

STATICKÉ POSÚDENIE

POSÚDENIE STRÁT V PREDPÄTÍ KOTVENIA NÁVODNÉHO PILIERA HATE VODNÉHO DIELA HRIČOV

Názov: Posúdenie strát v predpätí kotvenia návodného piliera
hate vodného diela Hričov

Miesto stavby: k.ú. Horná

Interné číslo: 180306

Obstarávateľ: SVP š. p.

Profesia: Statika

Spracovateľ: LERAC Projekt s.r.o.
Ing. Radoslav Cifra,
cifrarado@gmail.com
t.č.: 0911 928 906

Zodpovedný projektant: Ing. Eduard Vyskoč,
autorizovaný stavebný
číslo oprávnenia: 0029

Stupeň: Statický posudok

Dátum: Apríl 2018

Počet strán: 8

Rozdeľovník: originál č. 1-4 obstarávateľ, originál č. 5 zhotoviteľ

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
1.1	Podklady	3
1.1.1	Zoznam použitých noriem	4
1.2	Predmet posudku	4
2	CHARAKTERISTIKA STAVBY	5
2.1	Charakteristika územia stavby	5
2.1.1	Výškové údaje.....	5
2.1.2	Geologický profil	5
2.1.3	Spôsob zakladania.....	5
2.2	Konštrukčné riešenie nosného systému hate	5
2.3	Predpätie.....	6
2.4	Straty v predpätí	6
2.5	Meranie predpätia.....	7
3	Metodika statického výpočtu	7
3.1	Výsledky statického výpočtu	7
4	ZÁVER POSUDKU	8
5	UPOZORNENIA.....	8

1 ÚVOD

Toto statické posúdenie vydávam na základe požiadavky investora SVP š. p., OZ Piešťany .

Statické posúdenie sa zaoberá stratami predpätia v navrhnutých kotvách pre zabezpečenie stability návodného piliera hate vodného diela Hričov.

1.1 Podklady

- Ing. Eduard Vyskoč, Statické posúdenie stability návodného piliera hate vodného diela Hričov, december 2012
- Fotodokumentácia
- STN-EN
- Vyhlášky ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky
- literatúra:

Harvan, I., *Predpätý betón. Navrhovanie podľa spoločných európskych noriem*. STU Bratislava, 2010

Bilčík, J., Fillo, L., Benko, V., Halvoník, J., 2008. *Betónové konštrukcie. Navrhovanie podľa STN EN 1992-1-1*

Turček, P., Hulla, J., *Zakladanie stavieb*, 2004

Majdúch D., Aringer. K. - *Oporné múry a podzemné steny*, 1982

Vyskoč E., - Vyskoč A. 2016. *Ako by mala vyzeráť spolupráca statika s geológom a požiadavky na geotechnický prieskum (Statika stavieb 2016 Zborník príspevkov z 21. konferencie)*

Kyseľ J a kolektív, *Statické tabuľky*, 2010

Zvara, J., Majdúch, D., *Betónové konštrukcie*. SVŠT Bratislava, 1983

Grandtner, T. – Furda, J.: *Hate. Návrh pevnej a spodnej stavby pohyblivej hate*, SVŠT Bratislava, 1984;

Možiešik, Ľ. – Dušička, P. – Šulek, P.: *Hydrotechnické stavby. Hate. Vnútrozemské vodné cesty a plavebné objekty. Vodné elektrárne a využitie vodnej energie*. STU Bratislava, 2012

Vodné dielo Hričov. Technický pasport. Hydroconsult Bratislava, 1984;

Abaffy, D. a kol.: *Vodné diela na Slovensku, Príroda Bratislava, 1979*

1.1.1 Zoznam použitých noriem

STN EN 1990 Zásady navrhovania konštrukcií

Zvislé zaťaženie konštrukcie

Eurokód 1
STN EN 1991-1-1 Zaťaženia konštrukcií
Časť. 1-1: Všeobecné zaťaženia - Objemové hmotnosti,
vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov

Eurokód 1
STN EN 1991-2 Zaťaženia konštrukcií.
Časť 2: Zaťaženia mostov dopravou

Dimenzovanie a posudzovanie konštrukcií

Eurokód 2
STN EN 1992 -1-1 Navrhovanie betónových konštrukcií
Časť. 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy

Eurokód 2
STN EN 1992 -3 Navrhovanie betónových konštrukcií
Časť. 3: Betónové základy

Eurokód 7
STN EN 1997 -1 Navrhovanie geotechnických konštrukcií

STN ISO 13822 Zásady navrhovania konštrukcií.
Hodnotenie existujúcich konštrukcií

ČSN 73 1208 Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů.

1.2 Predmet posudku

Predmetom statického posudku je posúdenie strát predpätia v horninových kotvách a posúdenie výslednej kotevnej sily podľa požiadaviek plynúcich zo statického posúdenia „Vodná stavba Hričov – dodatočné kotvenie pilierov hate“ Ing. Eduard Vyskoč, Ing. Ľubomír Baláž vypracovaného v auguste 2014.

Posudzovaná je veľkosť predpínacej sily navrhnutá v predchádzajúcom posudku po prebehnutí strát predpätia na zmenené prevádzkové podmienky s ohľadom na zvýšenie prevádzkovej hladiny o 0,5 m.

Ďalej je potrebné splniť požiadavky plynúce zo stanoviska Vodohospodárskej výstavby š.p., č 178-4120-2017; 2017-00007781 zo dňa 05.10.2017:

Doplniť PD o presný spôsob merania predopnutia kotiev.

Stanoviť medznú hodnotu maximálnej očakávanej straty predopnutia.

Stanoviť kritickú hodnotu straty predopnutia pre jednotlivé kotvy.

2 CHARAKTERISTIKA STAVBY

Posudzovaná konštrukcia vodného diela nádrže Hričov sa nachádza v katastrálnom území Horný Hričov v povodí Váhu.

2.1 Charakteristika územia stavby

2.1.1 Výškové údaje

Zemná hrádza, hať vrátane segmentových uzáverov, elektráreň a nádrž sú pre ďalšiu perspektívu podľa projektu vybudované tak, že umožňujú zdvihnúť hladinu v nádrži na kótu 326,60 (327,00 J) m n.m. V súčasnosti sa zvýšenie hladiny využíva krátkodobo pri premiestňovaní súprav plávajúcich korčkových bagrov, zámerom prevádzky je zvýšiť hladinu o 0,50 m trvale.

2.1.2 Geologický profil

Vodné dielo sa nachádza v bradlovom pásme, ktoré tvoria slienité bridlice a sliene s puklinami vyplnenými druhotným kalcitom a so slabšími polohami pieskovcov s vápenatým tmelom. Hať a elektráreň sú založené na orlovských pieskovcoch a bridliciach.

2.1.3 Spôsob zakladania

Návodný pilier hate je vzhľadom na charakter podložia (skalnaté) oddielatovaný od priepadovej časti a dosky vývaru. Jeho základová škára je 3 krát zazubená s prevýšením 1,00 m. Šírka piliera v základovej škáre je 8,50 m. Pilier je kotvený do skalného podložia tromi predpätými lanami (podľa projektu 4000 kN).

2.2 Konštrukčné riešenie nosného systému hate

Konštrukcia hate je vyhotovená zo železobetónovej konštrukcie, pozostáva z krajných pilierov a medzipilierov so štyrmi poliami. Každé pole má svetlosť 18 m a výška hradenia je 9,5 m.

Otvory hate sú hradené oceľovými dvojíťmi segmentami, ktorými sa prepúšťa voda vrchom, po znížení horného segmentu, spodom po nadvihnutí dolného segmentu, alebo súčasne nad i pod segmentami. Segmenty sú skriňové, pričom horný je opatrený prepádovou plochou, zasúva sa za dolný segment.

Pre zabezpečenie revízie, údržby a opráv je možné každé pole zahradiť provizórnym hradením, ktoré pozostáva zo skriňových oceľových hradidiel (5 ks).

Na vzdušnej strane hate sa nachádza premostenie pre komunikáciu II. triedy so šírkou 7,30 m. Po oboch stranách komunikácie sú chodníky pre peších.

Medzi piliermi je vývar na utlmenie energie vodného skoku.

Bližší opis konštrukcie bol vyhotovený v predhádzajúcom posudku.

2.3 Predpätie

Na základe statického posúdenia „Vodná stavba Hričov – dodatočné kotvenie pilierov hate“ bolo predpísané kotvenie každého piliera dvomi predopnutými 15-pramencovými lanovými kontrolovateľnými horninovými kotvami Y1860 S7 - 15,3mm so zaručeným kotevným zaťažením aspoň 2340kN, so sklonom 10 ° a celkovou dĺžkou cca. 25m.

Každá lanová kotva bude pozostávať z 15-tich oceľových sedemdrôtových stabilizovaných lán s priemerom 15,3mm (T15) s menovitou pevnosťou v ťahu 1860MPa (Y1860S7). Každé lano bude predopnuté strednou hodnotou počiatkovej predpínacej sily 204kN. Celková stredná hodnota počiatkovej predpínacej sily v dobe predpínania v jednej kotve bude 3058kN.

Lano bude v hornine kotvené injektovanou trvalou horninovou kotvou. Na konštrukcii piliera bude osadená hlava kotvy s objímkou (napr. TENSACCIAl-System MT) s trojdielnymi klinmi (napr. MT15). Hlava kotvy nesmie vnieť do podkladu väčšie napätie ako je zaručená návrhová pevnosť betónu. Poklzs kotvenia nesmie byť väčší ako 5mm.

Aby sa zabránilo vzniku strát predpätia poklzsom kotvy v hornine navrhujeme laná napínať konštantnou silou, až do doby kým sa neustália posuny v kotve (ak dodávateľ nezaručí iný spôsob napínania s maximálnym poklzsom celej horninovej kotvy 5mm). Do horninovej kotvy sa vnesie predpísaná ťahová sila, ktorá sa následne bude udržiavať v konštantnej hodnote. Následne sa budú odčítavať prírastky posunu (resp. straty napätia) v časoch: 1,25-1,75-2,5-3,5-5-7-10-14-20-28-40-56-80-112-160 minút, prípadne dlhšie. Keď sa rozdiely posunov (resp. strát napätia) medzi dvomi meraniami aspoň 3-krát za sebou zmenšia a budú sa blížiť k nule možno lano ukotviť.

Na každej kotve sa vykonajú príslušné skúšky kotvenia.

Predpätie kotiev je potrebné počas životnosti kontrolovať v zmysle predpisov a noriem a prípadne laná dopnúť.

2.4 Straty v predpätí

Predmetné straty v predpätí boli posudzované pre horninovú kotvu dĺžky 35m (podľa statického posúdenia „Vodná stavba Hričov – dodatočné kotvenie pilierov hate“ betón piliera je nutné prevŕtať cca 20 m, potom do podlažia cca 15 m na osadenie kotvy), pričom sa vzhľadom na predpísaný spôsob predpínania neuvažuje s poklzsom injektovanej časti kotvy resp. sa uvažuje s celkovým poklzsom kotvy do 5mm. Vo výpočte bola uvažovaná stredná hodnota počiatkovej predpínacej sily v jednej kotve 3058kN. Súčet krátkodobých a dlhodobých strát v predpätí v jednej kotve bol stanovený výpočtom na hodnotu 341kN. Výsledná stredná hodnota predpätia v jednej kotve bude 2363kN. Návrhová vnesená sila (v oboch kotvách spolu) do konštrukcie s predpokladanými stratami bude 4726kN.

Navrhovaná hodnota predpätia v jednej kotve 2363kN v čase užívania bude dostatočná v zmysle požiadaviek predchádzajúceho statického posúdenia „Vodná stavba Hričov – dodatočné kotvenie pilierov hate“ (zaručené kotevné zaťaženie 2340kN) aj po prebehnutí všetkých predpokladaných strát.

V zmysle požiadaviek plynúcich zo stanoviska Vodohospodárskej výstavby š.p., č 178-4120-2017; 2017-00007781 zo dňa 05.10.2017 sú výsledné hodnoty strát predpätia nasledovné:

Očakávaná hodnota straty predpätia v jednej kotve Y1860 S7 - 15,3mm je 341kN.

Za kritickú hodnotu straty predopnutia pre jednotlivé kotvy Y1860 S7 - 15,3mm možno stanoviť stratu rovnajúcu sa rozdielu strednej hodnoty počiatkovej predpínacej sily (3058kN) a zaručeného kotevného charakteristického zaťaženia ($2340\text{kN} \cdot 1,15 = 2691\text{kN}$), ktorá je 367kN.

V prípade potreby možno použiť kotvu s lanami s väčším priemerom Y1860 S7 - 15,7mm.

2.5 Meranie predpätia

Všetky kotvy musia byť kontrolovateľné po celú dobu svojej životnosti napr. zabudovanými dynamometrami (napr. DYNAMAG) so zabudovanými výstupmi na vyhodnocovacie zariadenie.

Kalibrácia dynamometra sa uskutoční pri dosiahnutí najvyššej hodnoty predpínacej sily, teda pred uvoľnením predpínacieho zariadenia. Sila sa po zakotvení sa určí na základe inverznej kalibrácie a bude ukazovať reálne straty napätia po zakotvení.

Inštalácia snímača sa zrealizuje ešte pred predpínaním kotvy. Po predopnutí kotvy je inštalácia dynamometra nemožná.

Typ zariadenia, spôsob a interval odčítania, spôsob a interval kalibrácie merného zariadenia a potrebu zaškolenia obsluhy určí dodávateľ merania (napr. INSET s.r.o.).

3 Metodika statického výpočtu

Statický výpočet bol vyhotovený ručne. Vnútorne sily a napätia boli počítané metódami stavebnej mechaniky. Napätosť v prierezoch jednotlivých prvkov bola určená pomocou lineárnej pružnosti. Posudzovanie napätosti a strát predpätí bolo vykonané podľa platných noriem.

3.1 Výsledky statického výpočtu

Výsledky statického výpočtu sú spracované v prílohe.

4 ZÁVER POSUDKU

Navrhované konečné predpätie v štádiu užívania konštrukcie (po prebehnutí uvažovaných strát predpätia) vyhovuje v zmysle požiadaviek statického posúdenia „Vodná stavba Hričov – dodatočné kotvenie pilierov hate“. V zmysle statického posúdenia „Vodná stavba Hričov – dodatočné kotvenie pilierov hate“ a tohto posúdenia strát v predpätí, pri dodržaní vstupných predpokladov výpočtov, nosná konštrukcia vyhovuje z hľadiska mechanickej odolnosti a stability konštrukcie v zmysle zákona č. 50/1976 Zb. § 43d ods. 1 písm. a) v znení neskorších predpisov a spoľahlivosti (t. j. bezpečnosti, použiteľnosti a trvanlivosti) predmetnej stavby v zmysle EC 1990 Zásady navrhovania.

Očakávaná hodnota straty predpätia v jednej kotve Y1860 S7 - 15,3mm je 341kN.

Za kritickú hodnotu straty predopnutia pre jednotlivé kotvy Y1860 S7 - 15,3mm možno stanoviť stratu rovnajúcu sa 367kN.

V prípade potreby možno použiť kotvu s lanami s väčším priemerom Y1860 S7 - 15,7mm.

Posúdenie niektorých častí bolo vyhotovené na základe určitých podkladov a predpokladov. V prípade zmeny týchto údajov, alebo pri zistení nových poznatkov je potrebné aj výsledky tohto statického posudku prehodnotiť resp. individuálne upraviť, ako aj v prípade, že počas rekonštrukčných prác sa vyskytne akákoľvek odlišnosť od vyššie uvedených predpokladov, je nevyhnutné prerušiť práce a ihneď privolať autora posudku.

Statický posudok je vyhotovený v 5 parách (č.1-5), z ktorého para č.1-3 slúži pre potreby pre potreby investora, para č. 4 pre vyhotovenie dodatočných kópií, resp. pre realizačnú firmu. Para č.5 slúži pre potreby spracovateľa.

Výsledky, závery a vyhodnotenie statického posudku sa vzťahuje iba na objekt/ predmet (objekty/ predmety) v ňom zadefinovaný/é.

5 UPOZORNENIA

- Realizácia musí byť vykonaná v súlade so všetkými technologickými predpismi, platnými normami, bezpečnostnými smernicami, predpismi a vyhláškami vyplývajúcimi z projektu.
- Realizácia musí byť vykonaná pod dozorom oprávnenej osoby
- Akékoľvek zmeny je potrebné konzultovať s projektantom statiky.
- V prípade rozdielov skutočného a projektovaného stavu je nutné upovedomenie projektanta statiky.
- všetky materiály a použité konštrukčné prvky sa musia v rámci výrobo-technických skúšok overiť a musia sa preukázať ich vlastnosti (atestami, kontrolnými skúškami betónov a pod.)
- Pri vykonávaní skúšok je potrebné riadiť sa príslušnými technickými normami (napr. STN EN 1992-1-1, STN EN 1997-1-1 a pod.)

Vypracoval: Ing. Radoslav Čifra

V Bratislave 04/2018

Kontroloval: Ing. Eduard Vyskoč

PRÍLOHA: Straty napätia v predpínacej výstuži

Vstupné údaje:

$$A_{pl} := 140 \cdot \text{mm}^2$$

...plocha predpínacieho lana $\phi 15,3\text{mm}$

$$n_p := 15$$

...počet predpínacích lán

$$A_p := n_p \cdot A_{pl} = 2100 \text{ mm}^2$$

...celková plocha predpínacích lán v jednej kotve

Predpínacie lano

$$E_p := 195 \cdot 10^3 \cdot \text{MPa}$$

...modul pružnosti predpínacích lán

a.) Krátkodobé straty

$$L_l := 35 \cdot \text{m}$$

...dĺžka dráhy predpínacej jednotky

1) Strata od trenia predpínacích jednotiek o steny kanálikov

$$\mu := 0.1$$

...koeficient trenia lana s mazivom

$$\theta := 0$$

...súčet uhlov zakrivenia

$$k := 0.01$$

...imperfekcie na priamom lane

$$f_{pk} := 1860 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{p0.1k} := 0.87 \cdot f_{pk} = (1.618 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$F_{pkl} := f_{pk} \cdot A_{pl} = 260.4 \text{ kN}$$

$$F_{p0.1kl} := f_{p0.1k} \cdot A_{pl} = 226.548 \text{ kN}$$

$$F_{pk} := f_{pk} \cdot A_p = (3.906 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$F_{p0.1k} := f_{p0.1k} \cdot A_p = (3.398 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\sigma_{p,max} := \min(0.8 \cdot f_{pk}, 0.9 \cdot f_{p0.1k}) = (1.456 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$F_{pmax} := \sigma_{p,max} \cdot A_p = (3.058 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

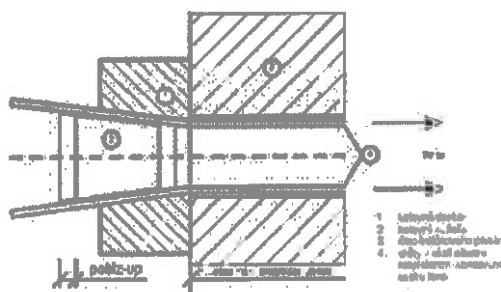
$$F_{plmax} := \sigma_{p,max} \cdot A_{pl} = 203.893 \text{ kN}$$

$$x := \frac{L_l}{2} \cdot \text{m}^{-1} = 17.5$$

...vyšetrované miesto

$$\Delta\sigma_{p,\mu} := \sigma_{p,max} \cdot (1 - e^{\mu \cdot (\theta + k \cdot x)}) = -25.711 \text{ MPa}$$

2) Strata od poklzu v kotvách



$$u_p := 5 \cdot \text{mm}$$

...hodnota poklzu

$$\Delta\epsilon_p := \frac{u_p}{L_l} = 0.00014$$

$$\Delta\sigma_{p,a} := -E_p \cdot \frac{u_p}{L_l} = -27.857 \text{ MPa}$$

3) Strata od relaxácie predpínacej výstuže (1. časť- $t_0 \Rightarrow t_1$) $\Delta\sigma_{pr1}$

$$t_{0pr} := 24 \quad \text{hodín} \quad (24 \text{ alebo } 48 \text{ hodín})$$

Trieda 2 $\Rightarrow \phi LS$

$$\rho_{1000} := 2.5$$

$$k_1 := 0.66$$

$$k_2 := 9.1$$

$$\sigma_{p3} := \sigma_{p,max} \cdot 0.97 - \Delta\sigma_{p,a} = (1.441 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$\mu := \frac{\sigma_{p3}}{f_{pk}} = 0.774 \quad \Delta\sigma_{p,r1} := -\sigma_{p3} \cdot k_1 \cdot \rho_{1000} \cdot 10^{-5} \cdot e^{\mu \cdot k_2} \cdot \left(\frac{t_{0pr}}{1000} \right)^{0.75 \cdot (1 - \mu)} = -14.551 \text{ MPa}$$

Záver: Kontrola napätia σ_{pm0} v predpínacej výstuži v dobe transferu predpätia do prvku

$$\sigma_{p,max} = (1.456 \cdot 10^3) \text{ MPa} \quad \Delta\sigma_{p,\mu} = -25.711 \text{ MPa} \quad \Delta\sigma_{p,a} = -27.857 \text{ MPa} \quad \Delta\sigma_{p,r1} = -14.551 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm0} := \sigma_{p,max} \cdot 0.97 + (\Delta\sigma_{p,a} + \Delta\sigma_{p,r1} + \Delta\sigma_{p,\mu}) = 1344.57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm0} \leq \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k}) \quad \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k}) = (1.375 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm0} := \begin{cases} \text{if } \sigma_{pm0} \leq \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k}) \\ \quad \sigma_{pm0} \\ \text{else} \\ \quad \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k}) \end{cases}$$

$$\sigma_{pm0} = (1.345 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$A_p = 0.0021 \text{ m}^2$$

$$P_{m0} := -\sigma_{pm0} \cdot A_p = -2.824 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

b.) Dlhodobé straty v predpínacej výstuži

σ_{pr2} -hodnota straty od relaxácie predpínacej výstuže v časovom úseku (t_2, t_{0pr})
(čas v hodinách)

$$\mu := \frac{\sigma_{pm0}}{f_{pk}} = 0.723$$

$$t_2 := 500000$$

$$t_{0pr} = 24$$

$$k_1 = 0.66$$

$$k_2 = 9.1$$

$$\sigma_{pm0} = 1.345 \text{ GPa}$$

$$\rho_{1000} = 2.5$$

$$\Delta\sigma_{p,r2} := -\sigma_{pm0} \cdot k_1 \cdot \rho_{1000} \cdot 10^{-5} \cdot e^{\mu \cdot k_2} \cdot \left(\left(\frac{t_2}{1000} \right)^{0.75 \cdot (1 - \mu)} - \left(\frac{t_{0pr}}{1000} \right)^{0.75 \cdot (1 - \mu)} \right) = -50.714 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm,t2} := \sigma_{pm0} + \Delta\sigma_{p,r2} = (1.294 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

Vyhodnotenie strát napätia v predpnacích lanách

$$\sigma_{pm0} = (1.345 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

...napätie v dobe vnesenia predpätia do prvku

$$\sigma_{pm_t2} := \sigma_{pm0} + \Delta\sigma_{p,r2} = (1.294 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

...napätie v dobe $t2 = \infty$ po prebehnutí všetkých uvažovaných strát

$$\sigma_{p,max} = 1456.38 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{pm0}}{\sigma_{p,max}} = 0.923$$

...podiel strát na počiatočnom predpätí:

$$\frac{\sigma_{pm0} + \Delta\sigma_{p,r2}}{\sigma_{p,max}} = 0.888$$

$$\Delta\sigma_p := -\sigma_{p,max} \cdot 0.03 + (\Delta\sigma_{p,a} + \Delta\sigma_{p,r1} + \Delta\sigma_{p,\mu}) + \Delta\sigma_{p,r2} = -162.524 \text{ MPa}$$

$$\Delta P := \Delta\sigma_p \cdot A_p = -341.301 \text{ kN}$$

...celkové straty

Výsledná predpnacia sila v čase $t2 = \infty$ v štádiu užívania:

$$P_{m_t2} := -\sigma_{pm_t2} \cdot A_p$$

$$P_{m_t2} = -2.717 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$P_d := \frac{P_{m_t2}}{1.15}$$

$$P_d = -2.363 \cdot 10^3 \text{ kN}$$