

Pomůcka 1

P1.1) Návrh rozměrů průřezu vazníku

Návrh výšky h : $h \cong \left(\frac{1}{15} \text{ až } \frac{1}{18} \right) l$ (hrubší odhad)

$$h \cong \alpha \sqrt{\frac{M}{\beta b R}} \quad (\text{přesnější odhad})$$

Návrh šířky b : $b \cong \left(\frac{1}{3} \text{ až } \frac{1}{3,5} \right) h$,
(v rozmezí 250mm až 450 mm)

Ostatní veličiny:

l je rozpětí prvku

$\alpha = 1,00$ až $1,05$ dle míry předpětí

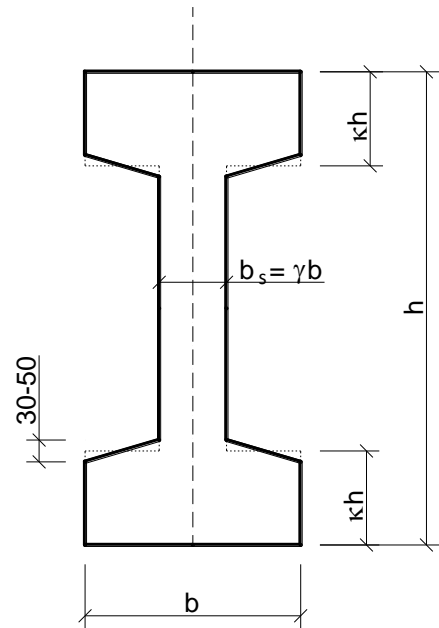
$$\beta = \frac{1}{6} \left[1 - (1 - \gamma) \cdot (1 - 2\kappa)^3 \right]$$

$\kappa = 0,15$ až $0,20$

$\gamma = 0,33$ až $0,5$

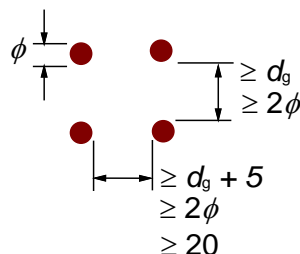
R budeme uvažovat $0,45 f_{ck}$ v MPa

M je součet momentů od ostatního stálého zatížení a proměnného zatížení v charakteristické hodnotě v MNm.



P1.2) Uspořádání předpínacích vložek ¹⁾

Minimální světlá vodorovná a svislá vzdálenost mezi předem napjatými přepínacími vložkami je uvedena na obrázku



kde ϕ je průměr předem napjaté předpínací výztuže a d_g je největší rozměr zrna kameniva.

Při umísťování předpínacích vložek poblíž (všech) okrajů průřezu je nutné brát zřetel na dodržení krycí vrstvy ($\geq c_{nom}$).

P1.3) Doplnující údaje k výpočtu krycí předpínací výztuže ¹⁾

a) Minimální krycí vrstva $c_{min,b}$ z hlediska soudržnosti

Uspořádání prutů:	Minimální krycí vrstva $c_{min,b}$ ^{*)} :
- oddělené	průměr prutu
- svazky	náhradní průměr (ϕ_n) (viz 8.9.1 normy)

^{*)} Pokud je jmenovitý maximální rozměr kameniva větší než 32 mm, $c_{min,b}$ se má zvýšit o 5 mm.

Poznámka:

Doporučené hodnoty $c_{min,b}$ pro kanálky s dodatečně napjatými vložkami jsou:

- kruhové kanálky: průměr;
- pravoúhelníkové kanálky: větší z hodnot: menší rozměr, nebo polovina většího rozměru.

Není však třeba uvažovat hodnotu větší než 80 mm, jak u kruhového, tak pravoúhelníkového kanálku.

Doporučené hodnoty pro předem napjaté předpínací vložky jsou:

- 1,5násobek průměru lana nebo hladkého drátu;
- 2,5násobek průměru drátu s vtisky.

b) Minimální hodnoty krycí vrstvy $c_{\min, \text{dur}}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro předpínací výztuž

Požadavek prostředí pro $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)							
Třída konstrukce	Stupeň vlivu prostředí podle tabulky 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

¹⁾ **Doporučení pro projekt:** volte umístění lan v rastru 50 mm / 50 mm v počtu maximálně 6 lan v jedné řadě (maximálně 6 řad).

P1.4) Omezení šířky trhlin

(Tabulka 7.1N) Doporučené hodnoty w_{\max} (mm)

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté nesoudržnou výztuží	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,4 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekomprese

1) Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má vést k přijatelnému vzhledu. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.

2) Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.

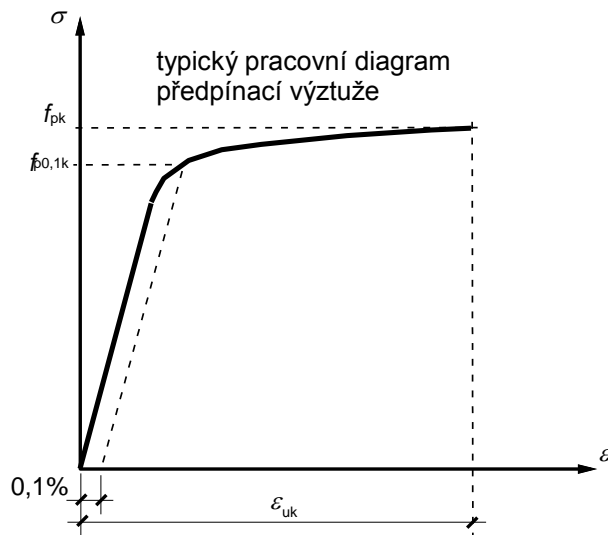
Poznámka:

Při dekompresi se požaduje, aby veškerá soudržná předpínací výztuž nebo hadice byly alespoň 25 mm uvnitř tlačeného betonu.

P1.5) Předpínací výztuž – některé vlastnosti a charakteristiky

a) Některé vlastnosti:

Smluvní mez kluzu 0,1% ($f_{p0,1k}$) a stanovená hodnota **pevnosti v tahu** (f_{pk}) se definují charakteristickou hodnotou síly při poměrném přetvoření 0,1 %, popř. charakteristickou hodnotou maximálního zatížení v dostředném tahu, dělenou jmenovitou průřezovou plochou – viz obrázek.

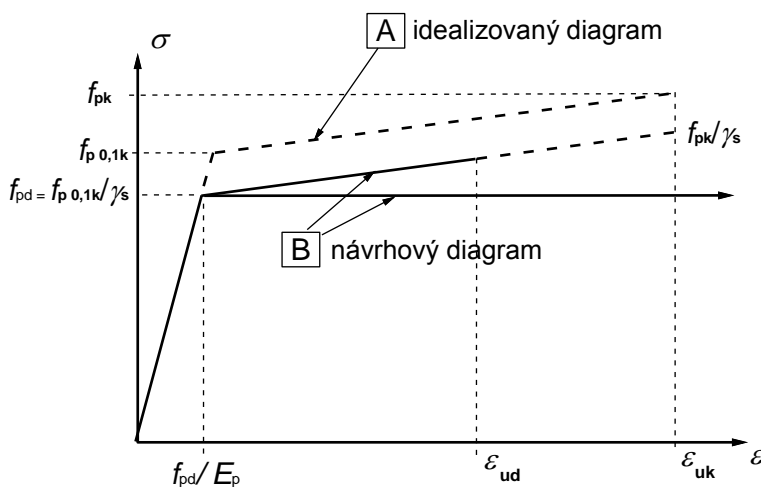


Návrhovou hodnotu **modulu pružnosti** E_p pro **dráty a tyče** lze předpokládat rovnou 205 GPa. Skutečná hodnota může být v rozsahu 195 GPa až 210 GPa v závislosti na výrobním postupu. V průvodním certifikátu dodávky má být uvedena příslušná hodnota.

Návrhovou hodnotu **modulu pružnosti** E_p pro **lana** lze předpokládat rovnou 195 GPa. Skutečná hodnota může být v rozsahu 185 GPa až 205 GPa v závislosti na výrobním postupu. V průvodním certifikátu dodávky má být uvedena příslušná hodnota.

Průměrnou hodnotu **objemové hmotnosti předpínací výztuže** lze při návrhu obvykle uvažovat 7850 kg/m^3 .

b) Pracovní diagramy pro předpínací výztuž (idealizovaný a návrhový):



Návrhová hodnota napětí v předpínací výztuži f_{pd} se vypočítá dle vztahu $f_{pd} = f_{p0,1k}/\gamma_s$, kde pro trvalé a dočasné návrhové situace $\gamma_s = 1,15$.

Pokud není známá hodnota $f_{p0,1k}$ doporučuje se uvažovat $f_{p0,1k}/f_{pk} = 0,9$

Hodnota **návrhového mezního přetvoření** v předpínací výztuži ϵ_{ud} se určí dle národní přílohy ČR normy EC2 jako $0,9\epsilon_{uk}$. Pokud nejsou známy přesnější hodnoty vlastností předpínací výztuže, doporučuje se uvažovat $\epsilon_{ud} = 0,02$.

c) Rozměry a vlastnosti předpínacích lan:

Označení oceli	Číslo oceli	Průměr ϕ [mm]	Průřezová plocha $A_{p,1}$ [mm ²]	Hmotnost na 1 bm [g/m]	Charakteristická pevnost v tahu f_{pk} [MPa]	Charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% $f_{p0,1k}$ [MPa]
Y1770S7	1.1365	15,3	140	1093	1770	1560
		15,7	150	1172	1770	1560
Y1860S7	1.1366	15,3	140	1093	1860	1640
		15,7	150	1172	1860	1640

V tabulce je uvedena pouze část sortimentu předpínacích lan pro potřebu výuky.

d) Označování předpínací výztuže

Zprava odleva odděleny spojovníky (-) se uvádějí údaje:

a) číslo příslušné části normy (pr) EN 10138:

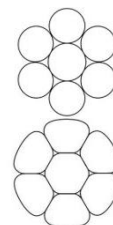
EN 10138-2 dráty

EN 10138-3 lana

EN 10138-4 tyče

b) značení vlastní předpínací oceli:

- písmeno Y značí předpínací ocel
- jmenovitá tahová pevnost v MPa
- písmeno C (dráty tažené za studena) nebo S (lana) nebo H (tyče válcované za tepla)
- pouze pro lana: číslice 2 nebo 3 nebo 7 udávající počet drátů v pramenci nebo laně,
- případně ještě písmeno G značící kompaktní lano



sedmidrátové lano

sedmidrátové kompaktní lano

c) jmenovitý průměr (drátu/lana/tyče) v mm

d) písmeno I značící povrch s vtisky (u drátů a lan) nebo písmeno R značící povrch s žebírky (u tyčí)

e) pouze pro dráty:

- typ vtisku T1 nebo T2 (specifikuje prEN 10138-2)
- třídu relaxace R1 nebo R2

f) pouze pro dráty a lana: třídu únavového chování F1 nebo F2

g) třídu odolnosti proti korozi pod napětím C1 nebo CL1 nebo C2 (u drátů a lan), C1 nebo C2 (u tyčí)

Příklad označení předpínacího lana s pevností 1860 MPa a průměrem 15,7 mm používaného v ČR:
EN 10138-3-Y1860S7-15,7-I-F1-C1

Příklad označení tyče s žebírky pevnosti 1050 MPa a průměru 36 mm používané v ČR:
EN 10138-4-Y1050H-36-R-C1

P1.6) Předpínací síla**a) Předpínací síla v průběhu napínání**

Napětí v předpínací vložce σ_{pa} při napínání před zakotvením (na napínaném konci) nesmí překročit hodnotu $\sigma_{p,max}$:

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

Odpovídající předpínací síla je $P_a = A_p \sigma_{pa}$.

b) Předpínací síla v čase transferu předpětí do betonu t_0

Střední hodnota počáteční předpínací síly $P_{m0}(x)$ (v okamžiku $t = t_0$ a ve vzdálenosti x od napínaného konce) vnesená do betonu bezprostředně po napnutí a zakotvení (dodatečné napínání) nebo po zavedení předpětí (napínání předem) se stanoví ze síly při napínání P_a se zohledněním *okamžitých ztrát* $\Delta P_i(x)$.

Napětí $\sigma_{pm0}(x)$ odpovídající síle $P_{m0}(x)$ a nemá překročit následující hodnotu:

$$\sigma_{pm0,max} = \min\{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\}$$

c) Předpínací síla v čase $t > t_0$

Střední hodnota předpínací síly $P_{m,t}(x)$ v okamžiku $t > t_0$ má být stanovena s ohledem na způsob předpínání (okamžité ztráty) a dále mají být uvažovány *časově závislé ztráty* předpětí $\Delta P_{c+s+r}(x)$ vyplývající z dotvarování a smršťování betonu a dlouhodobé relaxace předpínací oceli, ev. ztráty pružným přetvořením od ostatního stálého zatížení a proměnného zatížení.

d) Účinky předpětí v mezních stavech únosnosti (MSÚ)

Obecně se návrhová hodnota předpínací síly v čase t stanoví ze vztahu $P_{d,t}(x) = \gamma_{P, fav} \cdot P_{m,t}(x)$, kde $\gamma_{P, fav}$ je dílčí součinitel pro zatížení od předpětí P (dle NAČR pro dočasné a trvalé návrhové situace je $\gamma_{P, fav}=1$).

Poznámka: Pro posouzení MSÚ průřezu namáhaného ohybovým momentem a normálovou silou je potřeba znát návrhovou hodnotu *základní předpínací síly* $P_{d,t}^0$. V případě prvků předem předpjatých se tato rovná návrhové hodnotě předpínací síly v čase t , ve které nebyly zohledněny ztráty pružným přetvořením betonu od předpínací síly a zatížení. Lze ji spočítat podle vztahu:

$$P_{d,t}^0(x) = \gamma_{P, fav} \cdot P_{m,t,u}(x)$$

kde $P_{m,t,u}(x)$ je střední hodnota předpínací síly v čase t , ve které jsou zohledněny krátkodobé a časově závislé ztráty předpětí proběhlé až do času t kromě ztrát pružným přetvořením betonu od předpínací síly P a zatížení.

e) Účinky předpětí v mezních stavech použitelnosti

Při výpočtech použitelnosti musí být uvažovány odchylky možných změn předpětí. V mezním stavu použitelnosti se stanoví dvě charakteristické hodnoty předpínací síly ze vztahů

$$P_{k, sup} = r_{sup} \cdot P_{m,t}(x)$$

$$P_{k, inf} = r_{inf} \cdot P_{m,t}(x)$$

kde: $P_{k, sup}$ je horní charakteristická hodnota;
 $P_{k, inf}$ dolní charakteristická hodnota.

Doporučené hodnoty r_{sup} a r_{inf} dle NAČR jsou:

- pro předem napínané nebo nesoudržné předpínací vložky: $r_{sup} = 1,05$ a $r_{inf} = 0,95$;
- pro dodatečně napínané soudržné předpínací vložky: $r_{sup} = 1,10$ a $r_{inf} = 0,90$;
- pokud se provádějí příslušná měření (např. přímé měření předpětí), pak lze uvažovat: $r_{sup} = r_{inf} = 1,0$.

V hodnotě předpínací síly $P_{m,t}(x)$ jsou zahrnuty veškeré ztráty předpětí včetně ztrát pružným přetvořením betonu od předpínací síly a kombinace účinků zatížení, pro kterou se bude posudek provádět. Pro posouzení MSP – omezení napětí na průřezu od předpínací síly a kombinace účinků zatížení se vyčísluje pomocí charakteristik betonového průřezu (A_c , I_c , e_p - excentricita předpínací síly vztažená k těžišti betonového průřezu).

Poznámka: V případě, kdy se napětí na průřezu od předpínací síly a kombinace účinků zatížení budou vyjadřovat pomocí charakteristik ideálního průřezu (tzn. se zahrnutím vlivu výztuže, tj. A_i , I_i , e_{pi}), charakteristické hodnoty předpínací síly se stanoví ze střední hodnoty předpínací síly $P_{m,t,u}(x)$, tj. síly, ve které jsou zohledněny krátkodobé a časově závislé ztráty předpětí kromě ztrát pružným přetvořením betonu od předpínací síly P a zatížení.

P1.7) Základní přehled značení některých veličin pro CL001, Téma č. 1

Účinky zatížení:

Rozlišujeme účinky zatížení od „zatížení“ - F a od předpětí P a celkové E: F+P=E

$M_{g0,k}$ moment od g_0 – charakteristická hodnota

$M_{g1,k}$ moment od g_1 – charakteristická hodnota

$M_{q,k}$ moment od q – charakteristická hodnota

Kombinace účinků zatížení:

M_{Fk} moment - charakteristická kombinace od „zatížení“ (tedy bez P)

M_{Fk,ψ_1} moment - častá kombinace od „zatížení“ (bez P)

M_{Fk,ψ_2} moment - kvazistálá kombinace od „zatížení“ (bez P)

M_{Fd} moment - návrhová kombinace od „zatížení“ (bez P)

Předpínací síla, napětí:

$P_{m,t}$ střední hodnota předpínací síly v čase t

$P_{k,t}$ charakteristická hodnota předpínací síly v čase t

$P_{d,t}$ návrhová hodnota předpínací síly v čase t

$P_{d,\infty}^0$ návrhová hodnota základní předpínací síly v čase ∞

$\sigma_{pd,\infty}^0$ základní (návrhová hodnota) napětí v předpínací výztuži v čase ∞ , atd.

Změny předpětí okamžité (některé závisí na x , tj. vzdálenosti vyšetřovaného místa od napínaného konce):

$\Delta\sigma_{psl}$ ev. ΔP_{sl} ztráta vyvozená pokluzem klínu (kuželíku) v kotvě (anchorage set loos)

$\Delta\sigma_{pda}$ ev. ΔP_{da} ztráta vyvozená změnou vzdálenosti opěr (deformation of abutment)

$\Delta\sigma_{pr,st}$ ev. $\Delta P_{r,st}$ ztráta vyvozená relaxací oceli (okamžitá – short term)

$\Delta\sigma_{pT}$ ev. ΔP_T ztráta vyvozená rozdílem teplot (temperature)

$\Delta\sigma_{pel}$ ev. ΔP_{el} ztráta vyvozená pružným přetvořením betonu obecně (elastic strain)

$\Delta\sigma_{pel,P}$ ev. $\Delta P_{el,P}$ změna vyvozená pružným přetvořením betonu od P (obdobně indexy od vlastní tíhy g_0 , provozní ztráty od dlouhodobé složky „zatížení“ bez $g_0 \rightarrow (g_1 + \psi_2 Q)$, nebo jen od krátkodobé složky od $Q \rightarrow (1 - \psi_2) Q$)

Změny předpětí časově závislé (závisí na vyšetřovaném čase t a x):

$\Delta\sigma_{pr,lt}$ ev. $\Delta P_{r,lt}$ ztráta vyvozená relaxací oceli (dlouhodobá – long term)

$\Delta\sigma_{pc}$ ev. ΔP_c ztráta vyvozená dotvarováním betonu (creep)

$\Delta\sigma_{ps}$ ev. ΔP_s ztráta vyvozená smršťováním betonu (shrinkage)

$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$ ev. ΔP_{c+s+r} výsledná časově závislá ztráta zohledňující dotvarování, smršťování relaxaci a jejich vzájemnou redukci.

Značení předpětí v čase t v místě x :

σ_{pa} ev. P_a napětí ev. síla v předpínací vložce při předpínání (před zakotvením) v místě pod kotvou, říkejme mu kotevní (napínaní) napětí, nemá překročit hodnotu $\sigma_{p,max}$

$\sigma_{pm0}(x)$ ev. $P_{m0}(x)$ napětí ev. síla (v okamžiku $t = t_0$) bezprostředně po zavedení předpětí, nemá být větší než $\sigma_{pm0,max}$

$\sigma_{pm0,u}(x)$ ev. $P_{m0,u}(x)$ napětí ev. síla (v okamžiku $t = t_0$) bezprostředně po zavedení předpětí bez ztrát pružným přetvořením

$\sigma_{pm,\infty}(x)$ ev. $P_{m,\infty}(x)$ napětí ev. síla v okamžiku $t = \infty$ se zohledněním časově závislých ztrát

$\sigma_{pm,\infty,u}(x)$ ev. $P_{m,\infty,u}(x)$ napětí ev. síla v okamžiku $t = \infty$ se zohledněním časově závislých ztrát bez ztrát pružným přetvořením

Obecně:

$\sigma_{pm,t}(x)$ ev. $P_{m,t}(x)$ napětí ev. síla v okamžiku $t > t_0$ se zohledněním časově závislých ztrát, za t se dosadí číslo nebo značka zatížení

$\sigma_{pm,t,u}(x)$ ev. $P_{m,t,u}(x)$ napětí ev. síla v okamžiku $t > t_0$ se zohledněním časově závislých ztrát bez ztrát pružným přetvořením

Poznámka: Index m znamená, že se jedná o střední hodnotu (mean) (v popisu značení bylo vynecháno): tj. střední hodnota napětí v předpínací výztuži ..., střední hodnota předpínací síly ...

Tabulka sumarizace změn předpětí pro potřebu výuky

Změny předpětí v polovině rozpětí		Označení	σ [MPa] $\Delta\sigma$ [MPa]	P [kN]
Napětí (síla) při předpínání výztuže		$\sigma_{pa} P_a$		
Výrobní (okamžité)	ztráta vyvozená pokluzem klínu v kotvě	$\Delta\sigma_{psl}$		
	ztráta vyvozená změnou vzdálenosti opěr	$\Delta\sigma_{pda}$		
	ztráta vyvozená relaxací oceli	$\Delta\sigma_{pr,st}$		
	ztráta vyvozená rozdílem teplot	$\Delta\sigma_{pT}$		
	ztráta vyvozená pružným přetvořením betonu od P	$\Delta\sigma_{pel,P}$		
	změna vyvozená pružným přetvořením betonu od g_0	$\Delta\sigma_{pel,g0}$		
Napětí (síla) bezprostředně po zavedení předpětí		$\sigma_{pm0} P_{m0}$		
Napětí (síla) bezprostředně po zavedení předpětí, bez zohlednění ztrát pružným přetvořením		$\sigma_{pm0,u} P_{m0,u}$		
Provozní (dlouhodobé)	změna pružným přetvořením betonu od dlouhodobé složky zatížení bez vlastní tíhy (kvazistálá kombinace bez g_0)	$\Delta\sigma_{pel,(g1+\Psi2Q)}$		
	ztráta vyvozená relaxací oceli $\Delta\sigma_{pr,it}$	$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$		
	ztráta vyvozená dotvarováním betonu $\Delta\sigma_{pc}$			
	ztráta vyvozená smršťováním betonu $\Delta\sigma_{ps}$			
	změna pružným přetvořením betonu od krátkodobé složky proměnného zatížení	$\Delta\sigma_{pel,(1-\Psi2)Q}$		
Napětí (síla) v okamžiku $t = \infty$		$\sigma_{pm,\infty} P_{m,\infty}$		
Napětí (síla) v okamžiku $t = \infty$, bez zohlednění ztrát pružným přetvořením		$\sigma_{pm,\infty,u} P_{m,\infty,u}$		

Poznámka: lze použít i značení dle Navrátil, J., Zich, M.: Předpjatý beton, průvodce předmětem BL11, modul P01, VUT Brno, 2007