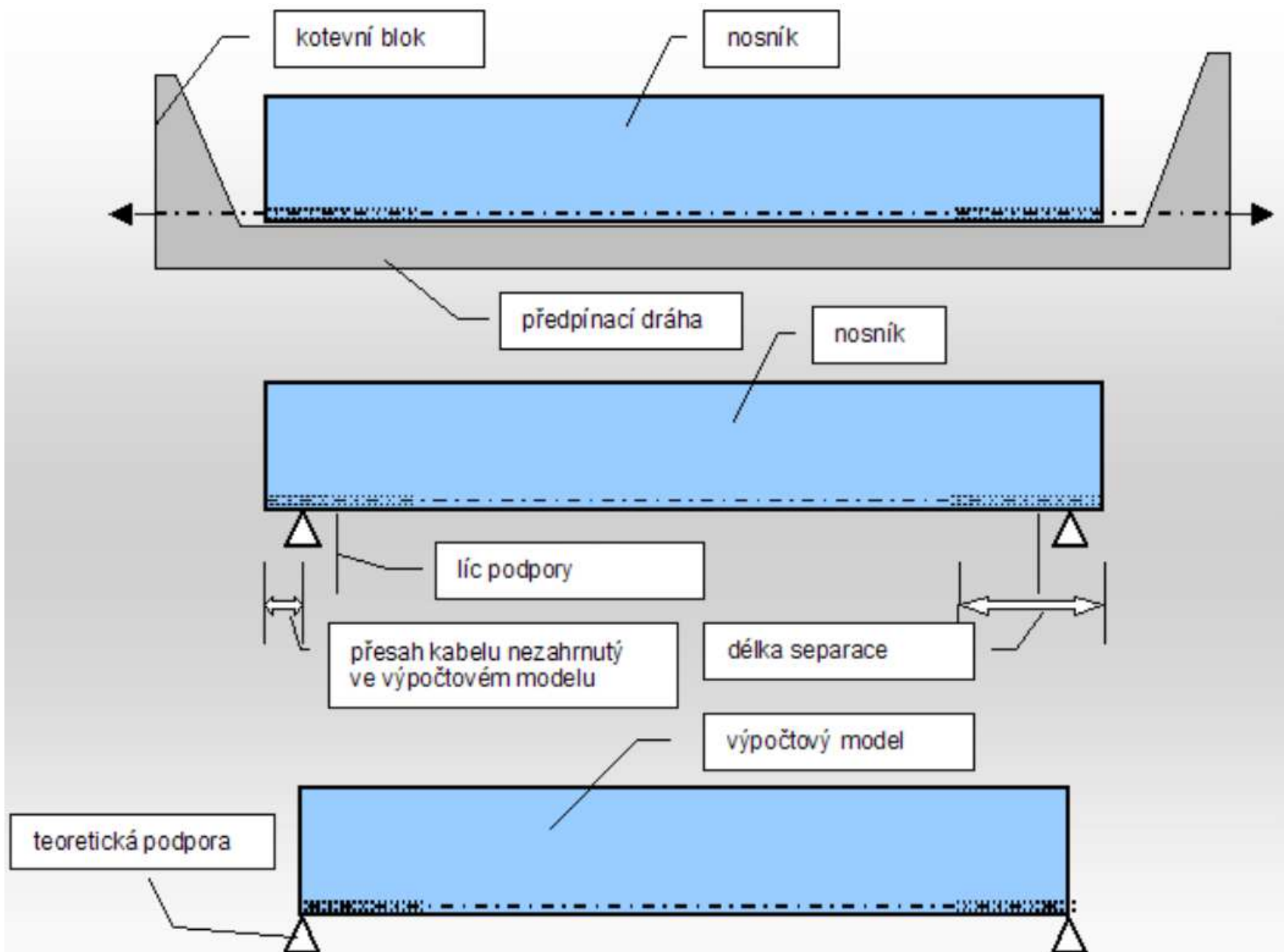
ARST - Architektura a statika

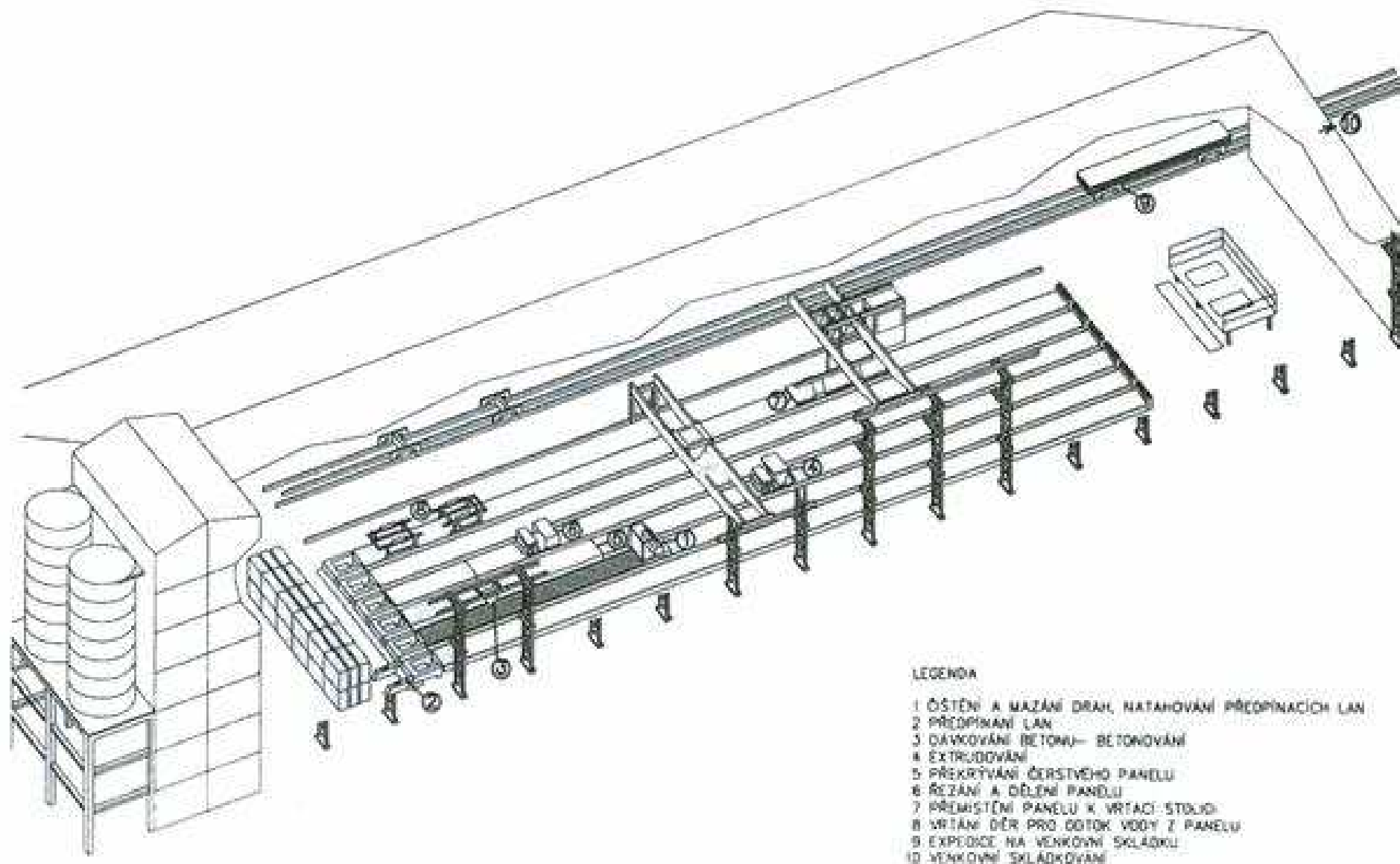


TOPOS Tovačov

ARST - Architektura a statika

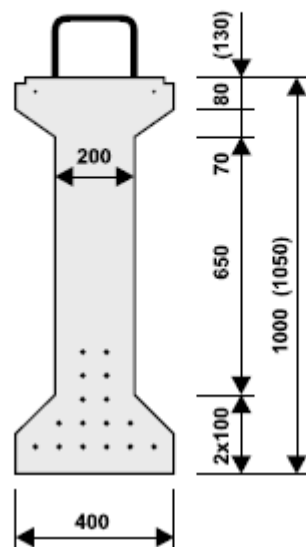




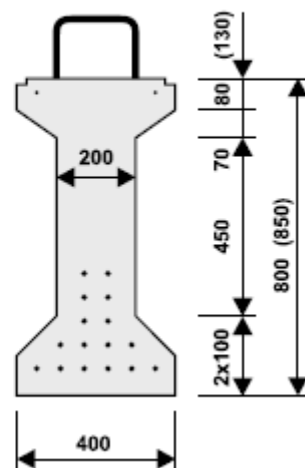


ŘEZ

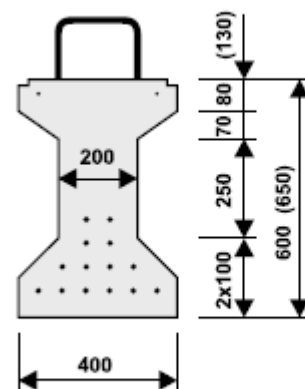
I 40/100 (105)



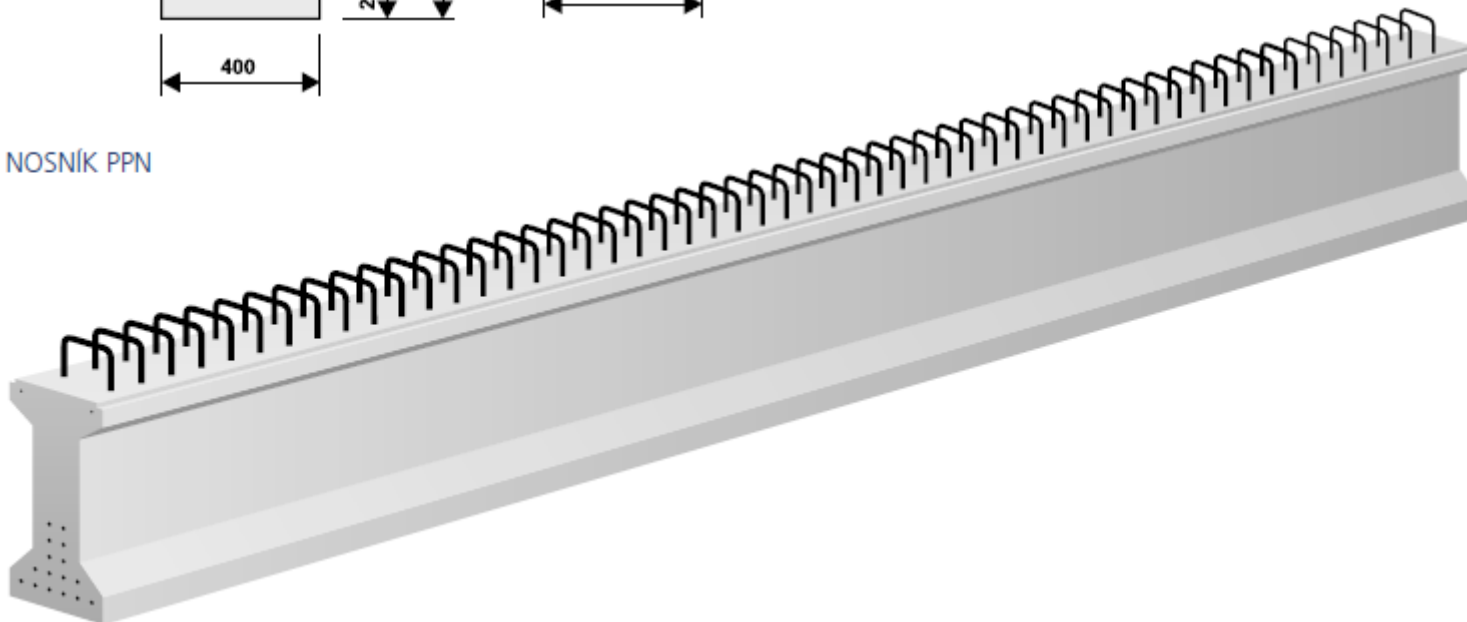
I 40/80 (85)

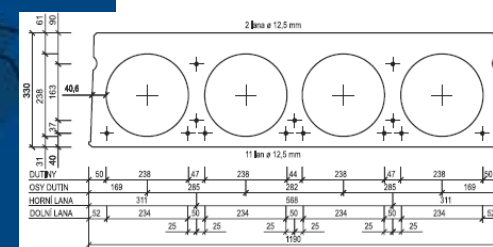
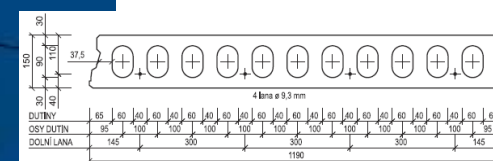


I 40/60 (65)



NOSNÍK PPN





Materiálové vlastnosti – předpínací výztuž

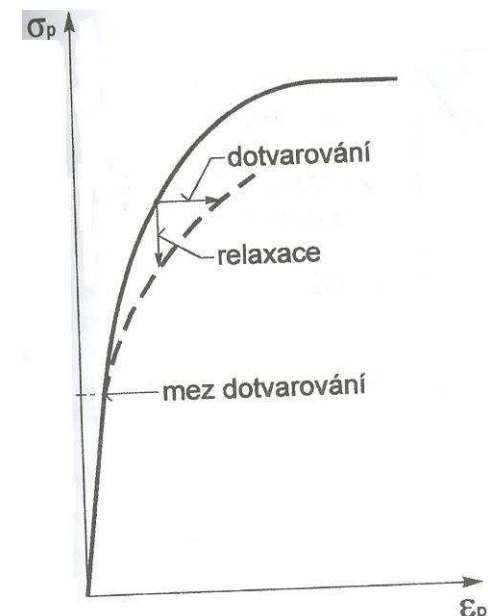
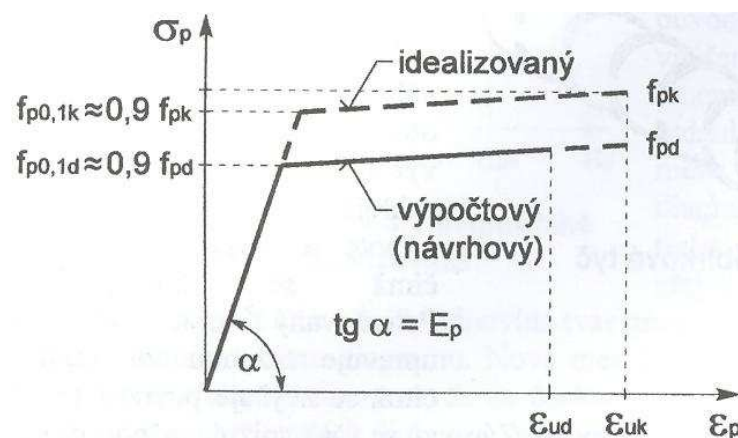
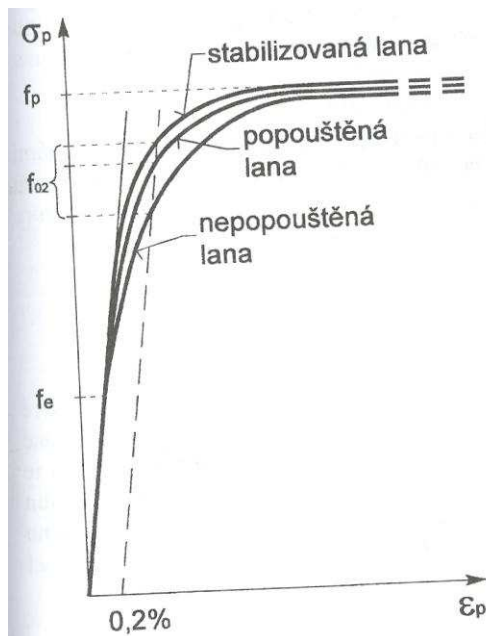
- nejrozšířenější materiál je ocel, možno použít i nekovové materiály (například vlákna na bázi uhlíku)
- ocel – nelegované nebo nízkolegované, tahová pevnost zvýšena (až na 2000 MPa) přidáním uhlíku (až 0,9%)
- Předpínací tyče – z ocelí válcovaných za tepla; hladké nebo žebírkové, délka 6 až 30 m; průměr 12 až 75 mm



Mechanické vlastnosti předpínací výztuže				
				
Předpínací lano – typ:			15,3 mm (0,6")	15,7 mm (0,62")
			St 1570/1770	St 1570/1770
Jmenovitý průměr	ø	(mm)	15,3	15,7
Jmenovitý průřez	So	(mm ²)	140	150
Jmenovitá hmotnost	q	(kg/m)	1,099	1,178
Napětí na mezi pevnosti	Rm	(MPa)	1770	1770
Mez pevnosti (min.)	Fm	(kN)	247,8	265,5
Napětí na mezi kluzu	Rp 0,2	(MPa)	1570	1570
Mez kluzu (min.)	Fp 0,2	(kN)	219,8	235,5
Modul pružnosti	E	(Gpa)	cca 195	
Tažnost	At	(%)	min 4,0	

- Patentovaný drát – nejpoužívanější; proces patentování – ohřátí na cca 900°C a postupné ochlazování – homogenizace; tažení za studena – zvýšení pevnosti (1500 – 1800 MPa) i meze 0,2 (až 75% pevnosti)
- V současnosti nejpoužívanější je lano složené ze 7 drátů
- Vnitřní pnutí z výrobního procesu redukováno popouštěním (ohřev až na 400°C a pozvolné ochlazení) nebo stabilizováním (ohřev + vnesení tahového napětí)





- Modul pružnosti tyče $205 \div 210$ GPa; dráty $190 \div 205$ GPa; lana 195 GPa
- V evropských normách udáváno napětí na mezi 0,1 (cca 95% meze 0,2)

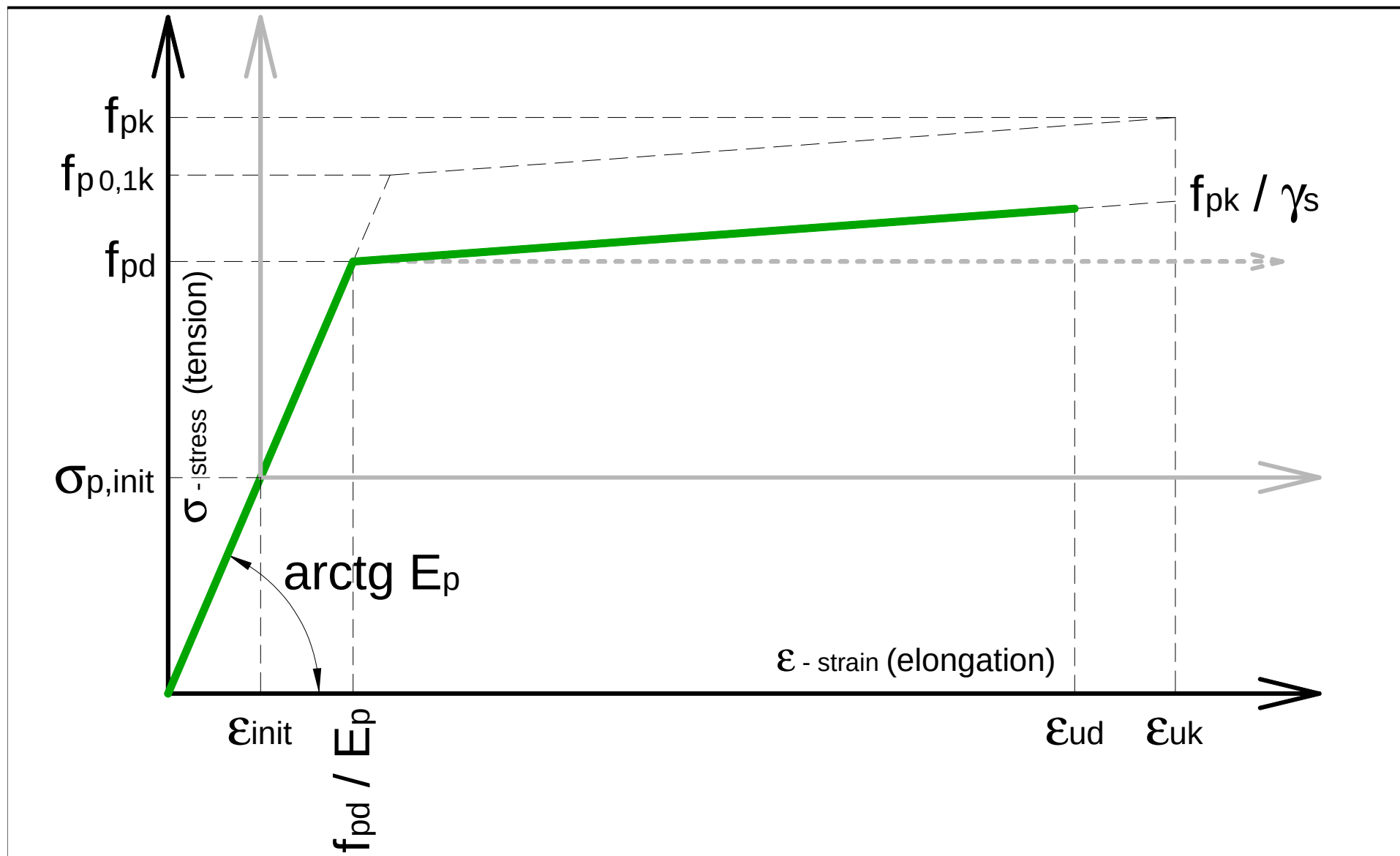
Relaxace předpínací výztuže

- úbytek napětí v oceli při časově neměnné deformaci (protažení)
- na redukci vlivu relaxace má vliv stabilizace lan – zmenšení účinku až o 70% - „lana s nízkou relaxací“

Soudržnost předpínací výztuže s betonem

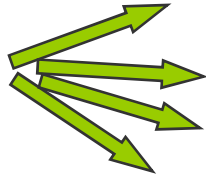
- U dodatečně předpjatých konstrukcí injektážní malta k vyplnění kanálků, ochrana lan proti korozi





Základní terminologie

Předpětí je vyvozeno



- předpínací výztuží
- okrajovými podmínkami
- tvarem konstrukce
- speciálním technologickým postupem

Dodatečně předpjatý beton

- Vícelanové předpínací systémy
- Jednolanové předpínací systémy se soudržností
- Jednolanové předpínací systémy bez soudržnosti
- Vícedrátové předpínací systémy

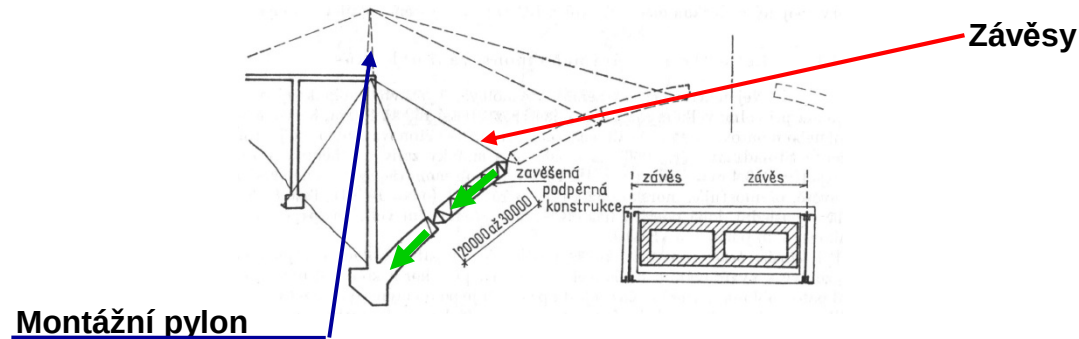
Ovíjené prvky

Vnější volné kabely



Technologie předpjatého betonu

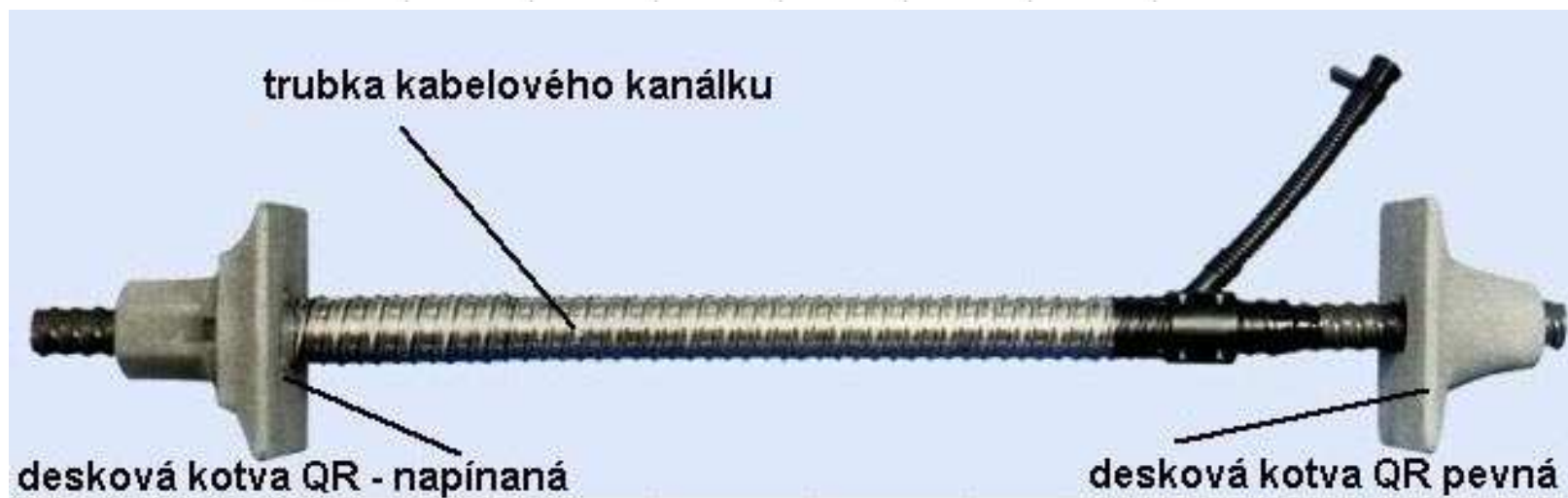
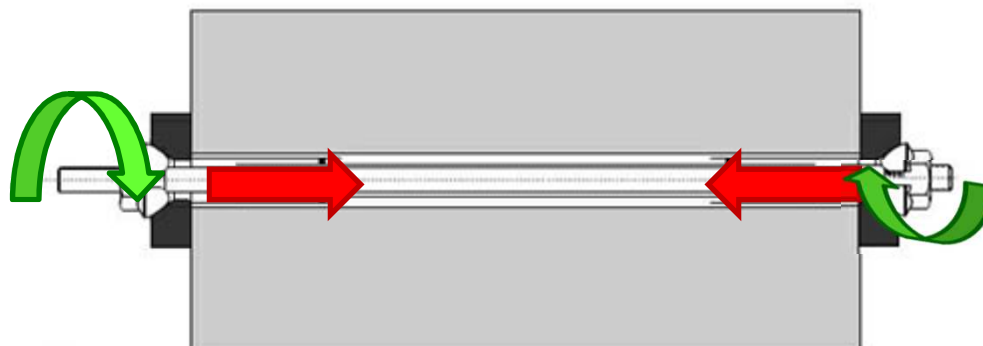
- Možnost vyvodit předpětí i okrajovými podmínkami – tvar konstrukce, lisy, ohřev, montážní lisy

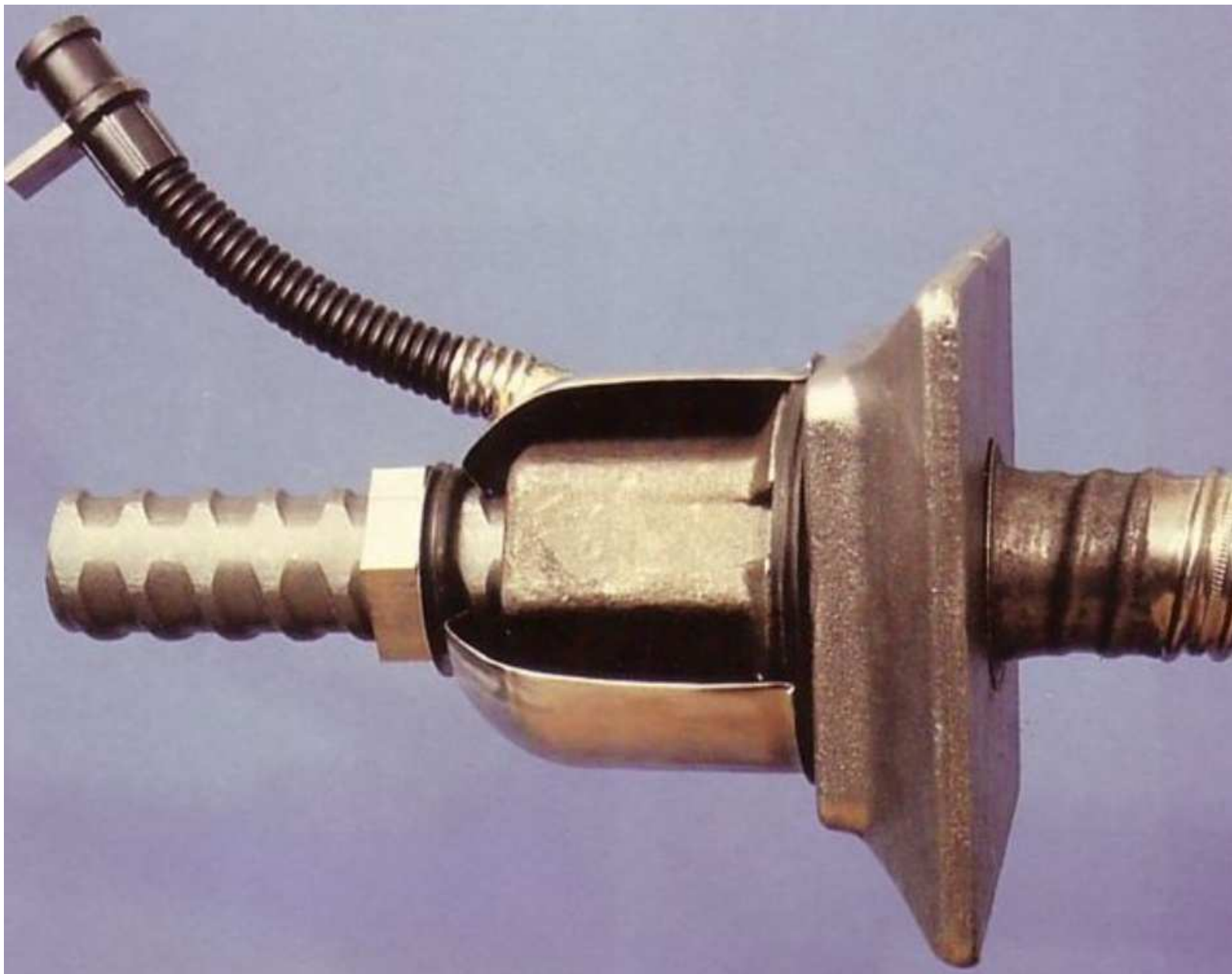


- Předpínací výztuž
 - soudržná – přenos síly do beton zajištěn po celé její délce
 - volná – bez soudržnosti, přenos pouze přes kotevní zařízení
 - předem – (strunobeton), nejdříve napnut a poté betonáž
- Předpjatý beton
 - dodatečně – prvek nejdříve vybetonován, po zatvrdnutí předepnut



Dodatečně předpjatý beton – tyčové systémy

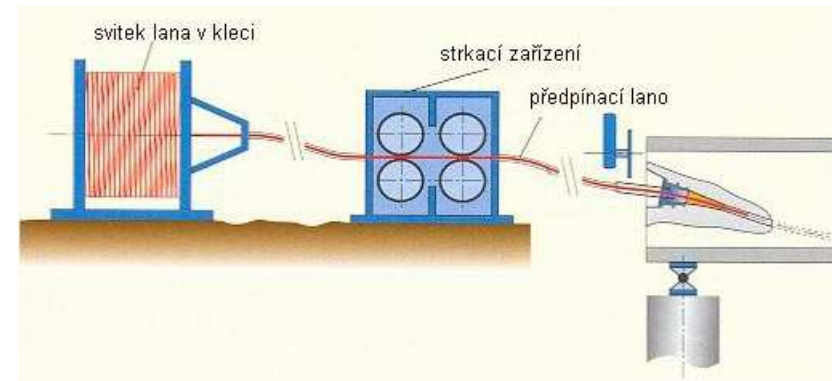
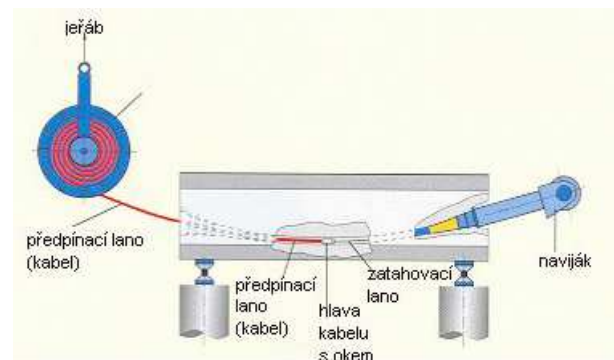






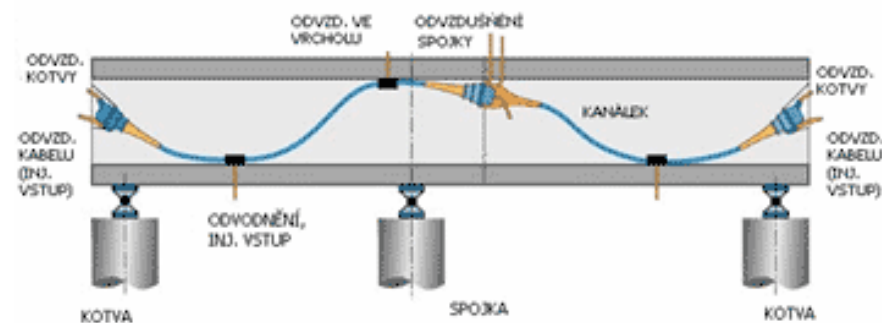
Dodatečně předpjatý beton – lanové systémy

- Nejčastěji vícelanový systém se soudržností
- Předpínací jednotka – kabel tvořený z několika lan, které jsou napínány a kotveny současně
- Výroba armokoše (včetně mřížek pro vedení předpětí) – osazení trubek pro kabelové kanálky – betonáž prvku – předpětí (napnutí a trvalé zakotvení) – injektáž kabelových kanálků
- Dráha kabelu navržena pro co nejpríznivější statické působení, je zajištěn trubkami kabelových kanálků (tenkostěnné ocelové nebo PE – větší ochrana proti korozi, nižší tření mezi kabelem a vnitřním povrchem trubky, nižší hmotnost, nebezpečí vyplavování). Poloha zajištěna distančními mřížkami (vzdálenost 0,5 – 2,5 m), odvzdušnění kanálků v nejvyšších místech dráhy odvzdušňovacími trubičkami (vzdálenost max 15 m)



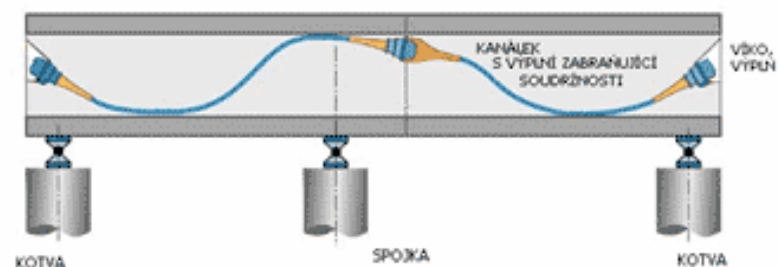
KABEL SE SOUDRŽNOSTÍ

SESTAVA PRO KABEL SE SOUDRŽNOSTÍ



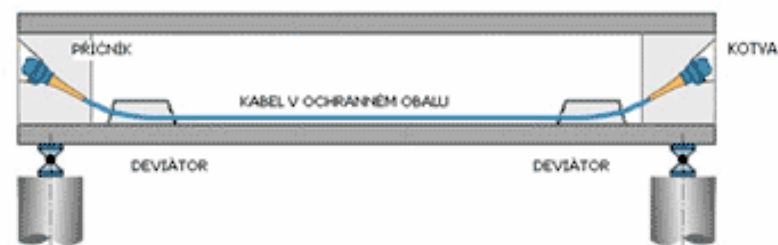
KABEL BEZ SOUDRŽNOSTI

SESTAVA PRO VNITŘNÍ KABEL BEZ SOUDRŽNOSTI



VOLNÝ KABEL

SESTAVA PRO VOLNÝ KABEL (BEZ SOUDRŽNOSTI)

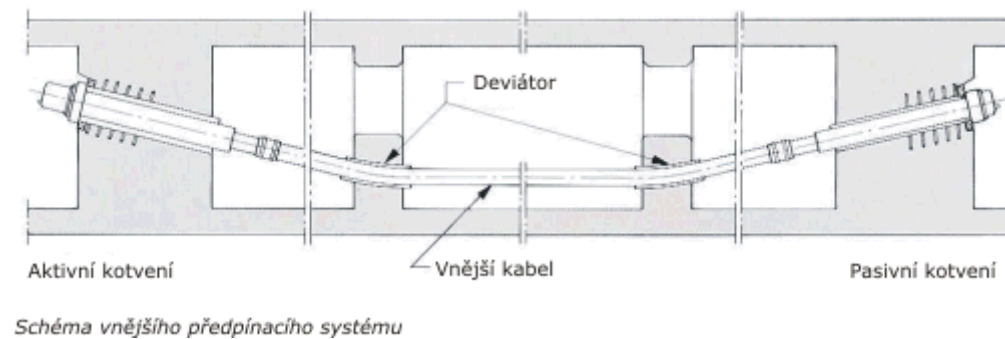
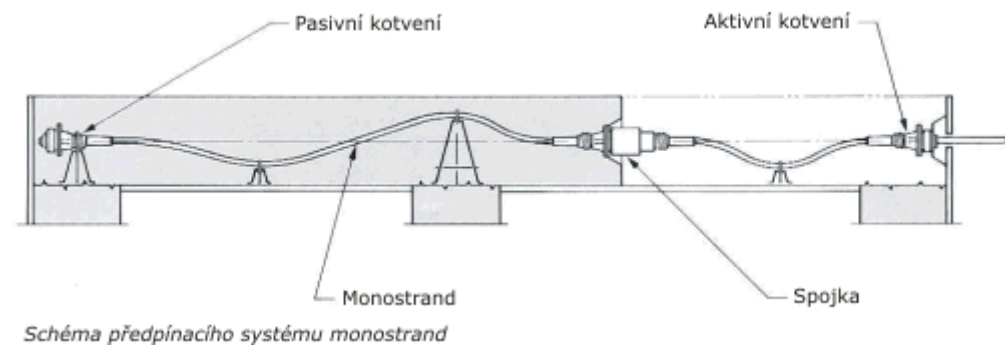
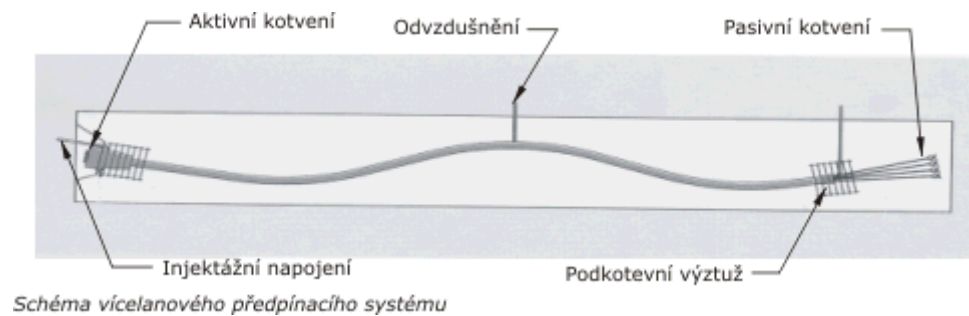


KABEL SE SOUDRŽNOSTÍ



KABEL BEZ SOUDRŽNOSTI

VOLNÝ KABEL









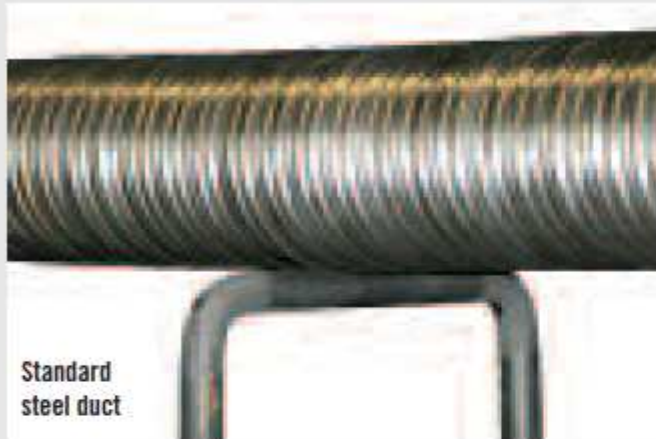








Postup zhotovení – zhotovení armokoše, instalace kabelových kanálků a předpětí



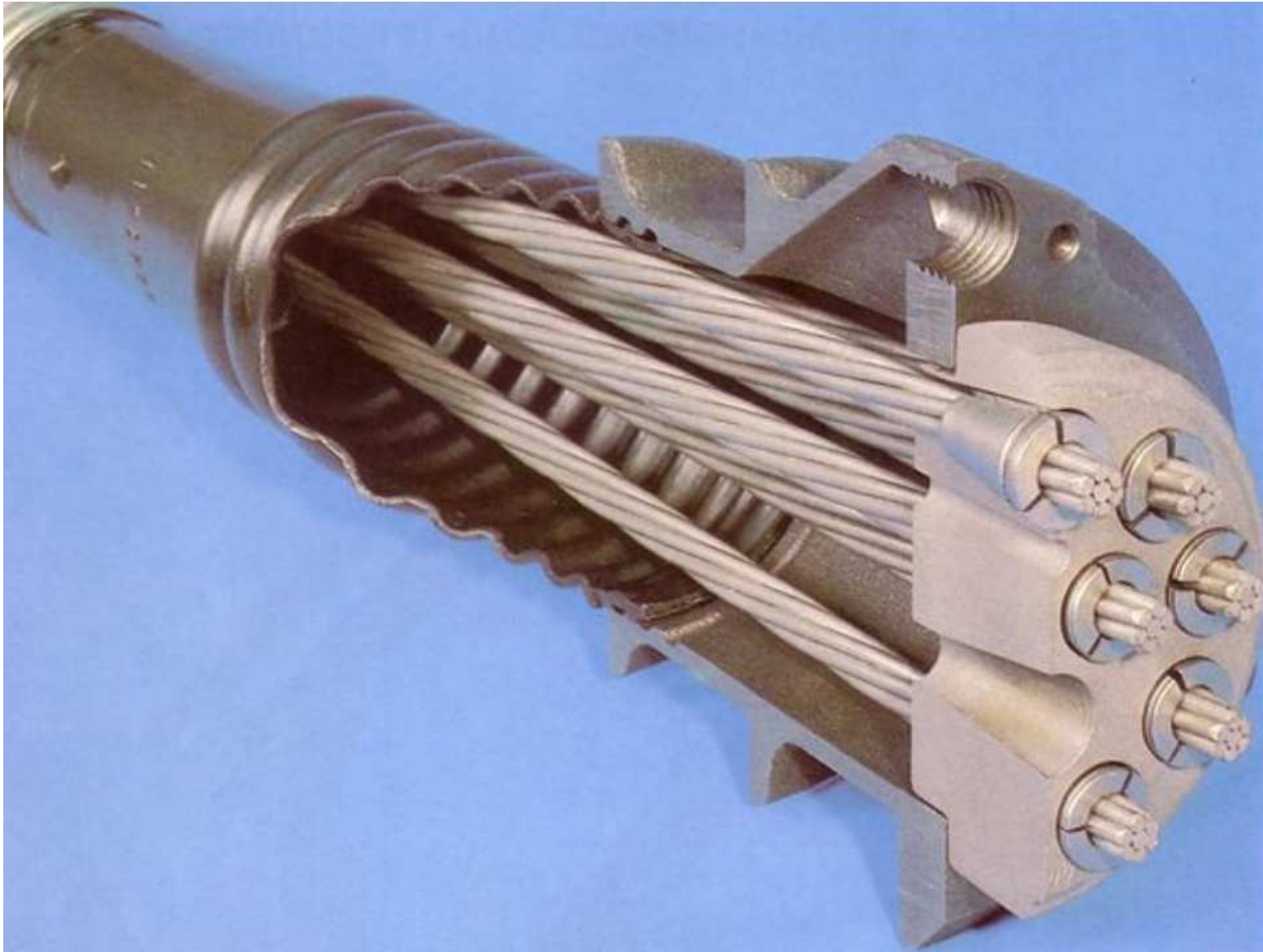
In determining minimum spacings and concrete cover requirements for ducts, reference should be made to applicable standards and recommendations, see 3.3.

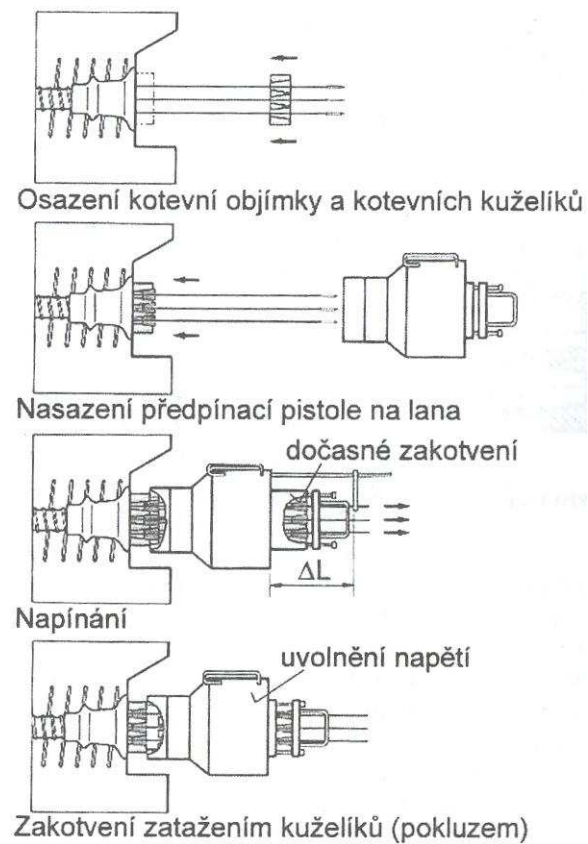


VSL Protection shells are recommended to be fixed on the duct at tendon supports for tendon radii $R < 2 R_{min}$ (see under 4.2), and where ducts risk to be dented by closely placed rebars.

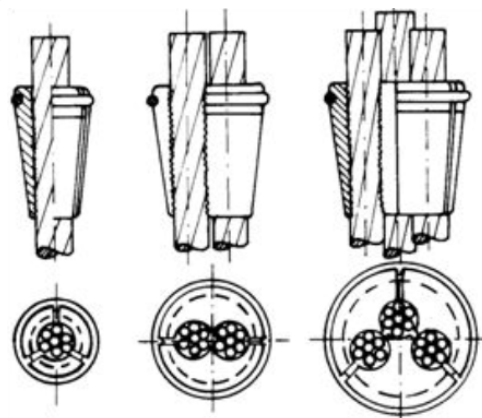
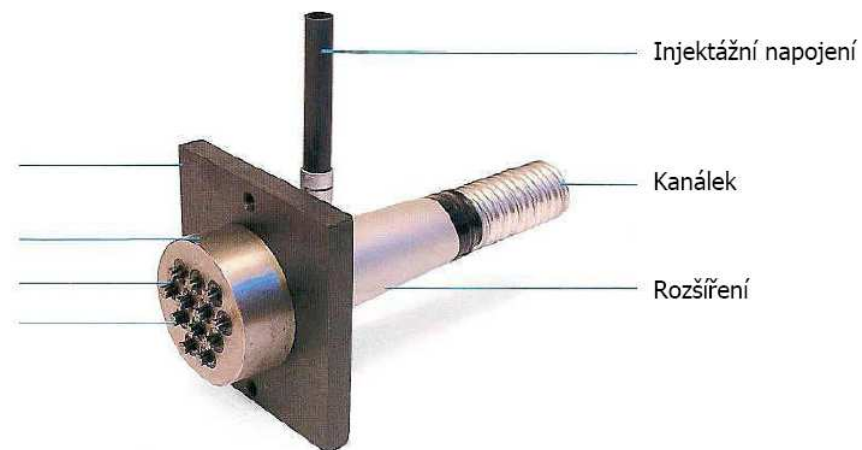


Kotvení předpětí



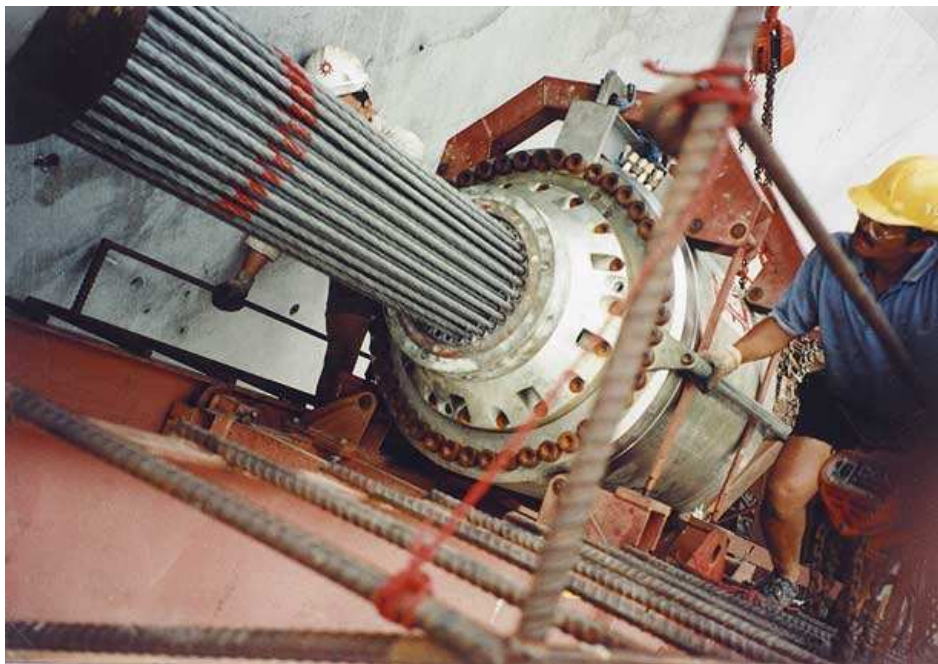


Roznášecí deska
Kotevní objímka
Klíčky
Lana









































Napětí v předpínací výztuži

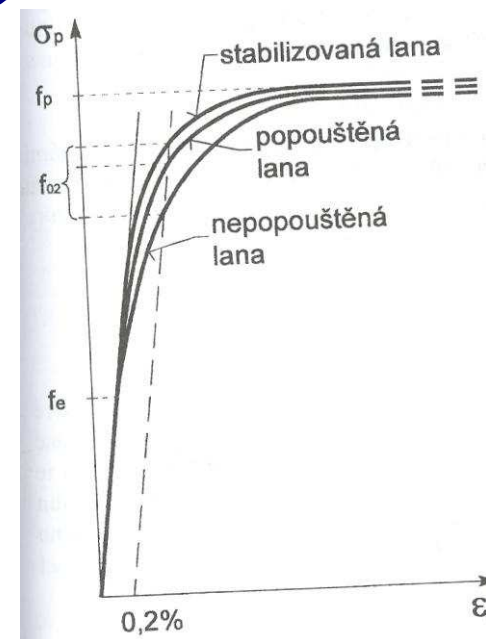
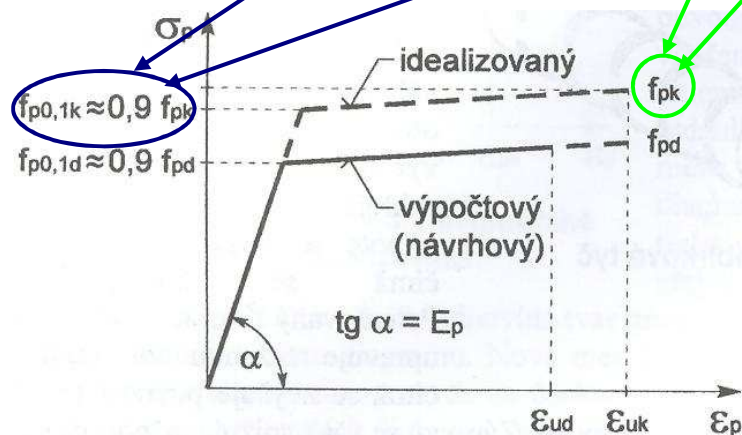
při předpínání

$$\sigma_{p0,max} = \min \{0,8 f_{pk} ; 0,9 f_{p0,1k}\}$$

Okamžité ztráty

napětí po zakotvení

$$\sigma_{pa,max} = \min \{0,75 f_{pk} ; 0,85 f_{p0,1k}\}$$

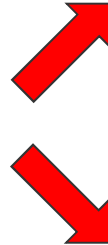


Změny předpětí

- Předpínací síla není konstantní, mění se po délce kabelu i v čase

Změny síly kabelu

Ztráty předpětí



okamžité (výrobní) – tření, pokluz v kotvě, pružným
přetvořením betonu, postupným předpínáním, relaxace

dlouhodobé (provozní) – relaxace oceli, dotvarování a
smršťování betonu



Účinky předpětí na konstrukce

staticky určité konstrukce

- normálová a posouvající síla přímo z průběhu $H(x)$ a $V(x)$
- ohybový moment $M_{pp}(x) = H(x) \cdot e_p(x)$
- samorovnovážný systém – nevznikají reakce

staticky neurčité konstrukce

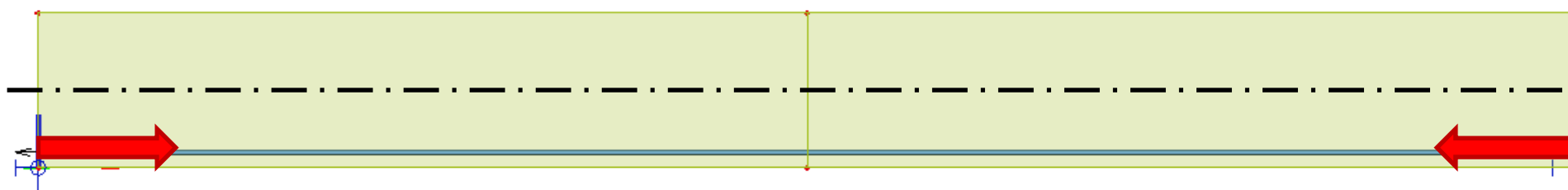
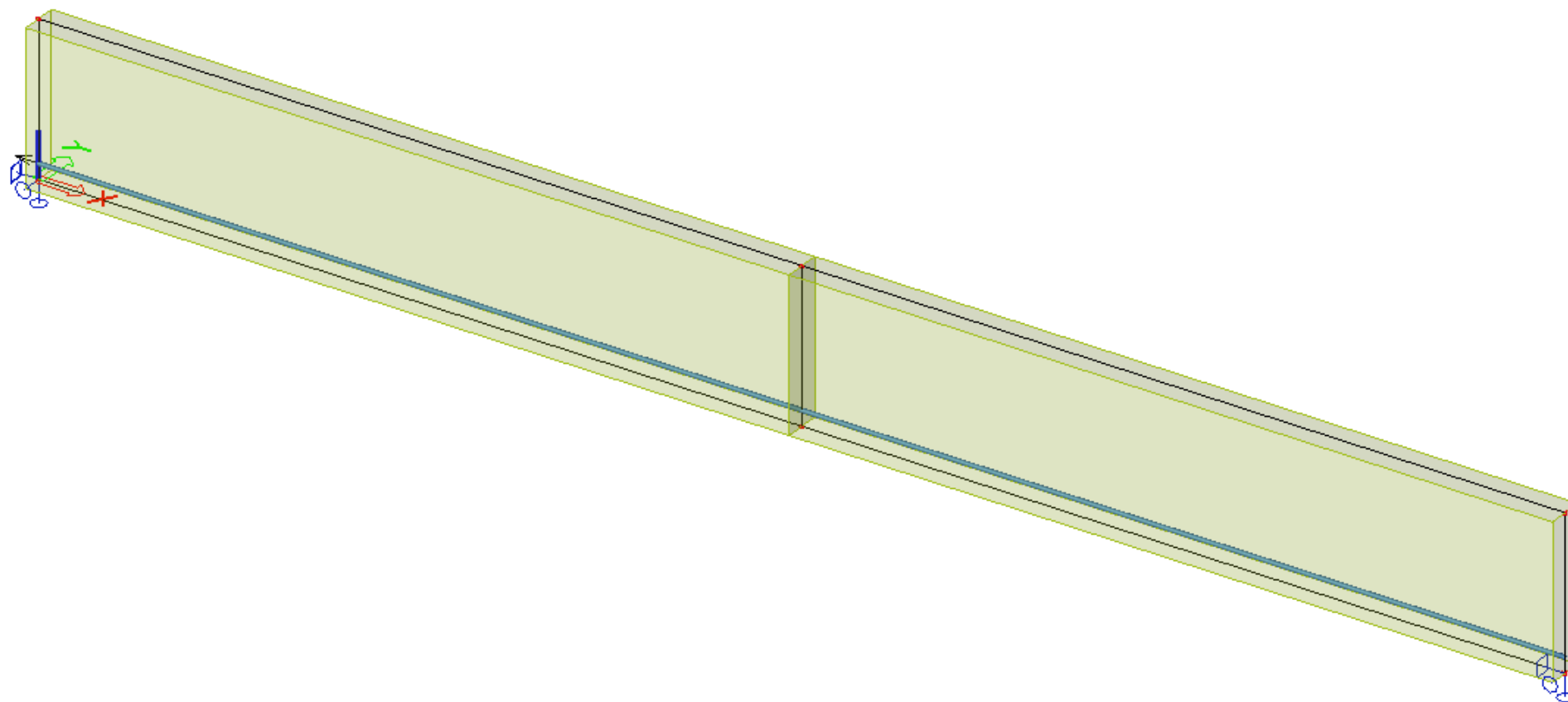
- bráněno volné deformaci nosníku od předpětí → vznik staticky neurčitých reakcí → vznik **sekundárního momentu od předpětí** M_{ps} (soustava reakcí je v rovnováze)
- celkový účinek na konstrukci $M_p = M_{pp} + M_{ps}$
- sekundární účinky od předpětí mohou dosahovat značných hodnot

Postup výpočtu

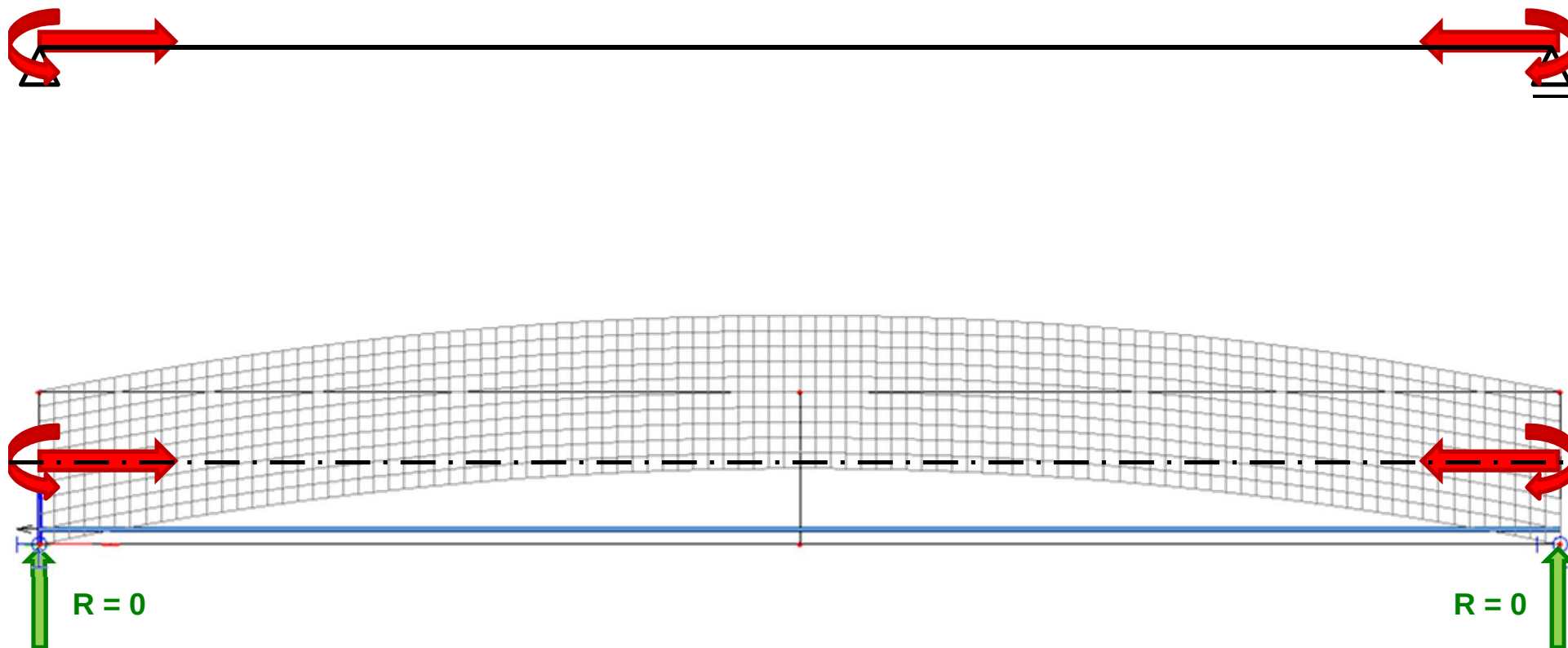
- tvorba statického modelu (poloha a tvar vedení kabelu, excentricita uložení a vedení kabelů vzhledem k těžišťové ose nosníku)
- určení ekvivalentního zatížení
- výpočet reakcí u staticky neurčitých konstrukcí
- určení průběhu vnitřních sil od ekvivalentního zatížení na konstrukci



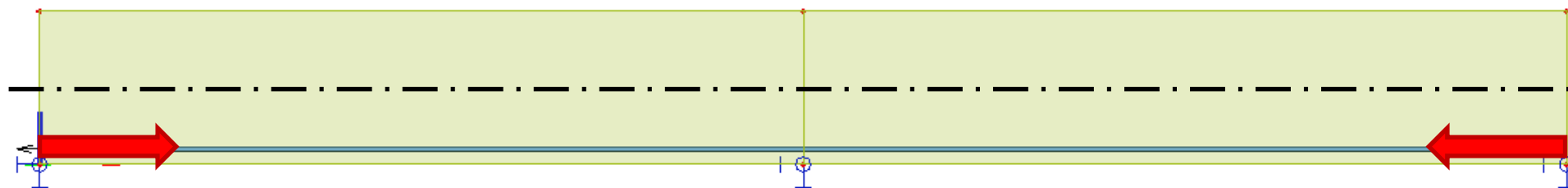
STATICKY URČITÁ KONSTRUKCE



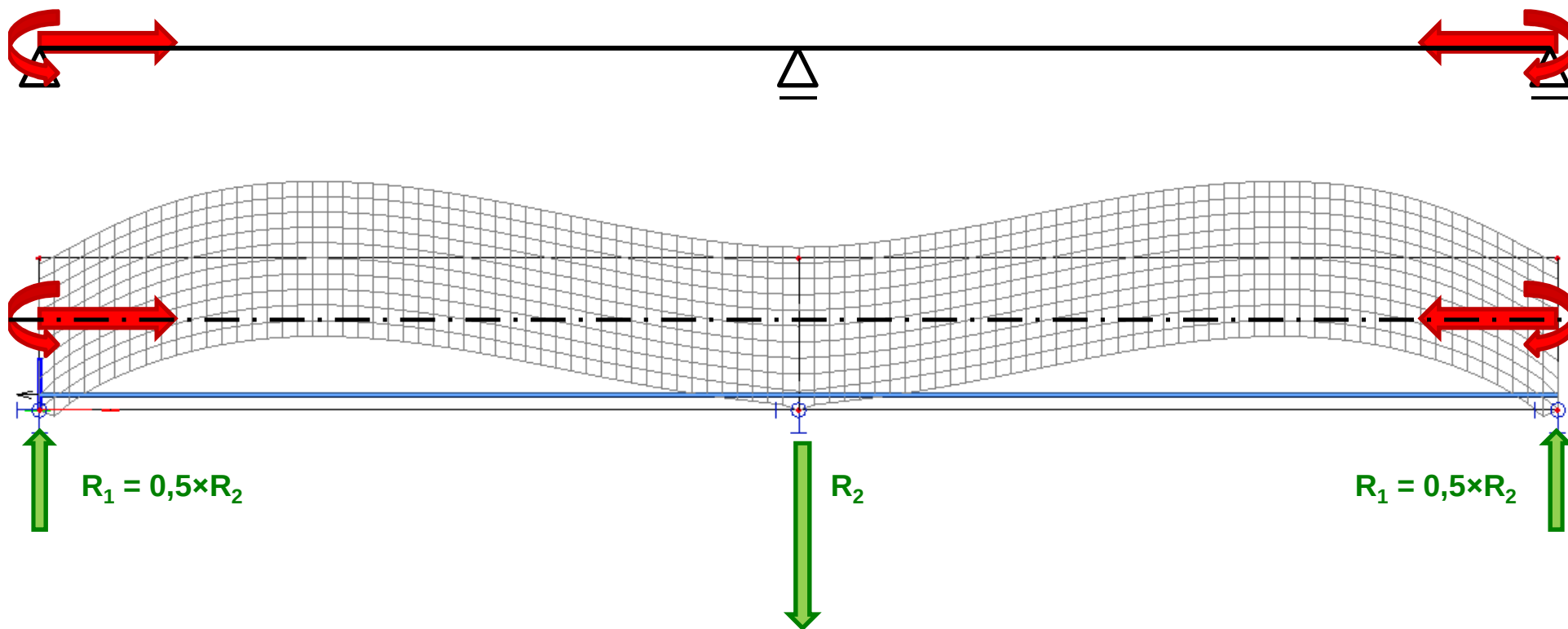
EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ

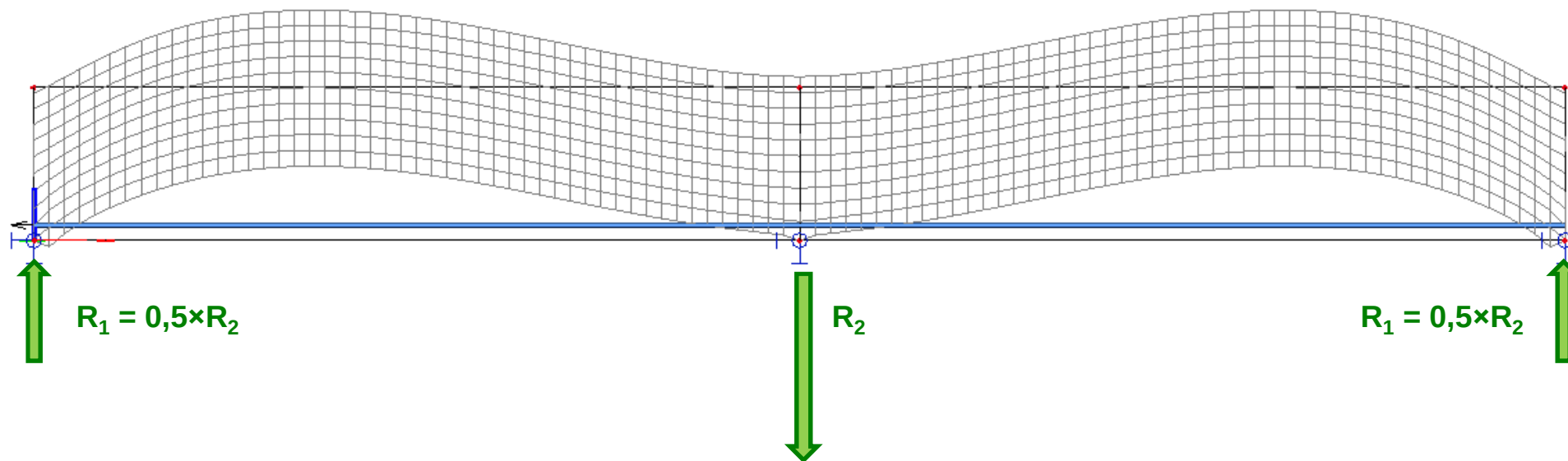
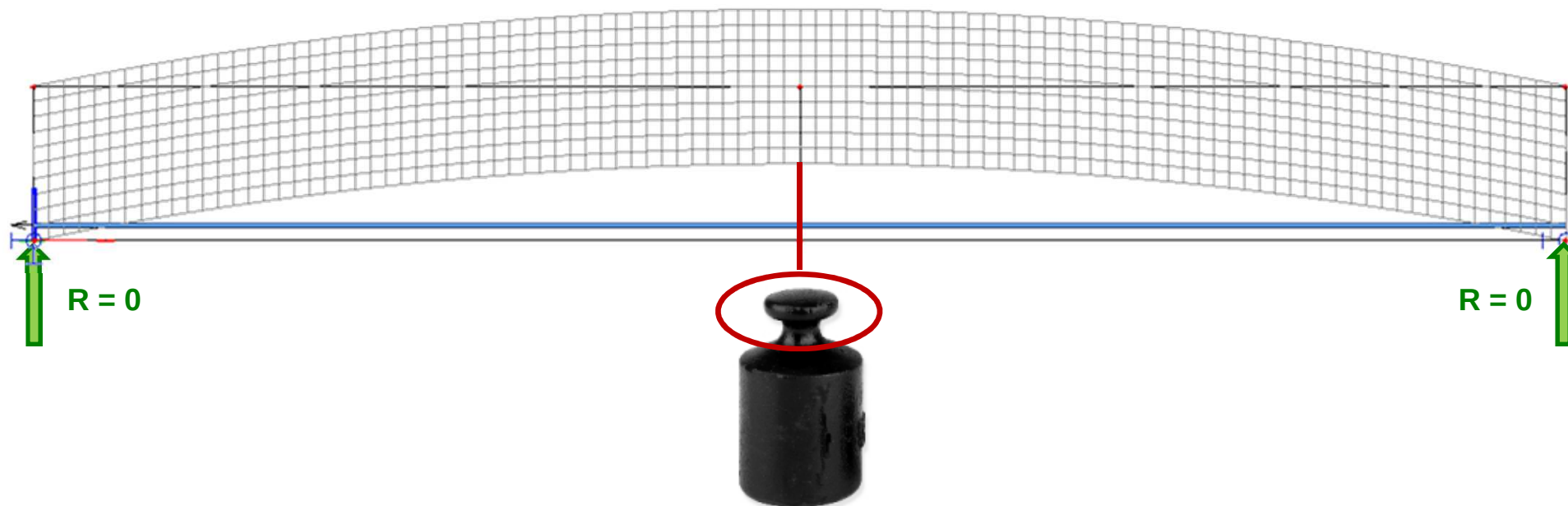


STATICKY NEURČITÁ KONSTRUKCE



EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ

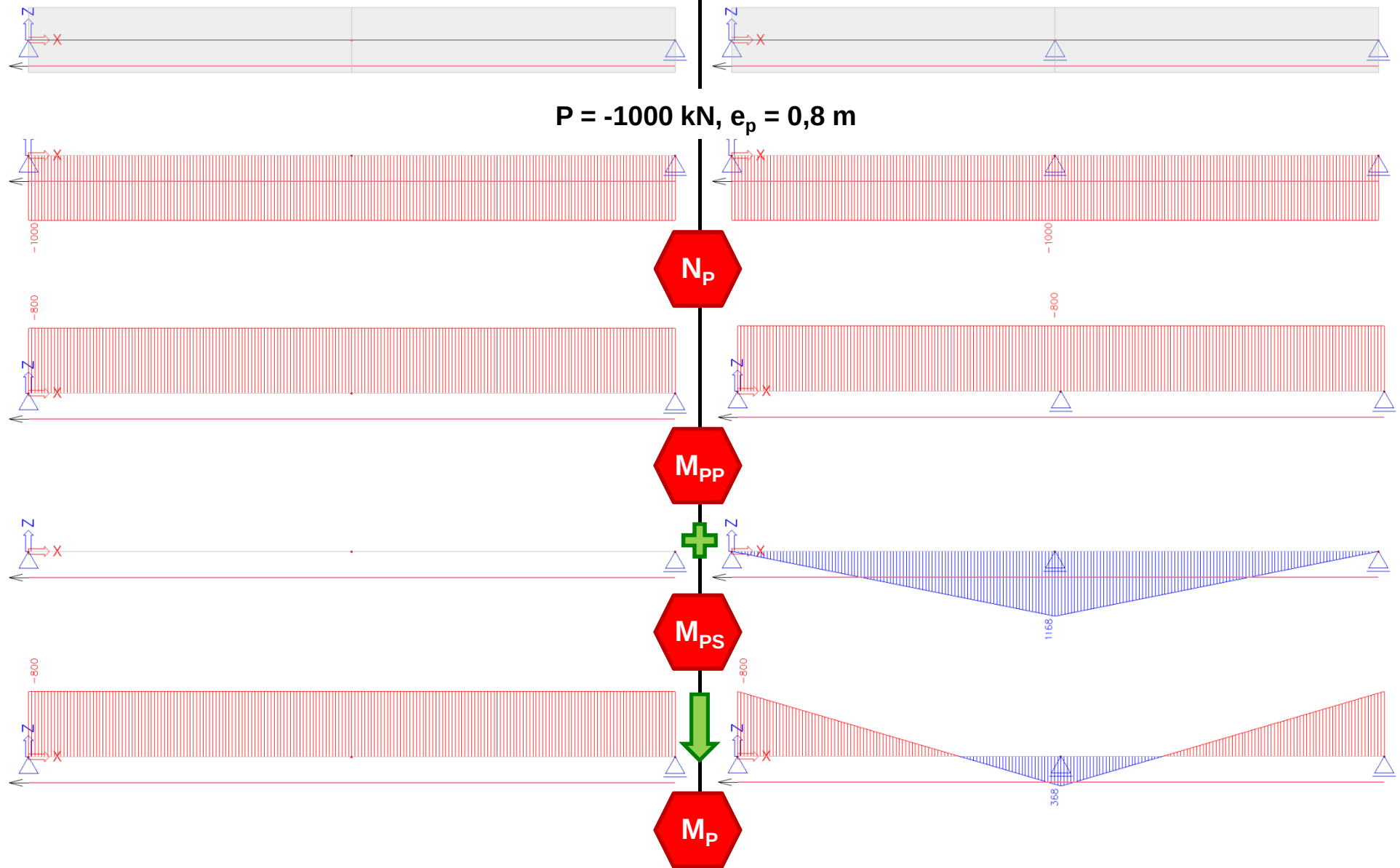




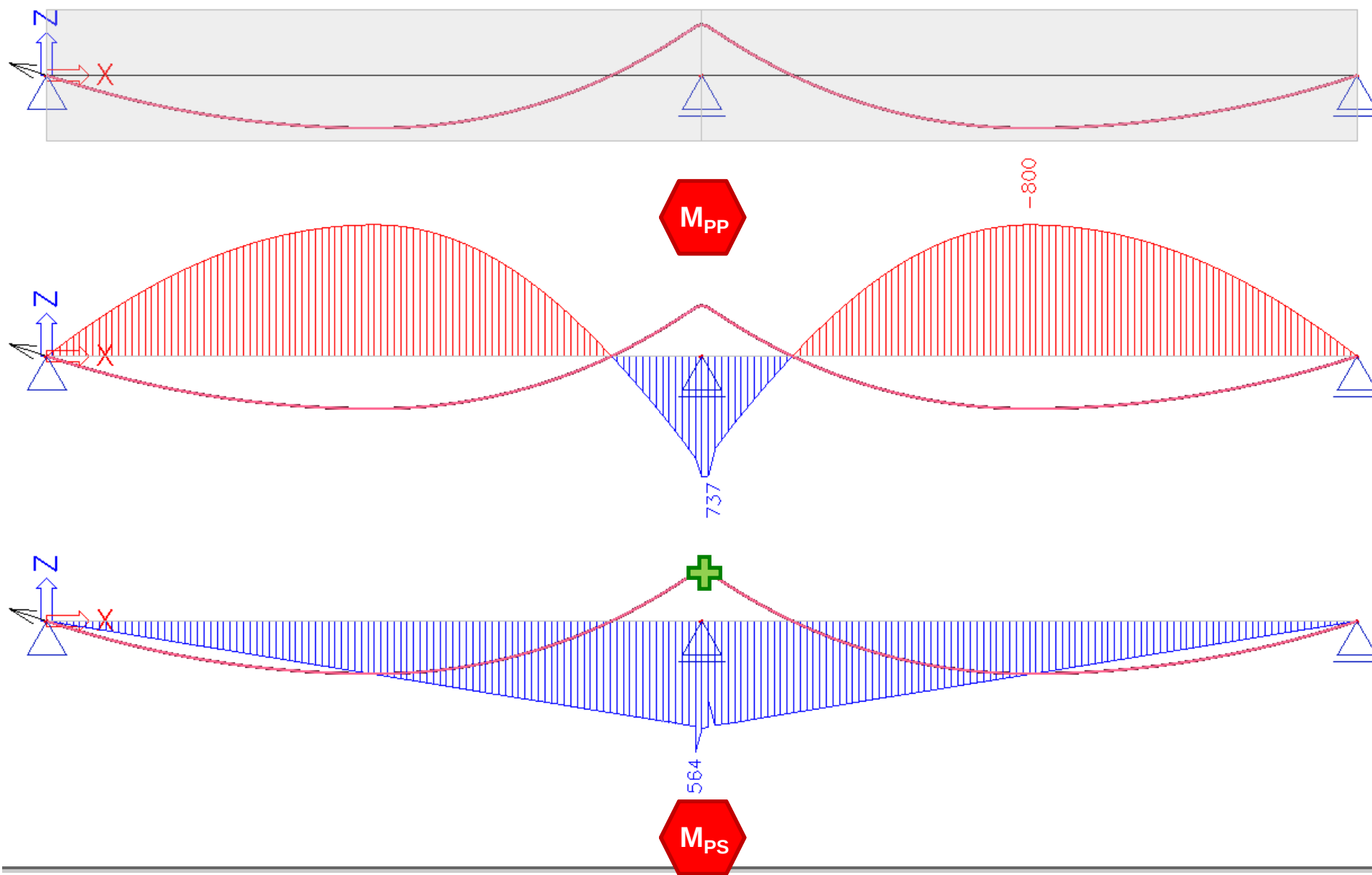
STATICKY URČITÁ KONSTRUKCE

STATICKY NEURČITÁ KONSTRUKCE

$P = -1000 \text{ kN}$, $e_p = 0,8 \text{ m}$



ZMĚNY STATICKY NEURČITÉHO MOMENTU



SHRNUTÍ PŮSOBNÍ

$$X_P = X_{PP} + X_{PS}$$

Primární =
staticky určité
účinky předpětí

Celkové účinky
od předpětí

Sekundární =
staticky neurčité
účinky předpětí

