

# Vliv relaxace betonu na hodnotu vnitřních sil od sedání podpěry mostu

ČVUT, fakulta stavební,  
katedra stavební mechaniky,  
ZS 2017/2018

**Lenka Dohnalová**

Semestrální práce z předmětu  
**Přetváření a porušování materiálů**  
**Projekt K**

Odborné vedení:  
*prof. Ing. Milan Jirásek, DrSc.*



# Obsah

<b>1</b>	<b>Zadání úlohy</b>	<b>2</b>
1.1	Vstupní parametry . . . . .	2
1.1.1	Konstrukce . . . . .	2
1.1.2	Poklesy . . . . .	2
1.1.3	Složení betonové směsi . . . . .	4
1.1.4	Ostatní parametry . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Výpočet</b>	<b>4</b>
2.1	Pokles krajní podpěry . . . . .	5
2.2	Pokles vnitřní podpěry . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Výpočet pro jednotlivé modely dotvarování betonu</b>	<b>8</b>
3.1	Model B3 . . . . .	8
3.1.1	Hodnota $E(t)$ pro srovnávací výpočet dle principu pružnosti	8
3.1.2	Výsledky výpočtů, srovnání . . . . .	9
3.2	<i>fib</i> Model 2010 . . . . .	10
3.2.1	Hodnota $E(t)$ pro srovnávací výpočet dle principu pružnosti	10
3.2.2	Výsledky výpočtů, srovnání . . . . .	11
3.3	Zhodnocení výsledků . . . . .	12
	<b>Literatura</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Zdrojové kódy výpočtů v Matlabu</b>	<b>16</b>
4.1	function B3_J . . . . .	16
4.2	function fib_J . . . . .	17
4.3	Skript pro případ sedání krajní opěry . . . . .	18
4.4	Skript pro případ sedání vnitřního pilíře . . . . .	23

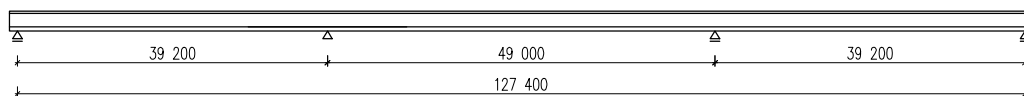
# 1 Zadání úlohy

Cílem práce je srovnání časového vývoje vnitřních sil (konkrétně ohybového momentu v místě jeho maxima) na mostní konstrukci od postupného klesání jedné z mostních podpěr a to pro pružný výpočet a pro výpočet podle viskoelastivity, kdy dochází k postupnému snižování vnitřních sil vlivem relaxace. Pro výpočet podle viskoelastivity byly vybrány dva modely dotvarování betonu:

- Model B3
- *fib* Model 2010

## 1.1 Vstupní parametry

### 1.1.1 Konstrukce



Obrázek 1: Základní schéma mostní konstrukce

Konstrukce, na které jsou vnitřní síly počítány, je silniční trémový komorový most z předpjatého betonu stojící nad místem ražby tunelu. Rozpětí jednotlivých polí je zřejmé z obrázku 1. Dvoukomorový příčný řez konstrukce mostu byl zjednodušeně uvažován v celé délce konstantní (viz obrázek 2). Plocha příčného řezu je  $9,879 \text{ m}^2$ , celkový obvod  $40,0 \text{ m}$ . Moment setrvačnosti průřezu je  $7,461 \text{ m}^4$ .

### 1.1.2 Poklesy

Vývoj poklesu jedné z mostních podpěr je uvažován dle skutečně naměřených hodnot při ražbě tunelového komplexu Blanka, konkrétně z extenzometrického měření na Brusnickém tunelu ve vzdálenosti  $200 \text{ m}$  od portálu v Myslbekově ulici za období od 4. ledna 2010, kdy bylo provedeno základní měření před zahájením vlastní ražby, až do 7. června 2010 (celkem 151 dní). Protokol měření z extenzometru 50.15.008, který byl použit pro výpočty, je uveden na následující straně. Časový průběh poklesu mezi jednotlivými měřeními byl uvažován lineárně.

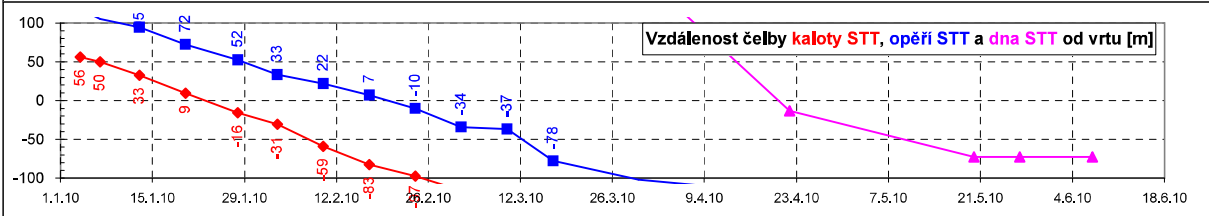
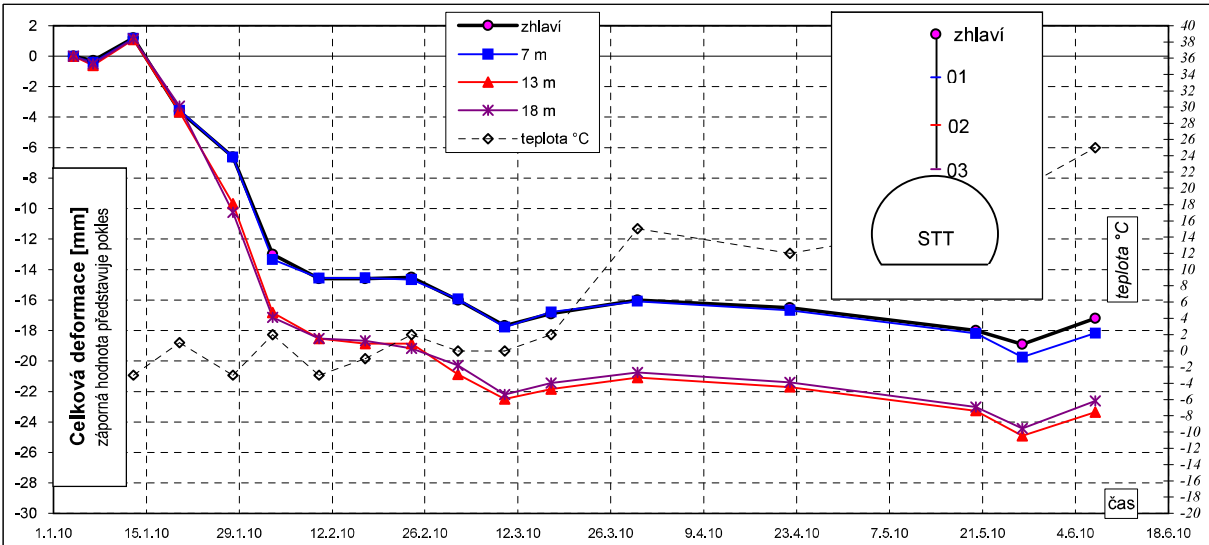
**STT**

**Extenzometr 50.15.008**

**Celkový pokles terénu a kotev**

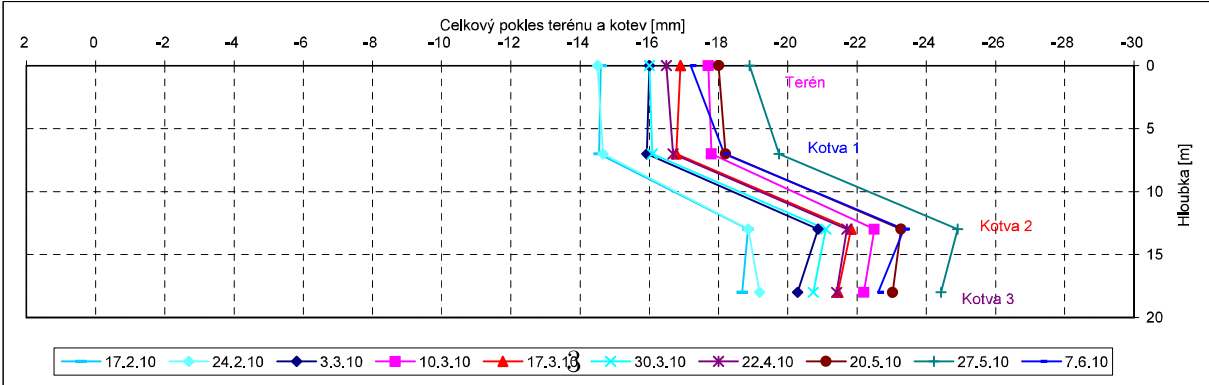
**Výsledky:** stav k 7.6.2010

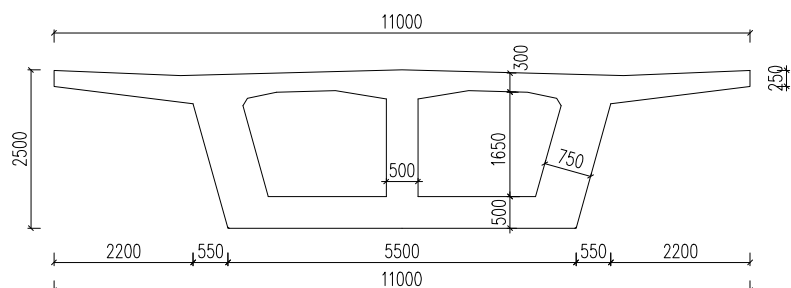
pokles [mm]: terén -17,20 kotva č. 1 -18,17 kotva č. 2 -23,35 kotva č. 3 -22,61



Pokles terénu a kotev [mm] vzhledem k nulovému čtení z 4.1.2010

Označení a hloubka kotvy [m]	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
terén - 0 m	-14.60	-14.50	-16.00	-17.70	-16.90	-16.00	-16.50	-18.00	-18.90	-17.20
kotva 1 - 7 m	-14.55	-14.66	-15.93	-17.79	-16.78	-16.09	-16.68	-18.20	-19.75	-18.17
kotva 2 - 13 m	-18.85	-18.86	-20.88	-22.50	-21.83	-21.10	-21.71	-23.27	-24.91	-23.35
kotva 3 - 18 m	-18.68	-19.18	-20.28	-22.20	-21.45	-20.74	-21.41	-23.03	-24.42	-22.61





Obrázek 2: Příčný řez konstrukcí mostu

### 1.1.3 Složení betonové směsi

Výpočet byl proveden pro beton C35/45. Jeho přesné složení, vhodné pro mostní konstrukce, je uvažováno dle receptury, kterou ochotně poskytla společnost ZAPA beton:

- označení C35/45 XF2 (odolný proti mrazu a účinkům posypových solí),
- cement (Radotín) CEM I 42,5 R v množství  $420 \text{ kg/m}^3$ ,
- kamenivo (Votice - granit), celkový obsah  $1730 \text{ kg/m}^3$ ,
- obsah vody  $170 \text{ kg/m}^3$ ,
- střední hodnota pevnosti v tlaku ve stáří 28 dní cca 55 MPa.

### 1.1.4 Ostatní parametry

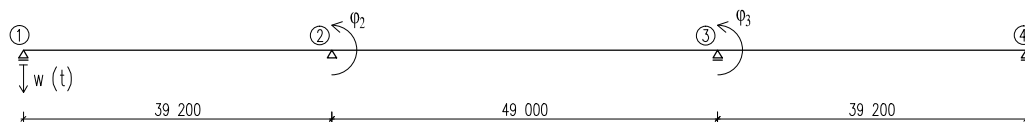
Čerstvý beton byl po uložení ošetřován standardním způsobem po dobu 5 dní, vlhkost prostředí je ve všech výpočtech uvažována hodnotou 70 %.

## 2 Výpočet

Byl řešen případ ražby tunelu ve stáří mostu 10 let, nicméně výpočty naprogramované v Matlabu jsou připraveny tak, aby byly použitelné pro sedání podpory v libovolném stáří mostní konstrukce, model zohledňuje stárnutí betonu během sedání.

Poklesy byly aplikovány nejprve na krajní podpěru (mostní opěru), poté na vnitřní podpěru (mostní pilíř), v obou případech je maximální hodnota ohybového momentu v místě vnitřní podpěry.

## 2.1 Pokles krajní podpěry



Obrázek 3: Schéma pro ZDM při poklesu opěry

Výpočet vnitřních sil byl proveden zjednodušenou deformační metodou (ZDM). Při výpočtu jsou v každém časovém okamžiku dvě neznámé, po-otočení  $\varphi_2$  a  $\varphi_3$ , jejichž hodnota se mění v závislosti na aktuální hodnotě poklesu krajní podpěry.

Pro výpočet podle principu pružnosti dostáváme pro moment ve styčnicku 2 výraz

$$M_{1,2} = c_1 E(t) \cdot \bar{w}(t), \quad (1)$$

přičemž

$$c_1 = \frac{12 I (L_{12} + L_{23})}{L_{12} (4L_{12}^2 + 8L_{12}L_{23} + 3L_{23}^2)}$$

je konstantní výraz, jehož hodnota nezávisí na čase ani na hodnotě poklesu.

Hodnota modulu pružnosti  $E(t)$  ve vztahu (1) závisí nejen na stáří betonu v okamžiku poklesu podpěry, ale také na modelu dotvarování betonu použitým při viskoelastickém výpočtu, pro který má pružný výpočet sloužit jako srovnání. Vzhledem k relativně krátké době, během níž dochází k sedání podpěry, ve srovnání s celkovým stářím mostu je hodnota modulu pružnosti  $E(t)$  vypočtena pro stáří betonu v okamžiku zahájení ražby a tato hodnota je brána jako konstantní pro celý časový interval sedání podpěry.

V případě výpočtu podle viskoelastivity lze výraz (1) přepsat jako

$$M_{1,2}(t) = c_1 \mathcal{R}[\bar{w}(t)], \quad (2)$$

kde výraz  $\mathcal{R}[w(t)]$  označuje relaxační operátor aplikovaný na časový průběh sedání. Jelikož pro hodnotu relaxační funkce není u obou použitých modelů přímý vztah, je nutno úlohu řešit nepřímou s využitím znalosti funkce poddajnosti. Využijeme toho, že relaxační operátor  $\mathcal{R}$  a operátor poddajnosti  $\mathcal{J}$  jsou vzájemně inverzní. Díky tomu můžeme zapsat vztah

$$\bar{w}(t) = \frac{1}{c_1} \mathcal{J}[M_{1,2}(t)],$$

což po rozepsání je

$$\bar{w}(t) = \frac{1}{c_1} J(t, t_1) M_{1,2}(t_1) + \frac{1}{c_1} \int_{t_1}^t J(t, t') \dot{M}_{1,2}(t') dt'. \quad (3)$$

Vzhledem k tomu, že na počátku ani v celém průběhu sedání nedojde ke skokové změně hodnoty poklesu, výraz (3) se zjednoduší na

$$\bar{w}(t) = \frac{1}{c_1} \int_{t_1}^t J(t, t') \dot{M}_{1,2}(t') dt'. \quad (4)$$

Jestliže časový průběh poklesu rozdělíme na malé intervaly, derivaci  $\dot{M}_{1,2}$  v každém kroku výpočtu nahradíme aproximačním vztahem z rozdílu hodnot v krajních bodech intervalu a integrál aproximujeme sumou s využitím lichoběžníkového pravidla, budeme mít v každém kroku výpočtu vždy jen jednu neznámou hodnotu momentu  $M_{1,2}(t_i)$ .

V prvním kroku výpočtu, tedy na počátku v čase  $t_1$ , kdy je pokles nulový, bude i hodnota momentu  $M_{1,2}(t_1)$  rovna nule

$$M_{1,2}(t_1) = 0. \quad (5)$$

Pro další krok výpočtu platí

$$\bar{w}(t_2) = \frac{1}{c_1} \frac{M_{1,2}(t_2) - M_{1,2}(t_1)}{\Delta t} \cdot \frac{J(t_2, t_2) + J(t_2, t_1)}{2} \Delta t,$$

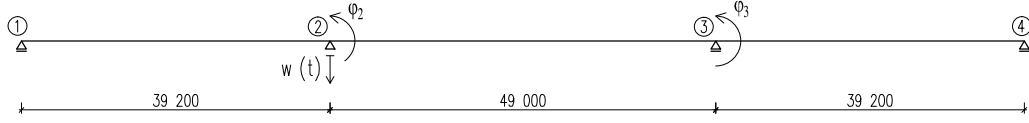
odkud vyjádříme jedinou neznámou

$$M_{1,2}(t_2) = M_{1,2}(t_1) + \frac{2 c_1}{J(t_2, t_2) + J(t_2, t_1)} \cdot \bar{w}(t_2). \quad (6)$$

Pro další kroky výpočtu vztah pro hodnotu neznámé  $M_{1,2}(t_i)$  zobecníme tak, aby byl vhodný pro výpočet v prostředí Matlab

$$M_{1,2}(t_i) = M_{1,2}(t_{i-1}) + \frac{2 c_1 \cdot \bar{w}(t_i)}{J(t_i, t_i) + J(t_i, t_{i-1})} - \sum_{j=2}^{i-1} \frac{(M_{1,2}(t_j) - M_{1,2}(t_{j-1})) \cdot (J(t_i, t_j) + J(t_i, t_{j-1}))}{J(t_i, t_i) + J(t_i, t_{i-1})}. \quad (7)$$





Obrázek 4: Schéma pro ZDM při poklesu pilíře

## 2.2 Pokles vnitřní podpěry

Zcela analogicky byl řešen případ, kdy byl pokles aplikován na vnitřní pilíř. Řešením ZDM dostáváme pro moment ve styčnicku 2 vztah, který lze opět zapsat jako součin určitého konstantního výrazu, modulu pružnosti a hodnoty poklesu v daném čase

$$M_{2,2}(t) = c_2 E(t) \cdot w(t). \quad (8)$$

Viskoelastické řešení při sedání pilíře se bude od předešlého případu sedání opěry lišit pouze hodnotou konstanty  $c_2$ . Pro výpočet momentu  $M_{2,2}(t)$  v jednotlivých uzlových bodech tedy získáme potřebné vztahy snadno pouhým nahrazením konstanty  $c_1$  ve výrazech (5) - (7) konstantou  $c_2$ .

$$M_{2,2}(t_1) = 0, \quad (9)$$

$$M_{2,2}(t_2) = M_{2,2}(t_1) + \frac{2 c_2}{J(t_2, t_2) + J(t_2, t_1)} \cdot \bar{w}(t_2) \quad (10)$$

a pro  $i \geq 3$ :

$$M_{2,2}(t_i) = M_{2,2}(t_{i-1}) + \frac{2 c_2 \cdot \bar{w}(t_i)}{J(t_i, t_i) + J(t_i, t_{i-1})} - \sum_{j=2}^{i-1} \frac{(M_{2,2}(t_j) - M_{2,2}(t_{j-1})) \cdot (J(t_i, t_j) + J(t_i, t_{j-1}))}{J(t_i, t_i) + J(t_i, t_{i-1})}. \quad (11)$$

## 3 Výpočet pro jednotlivé modely dotvarování betonu

### 3.1 Model B3

Jedná se o model navržený profesorem Z. P. Bažantem. Model B3 zahrnuje vliv dotvarování a smršťování, včetně jejich kombinace, podrobně je popsán v Dodatku C [1].

Funkce poddajnosti modelu B3 má tvar

$$J(t, t') = q_1 + q_2 Q(t, t') + q_3 \ln[1 + (t - t')^n] + q_4 \ln\left(\frac{t}{t'}\right) + J_d(t, t'), \quad (12)$$

kde  $t$  je stáří betonu (ve dnech) v okamžiku, pro který je hodnota funkce poddajnosti počítána,

$t'$  je stáří betonu v okamžiku zatížení (zde poklesu),

$q_1$  je inverzní asymptotický modul pružnosti,

$q_2, q_3$  a  $q_4$  jsou konstanty zohledňující vliv základního dotvarování, závisí na vlastnostech betonu,

$J_d(t, t')$  je funkce zahrnující dodatečné dotvarování vlivem vysychání. Hodnota funkce  $Q(t, t')$  byla počítána z přibližného vzorce uvedeného v [1].

Konkrétní podobu vzorců pro výpočet jednotlivých funkcí a konstant tohoto modelu zde neuvádím, podrobněji jsou veškeré vztahy popsány v Dodatku C [1], ze kterého jsem při výpočtu vycházela, případně je lze vyčíst přímo z přiloženého skriptu v Matlabu pro určení hodnoty funkce poddajnosti podle modelu B3 (function B3\_J).

#### 3.1.1 Hodnota $E(t)$ pro srovnávací výpočet dle principu pružnosti

Modul pružnosti v konkrétním čase je u tohoto modelu definován jako převrácená hodnota funkce poddajnosti pro délku působení zatížení 0,01 dne, tedy

$$E(t) = \frac{1}{J(t, t+0,01)}.$$

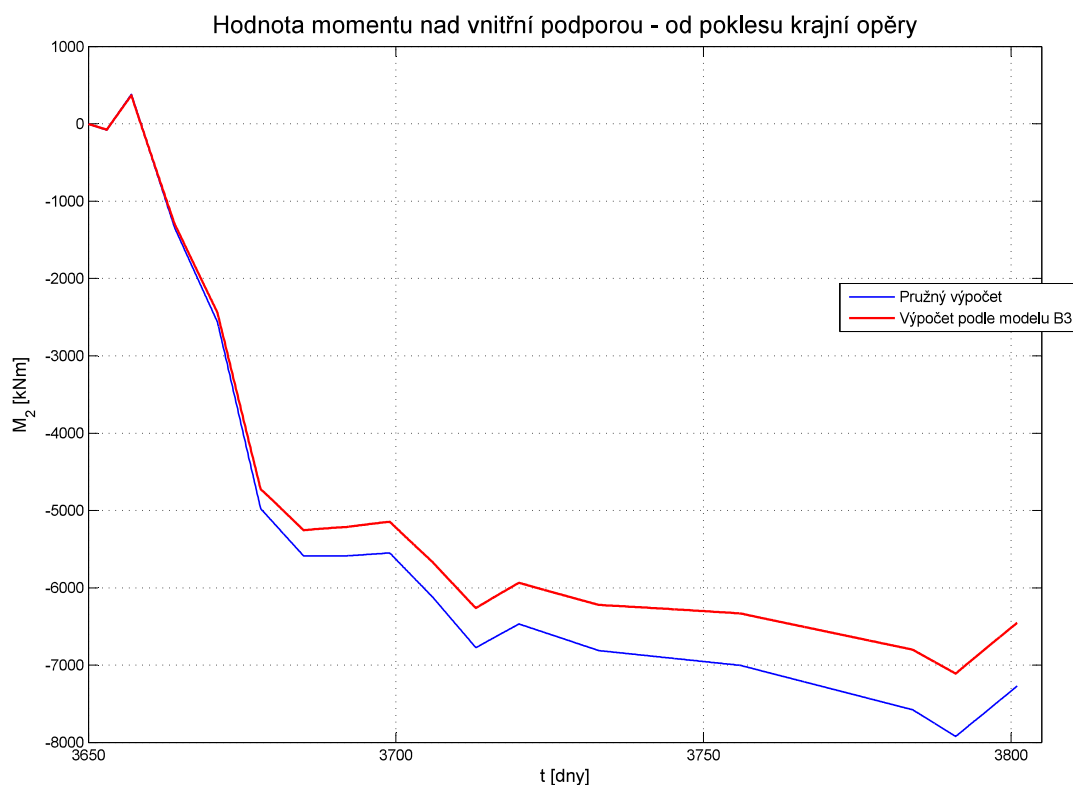
V případě ražby tunelu ve stáří mostní konstrukce  $t = 3650$  dní (10 let) je hodnota funkce poddajnosti

$$J(t, t+0,01) = 18,33 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$$

a tedy

$$E(t) = 54,56 \cdot 10^3 \text{ MPa.}$$

### 3.1.2 Výsledky výpočtů, srovnání



Obrázek 5: Srovnání hodnoty  $M_{1,2}$  pro model B3 a pružný výpočet

Graf na obrázku 5 ukazuje srovnání výsledků získaných z výpočtu podle pružnosti a podle viskoelastivity pro případ sedání mostní opěry. Je zřejmé, že v počáteční fázi jsou hodnoty vnitřních sil pro oba způsoby výpočtu téměř shodné, s narůstajícím časem se ale postupně zvyšuje vliv relaxace betonu a hodnoty vnitřních sil z viskoelastického výpočtu jsou v absolutní hodnotě nižší. Na konci sedání, tedy po 151 dnech, je hodnota momentu  $M_{1,2}$  z výpočtu podle modelu B3 zhruba o 11,2 % nižší než odpovídající hodnota vypočtená podle principu pružnosti.

Z výpočtu pro délku kroku 1,5 hodiny dostáváme pro pokles 17,2 mm na konci průběhu sedání následující hodnoty momentu

$$M_{1,2}^{B3} = -6,4538 \text{ MNm}$$

a

$$M_{1,2}^{el} = -7,2718 \text{ MNm.}$$

Nejedná se o maximální hodnotu momentu, jelikož v závěru časového průběhu sedání dojde k lehkému snížení hodnoty sedání, ale pro posouzení vlivu viskoelastického chování betonu to není rozhodující.

Obdobný vliv relaxace ukazuje i graf pro případ sedání mostního pilíře na obrázku 6. Samozřejmě i v tomto případě je hodnota momentu  $M_{2,2}$  u viskoelastického výpočtu nižší zhruba o 11,2%. Výsledné hodnoty na konci postupného sedání jsou

$$M_{1,2}^{B3} = 13,0511 \text{ MNm}$$

a

$$M_{1,2}^{el} = 14,7052 \text{ MNm.}$$

## 3.2 *fib* Model 2010

Tento model pro dotvarování vychází ze staršího modelu CEB, jedná se vlastně o jeho úpravu ve výpočtu základního dotvarování a dotvarování vlivem vysychání. Podrobný popis včetně všech vztahů lze najít v Dodatku E [2], případně je lze opět vyčíst z příloženého skriptu v Matlabu (function *fib\_J*).

Funkce poddajnosti pro *fib* Model 2010 má tvar stejný jako u svého předchůdce CEB Modelu

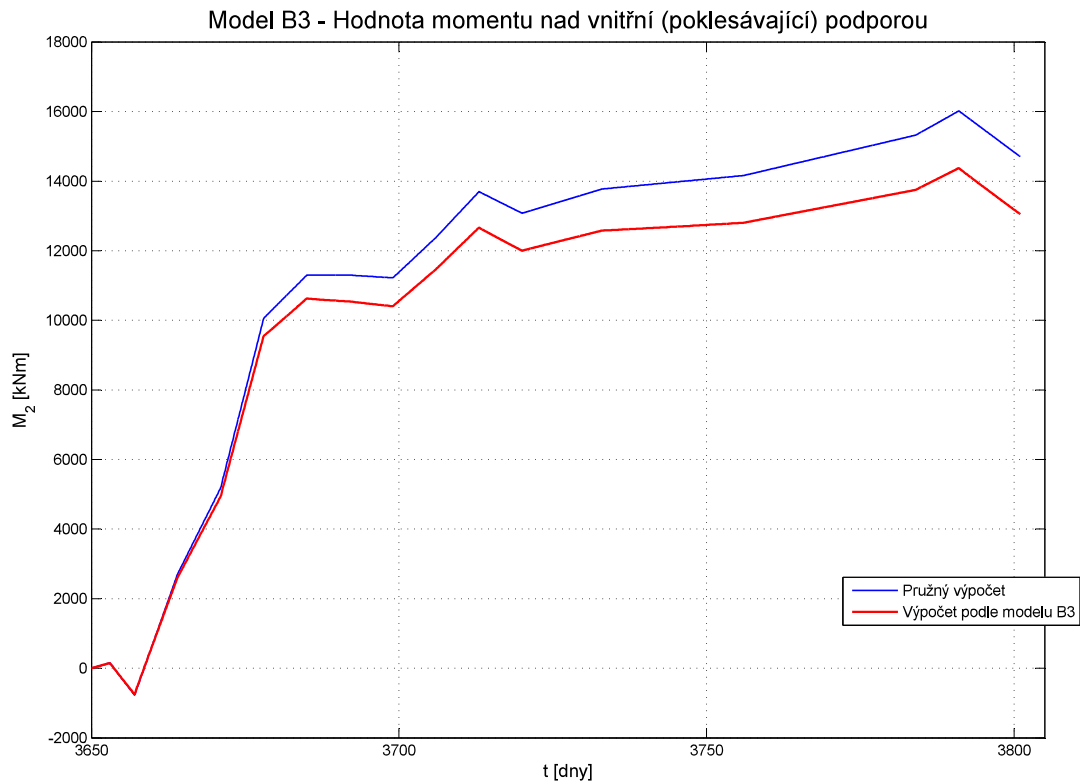
$$J(t, t') = \frac{1}{E(t')} + \frac{\varphi_{28}(t, t')}{E_{28}}, \quad (13)$$

rozdíl je pouze ve vztahu pro výpočet funkce  $\varphi_{28}(t, t')$ .

### 3.2.1 Hodnota $E(t)$ pro srovnávací výpočet dle principu pružnosti

Modul pružnosti závisí kromě střední tlakové pevnosti ( $\bar{f}_c$ ) také na typu použitého kameniva ( $\alpha_E$ ) a na třídě cementu včetně rychlosti počátečního nárůstu pevnosti ( $s$ ). Je definován jako

$$E(t) = E_{28} \sqrt{\exp\left(s\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right)},$$



Obrázek 6: Srovnání hodnoty  $M_{2,2}$  pro model B3 a pružný výpočet

kde

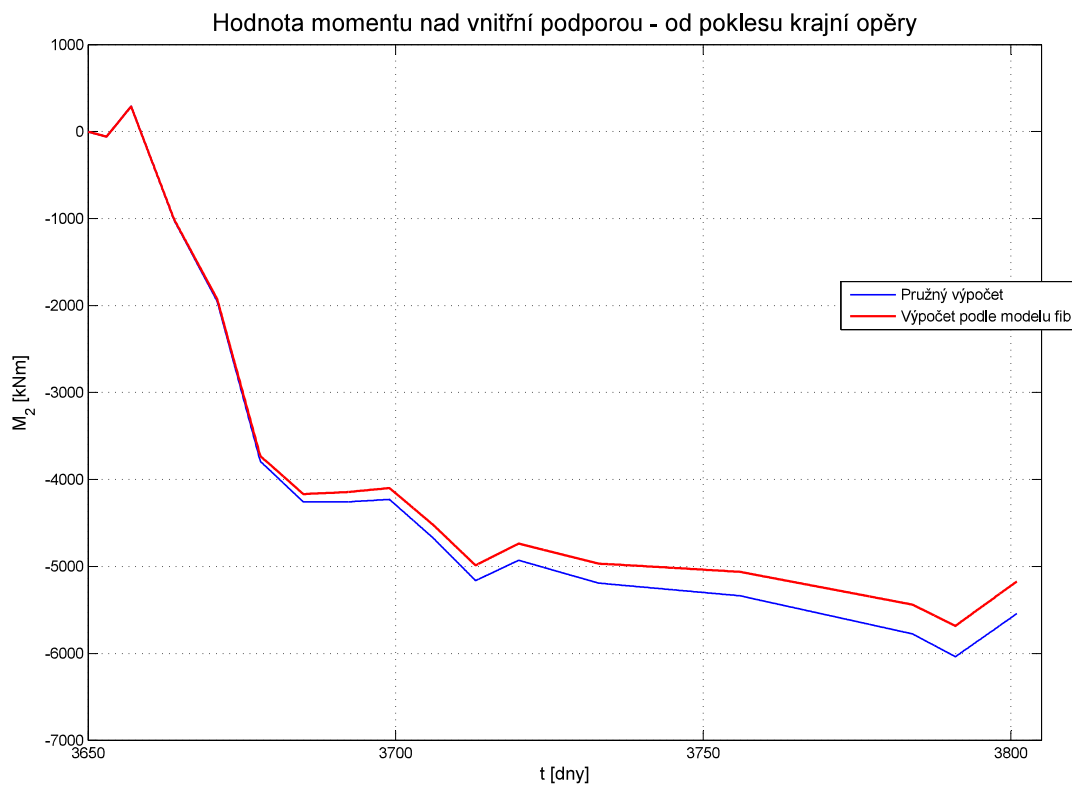
$$E_{28} = 21,5 \text{ GPa} \cdot \alpha_E \left( \frac{\bar{f}_c}{10 \text{ MPa}} \right)^{1/3}.$$

Pro použitý beton ve stáří 10 let je pro srovnávací pružný výpočet u  $fb$  Modelu 2010 hodnota modulu pružnosti

$$E(t) = 41,58 \cdot 10^3 \text{ MPa}.$$

### 3.2.2 Výsledky výpočtů, srovnání

Grafy na obrázcích 7 a 8 opět ukazují, že s časem trvání sedání dochází ke zvyšování vlivu relaxace na snížení hodnoty vnitřních sil.



Obrázek 7: Srovnání hodnoty  $M_{1,2}$  pro *fib* Model 2010 a pro pružný výpočet

Výsledné hodnoty momentu nad vnitřní podpěrou jsou od sedání mostní opěry

$$M_{1,2}^{fib} = -5,1723 \text{ MNm}$$

a

$$M_{1,2}^{el} = -5,5417 \text{ MNm},$$

od sedání pilíře potom

$$M_{2,2}^{fib} = 10,4596 \text{ MNm}$$

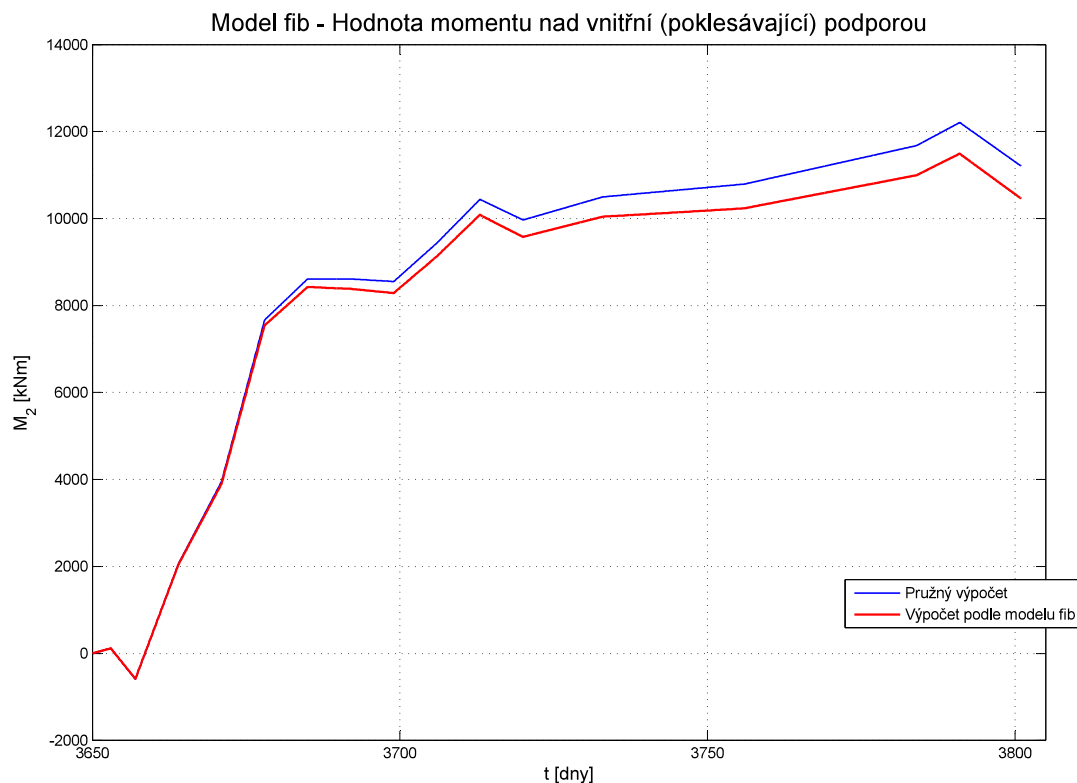
a

$$M_{2,2}^{el} = 11,2065 \text{ MNm}.$$

V obou případech je hodnota vypočtená podle viskoelastivity v absolutní hodnotě zhruba o 6,7 % nižší než u pružného výpočtu.

### 3.3 Zhodnocení výsledků

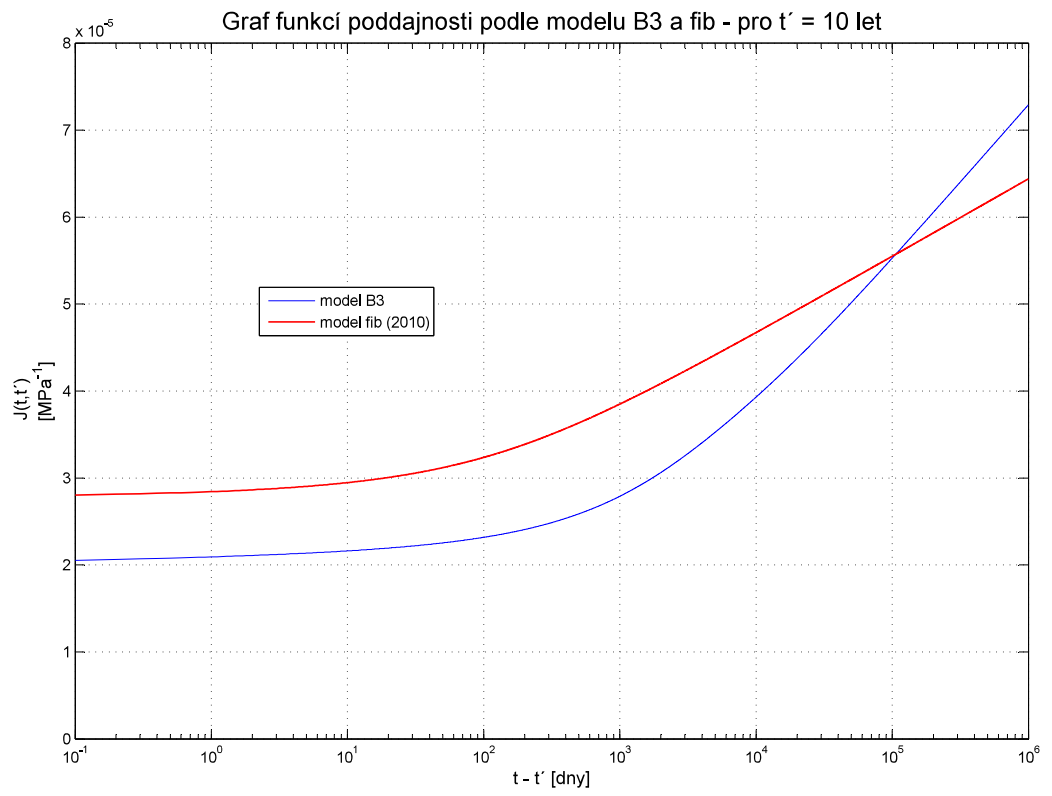
Při použití modelu B3 pro výpočet vnitřních sil od zatížení postupným sedáním jedné z podpěr mostní konstrukce je výraznější vliv viskoelastického



Obrázek 8: Srovnání hodnoty  $M_{2,2}$  pro *fib* Model 2010 pro a pružný výpočet

chování betonu než při použití *fib* Modelu 2010. V obou řešených případech je však pro hodnoty vnitřních sil na mostní konstrukci zásadnější volba modelu popisujícího dotvarování a z něho vyplývající stanovení modulu pružnosti  $E(t)$ , než vlastní vliv relaxace v rámci srovnání s příslušným pružným výpočtem.

Vlastní program pro numerický výpočet zohledňující viskoelastické chování betonu je vhodný jen pro relativně velký časový krok. Výpočet proběhne celkem rychle při rozdělení každého dne na zhruba 12 až 16 intervalů, což odpovídá kroku 1,5 až 2 hodiny. Při výraznějším zkrácení délky kroku dochází k značnému nárůstu délky výpočtu. To je způsobeno zejména časem potřebným pro opakované volání funkcí pro výpočet hodnot funkcí poddajnosti obou modelů. Pro zkoumaný případ ražby tunelu ve stáří mostu 10 let by bylo možné uvažovat model bez stárnutí, čímž by se výrazně snížilo množství hodnot funkce poddajnosti potřebných ve výpočtu, nicméně snahou bylo napsat program použitelný pro libovolné stáří mostu. Optimalizace programu z hlediska časové náročnosti výpočtu nebyla v rámci této práce řešena.



Obrázek 9: Srovnání funkcí poddajnosti obou modelů



## Literatura

- [1] Z. P. Bažant, M. Jirásek: Mírně upravený dodatek C z monografie Creep and Hygrothermal Effects in Concrete Structures [online]. [Cit. 2.2.2018].  
Dostupné z: <https://mech.fsv.cvut.cz/homeworks/student/PRPM/dodatekC.pdf>
  
- [2] Z. P. Bažant, M. Jirásek: mírně upravený dodatek E z monografie Creep and Hygrothermal Effects in Concrete Structures [online]. [Cit. 2.2.2018].  
Dostupné z: <https://mech.fsv.cvut.cz/homeworks/student/PRPM/dodatekE.pdf>

## 4 Zdrojové kódy výpočtů v Matlabu

### 4.1 function B3\_J

```
% ===== FCE PODDAJNOSTI PODLE MODELU B3 =====
function [J] = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t,tt,RH)

m = 0.5; n = 0.1; %empirical parameters for normal concretes
D = v/(s/4); %equivalent thickness of the concrete member
henv = RH/100; %relative humidity
kh = 1-henv^3;

% ks ... value of shape factor
ks = 1; %infinite slab
% ks = 1.15; %infinite cylinder
% ks = 1.25; %infinite square prism
% ks = 1.3; %sphere
% ks = 1.55; %cube

alpha2 = 1.2; %for sealed or normal curing in air with initial
protection
alpha1 = 1; %for type I cement
% alpha1 = 0.85; %for type II cement
% alpha1 = 1.1; %for type III cement
%q1 - q4 ... basic creep
q1 = (126.77*fc^-0.5)*1e-6; %[1/MPa]
q2 = (185.4*c^0.5*fc^-0.9)*1e-6; %[1/MPa]
q3 = (0.29*(w/c)^4*q2); %[1/MPa]
q4 = (20.3*(a/c)^-0.7)*1e-6; %[1/MPa]

%kt, epss8, epssh8 ... shrinkage
kt = 0.085*t0^-0.08*fc^-0.25; %[days/mm2]
taush = kt * (ks*D)^2; %[days]

eps_s8 = (alpha1*alpha2*(0.019*w^2.1*fc^-0.28+270)); %[]
eps_sh8 = (eps_s8*0.57514*(3+14/(t0+taush))^0.5); %[]

%q5 ... drying creep
q5 = (7.57*1e5*fc^-1*(eps_sh8)^-0.6)*1e-6;

r = 1.7*tt^0.12 + 8;
Z = tt^-m * log(1+(t-tt)^n);
Qf = (0.086*tt^(2/9) + 1.21*tt^(4/9))^-1;

S_t_t0 = tanh(((t-t0)/taush)^0.5);
g_t_t0 = 8*(1-(1-henv)*S_t_t0);
```

```

eps_sh = -eps_sh8*1e-6*(1 - henv^3)*S_t_t0;

S_tt_t0 = tanh(((tt-t0)/taush)^0.5);
g_tt_t0 = 8*(1-(1-henv)*S_tt_t0);

Jd = q5 * (exp(-g_t_t0) - (exp(-g_tt_t0)))^0.5;

Q = Qf * (1 + (Qf/Z)^r)^(-1/r);
% Q = Qf(tt) * (1 + (Qf(tt)/Z(t,tt))^r(tt))^(-1/r(tt))

J = q1 + q2*Q + q3*log(1+(t-tt)^n) + q4*log(t/tt) + Jd;

```

## 4.2 function fib\_J

```

% ===== FCE PODDAJNOSTI PODLE MODELU fib =====
function [J] = fib_J(fc,v,s,t,tt,RH)

henv = RH/100; %relative humidity

ttadj = tt; %for normal temperatures tdj = tt
%adjusted age at loading, which reflects the effect of elevated
%or reduced temperatures and of the cement type on the maturity
%of concrete

fibc = @(t,tt) 1.8/fc^0.7 * log(1 + (0.035+30/ttadj)^2 * (t-tt));

betaH = 1.5*2*v/s + 250*(35/fc)^0.5;
betaHlim = 1500*(35/fc)^0.5;
if betaH > betaHlim
    betaH = betaHlim;
end

gama = 1/(2.3 + 3.5/ttadj^05);
FI_RH = 10*(1-henv)/(2*v/s)^(1/3);
fidc = @(t,tt) 412/fc^1.4 * FI_RH/(0.1+ttadj^0.2) * ((t-tt)/(betaH+t-
tt))^gama;
fi28 = @(t,tt) fibc(t,tt) + fidc(t,tt);

alphaE = 1.0; %for quartzite aggregates
% alphaE = 1.2; %for basalt and dense limestone aggregates
% alphaE = 0.9; %for limestone aggregates
% alphaE = 0.7; %for sandstone aggregates
E28 = 21.5e3 * alphaE * (fc/10)^(1/3);
% S = 0.38;

```

```

% S = 0.25; %for normally hardening cement 42.5 or rapidly
hardening cement 32.5
S = 0.2; %for rapidly hardening cement 42.5
E_t = @(t) E28*(exp(S*(1-(28/t)^0.5)))^0.5;

J_fib = @(t,tt) 1/E_t(t) + fi28(t,tt)/E28;

J = J_fib(t,tt);

```

### 4.3 Skript pro případ sedání krajní opěry

```

% ===== HL. PROGRAM PRO POKLES OPERY MOSTU =====
clear all
clear variables
format long
format compact

% Bridge parameters: three-span, continuous beam
I = 7.461; % [m4] max. value without reduction of cross-section
L12 = 39.2; % [m] length of the end spans
L23 = 49; % [m] length of the central span

%% Concrete: C45/55
fc = 55; % [MPa] ... mean compression strength
w = 170; % [kg/m3] ... water content
c = 420; % [kg/m3] ... cement content
a = 1730; % [kg/m3] ... aggregate content
v = 9.879e6; % [mm2] ... area of the cross section
s = 40000; % [mm] ... perimeter of the cross section
RH = 70; % [%] ... humidity

t0 = 5; % [days] ... age of concrete at the end of curing
tt_poc = 3650; % [days] ... age of concrete at the start of
loading
t_poc = tt_poc;

%% Stanovení hodnot E_B3 a E_fib [MPa] pro srovnávací pruzný
vypocet
%Pro B3:
B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+0.01,tt_poc,RH)
E_B3 = 1 / B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+0.01,tt_poc,RH) %pro
porovnání s výpočtem podle B3

%Pro fib:
alphaE = 1.0; %for quartzite aggregates
E28_fib = 21.5e3 * alphaE * (fc/10)^(1/3);

```

```

S = 0.20;    %for rapidly hardening cement 42.5
% S = 0.25;    %for normally hardening cement 42.5 or rapidly hardening
cement 32.5
E_fib = E28_fib * (exp(S*(1-(28/t_poc)^0.5)))^0.5

%% Vytvoreni vektoru poklesu dle mereni tunelu Blanka od 6.1.2010 do
7.6.2010
    %intervaly extenzometrickeho mereni - extenzometr 50.15.008:
w1 = @(x) -1/3 * 0.2e-3 * x;           %int. 6.1.-9.1.
w2 = @(x) 1/4 * 1.2e-3 * x + w1(3);   %int. 9.1.-13.1.
w3 = @(x) -1/7 * 4.5e-3 * x + w2(4);   %int. 13.1.-20.1.
w4 = @(x) -1/7 * 3.2e-3 * x + w3(7);   %int. 20.1.-27.1.
w5 = @(x) -1/7 * 6.3e-3 * x + w4(7);   %int. 27.1.-3.2.
w6 = @(x) -1/7 * 1.6e-3 * x + w5(7);   %int. 3.2.-10.2.
w7 = @(x) -1/7 * 0.0e-3 * x + w6(7);   %int. 10.2.-17.2.
w8 = @(x) 1/7 * 0.1e-3 * x + w7(7);   %int. 17.2.-24.2.
w9 = @(x) -1/7 * 1.5e-3 * x + w8(7);   %int. 24.2.-3.3.
w10 = @(x) -1/7 * 1.7e-3 * x + w9(7);  %int. 3.3.-10.3.
w11 = @(x) 1/7 * 0.8e-3 * x + w10(7);  %int. 10.3.-17.3.
w12 = @(x) -1/13 * 0.9e-3 * x + w11(7); %int. 17.3.-30.3.
w13 = @(x) -1/23 * 0.5e-3 * x + w12(13); %int. 30.3.-22.4.
w14 = @(x) -1/28 * 1.5e-3 * x + w13(23); %int. 22.4.-20.5.
w15 = @(x) -1/7 * 0.9e-3 * x + w14(28); %int. 20.5.-27.5.
w16 = @(x) 1/10 * 1.7e-3 * x + w15(7);  %int. 27.5.-7.6.

pocet_dni = 151;
n = 2;           %jemnost deleni jednoho dne
N = n*pocet_dni+1; %celkovy pocet prvku vektoru poklesu

x3 = (0:1/n:3);
x4 = (0:1/n:4);
x7 = (0:1/n:7);
x13 = (0:1/n:13);
x23 = (0:1/n:23);
x28 = (0:1/n:28);
x10 = (0:1/n:10);

%W ... vektor hodnot poklesu, (pozn. w pouzito pro obsah vody v
betonu)
W = zeros(1,N);
W(1,1:3*n+1) = w1(x3);           %linearni prubeh intervalu 1
W(1,3*n+1:7*n+1) = w2(x4);      %linearni prubeh intervalu 2
W(1,7*n+1:2*(7*n)+1) = w3(x7);  %linearni prubeh intervalu 3
W(1,2*(7*n)+1:3*(7*n)+1) = w4(x7); %linearni prubeh intervalu 4
W(1,3*(7*n)+1:4*(7*n)+1) = w5(x7); %linearni prubeh intervalu 5
W(1,4*(7*n)+1:5*(7*n)+1) = w6(x7); %linearni prubeh intervalu 6
W(1,5*(7*n)+1:6*(7*n)+1) = w7(x7); %linearni prubeh intervalu 7
W(1,6*(7*n)+1:7*(7*n)+1) = w8(x7); %linearni prubeh intervalu 8
W(1,7*(7*n)+1:8*(7*n)+1) = w9(x7); %linearni prubeh intervalu 9
W(1,8*(7*n)+1:9*(7*n)+1) = w10(x7); %linearni prubeh intervalu 10
W(1,9*(7*n)+1:10*(7*n)+1) = w11(x7); %linearni prubeh intervalu 11

```

```

W(1, (70*n)+1:(83*n)+1) = w12(x13); %linearni prubeh intervalu 12
W(1, (83*n)+1:(106*n)+1) = w13(x23); %linearni prubeh intervalu 13
W(1, (106*n)+1:(134*n)+1) = w14(x28); %linearni prubeh intervalu 14
W(1, (134*n)+1:(141*n)+1) = w15(x7); %linearni prubeh intervalu 15
W(1, (141*n)+1:(151*n)+1) = w16(x10); %linearni prubeh intervalu 16

X = (0:1/n:pocet_dni);
t_vektor = linspace(0,pocet_dni,N);

%% --- koeficienty u vypoctu momentu - pruzny vypocet def. metodou
---
% a) pokles krajni opery - z pruzneho vypoctu:

% fia2 = 3*L23*(4*L12+3*L23)/(L12*(4*L12+3*L23)^2-4*L12^3)*ww1;
% c_fi2 = 3*L23*(4*L12+3*L23)/(L12*(4*L12+3*L23)^2-4*L12^3);
% fia3 = 3*L23/(2*L12^2)*ww1 - (4*L12+3*L23)/(2*L12)*fia2;
% ca_fi3 = 3*L23/(2*L12^2);
% cb_fi3 = -(4*L12+3*L23)/(2*L12) * c_fi2;
% c_fi3 = ca_fi3 + cb_fi3;

% Ma21 = 3*I/L12*E*(fia2-ww1/L12) %Ma21 = c_M2 * w1

% c_M2 = 3*I/L12*E*c_fi2 - 3*I/L12*E/L12;
% Ma23 = 2*I/L23*E*(2*fia2+fia3)

% Ma32 = 2*I*E/L23*fia2 + 4*I*E/L23*fia3; %Ma32 = c_M3 * w1
% c_M3 = 2*I*E/L23*c_fi2 + 4*I*E/L23*c_fi3;
% Ma34 = 3*I*E/L12*fia3;

%% ----- koeficienty pro viskoelasticitu -----
C_M2 = 3*I/L12*c_fi2 - 3*I/L12/L12;
c2_analyticky = 12*(L12+L23)*I/(L12*(4*L12^2+8*L12*L23+3*L23^2));
%jen
% kontrolni porovnaní konstant z vypoctu na papire a zde v
prg
C_M3 = 2*I/L23*c_fi2 + 4*I/L23*c_fi3;

%% -----MODEL B3-----
M2_B3 = zeros(1,length(W));
M2_B3(1) = 0;
%Vypocet prvku M2(2):
J_t2_t2 =
B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+t_vektor(1,2),t_poc+t_vektor(1,2),RH);
J_t2_t1 =
B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+t_vektor(1,2),t_poc+t_vektor(1,1),RH);
M2_B3(2) = M2_B3(1) + 2*C_M2*W(2)/(J_t2_t2 + J_t2_t1);

%Vypocet od M2(3) do M2(N):
for i=3:length(W)
% w1 = W1_1(i) - W1_1(i-1);
suma = 0;

```

```

for j=2:i-1 %cyklus pro vypocet sumy
    T_xi = t_poc + t_vektor(i); %cas t s indexem i
    TT_xi_1 = tt_poc + t_vektor(i-1); %cas t' s indexem i-1
    TT_xi = tt_poc + t_vektor(i); %cas t' s indexem i
    TT_xj = tt_poc + t_vektor(j); %cas t' s indexem j
    TT_xj_1 = tt_poc + t_vektor(j-1); %cas t' s indexem j-1

    J_ti_tj = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xj,RH);
    %volani fce B3_J pro urceni J(ti,tj)

    J_ti_tj_1 = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xj_1,RH);
    %volani fce B3_J pro urceni J(ti,tj-1)

    suma = suma + (J_ti_tj + J_ti_tj_1) * (M2_B3(j) - M2_B3(j-1));
end
J_ti_ti = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xi,RH); %J(ti,ti)
J_ti_ti_1 = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xi_1,RH); %J(ti,ti-1)
M2_B3(i) = M2_B3(i-1)+1/(J_ti_ti + J_ti_ti_1)*(2*C_M2*W(i) - suma);
end

% -----Srovnani hodnot M2 z pruzneho vyp. a vyp. dle B3:
M2pruzne_B3 = C_M2 * E_B3 * W(end) % [MPa] hodnota v case konce mereni
M2podleB3 = M2_B3(end) % [MPa] hodnota v case konce mereni

M2_pruzne_pro_B3 = zeros(1,length(W));
for i=1:length(W)
    M2_pruzne_pro_B3(i) = C_M2 * E_B3 * W(i);
end

% -----Tisk srovnani pruzneho vyp. a vyp. podle B3
T_vektor = t_vektor + 3650;
figure
plot(T_vektor,M2_pruzne_pro_B3*1000,'b','lineWidth',1)
hold on
plot(T_vektor,M2_B3*1000,'r','lineWidth',1.5)
grid
title('Hodnota momentu nad vnitřní podporou - od poklesu krajní
opěry','FontSize',16)
xlabel('t [dny]','FontSize',12)
xlim([t_poc t_poc+pocet_dni+4])
ylabel('M_2 [kPa]','FontSize',12)
legend('Pružný výpočet','Výpočet podle modelu B3','Location','Best')

%% ----- MODEL fib -----
M2_fib = zeros(1,length(W));
M2_fib(1) = 0;
%Vypocet prvku M2(1,2):
Jfib_t2_t2 = fib_J(fc,v,s,t_poc+t_vektor(2),tt_poc+t_vektor(2),RH);
Jfib_t2_t1 = fib_J(fc,v,s,t_poc+t_vektor(2),tt_poc+t_vektor(1),RH);
M2_fib(2) = M2_fib(1) + 2*C_M2*W(2)/(Jfib_t2_t2 + Jfib_t2_t1);

```

```

%Vypocet od M2(3) do M2(N):
for i=3:length(W) %vytvoreni vektoru prirustku momentu
    suma = 0;
    for j=2:i-1 %vypocet sumy
        T_xi = t_poc + t_vektor(i); %cas t s indexem i
        TT_xi_1 = tt_poc + t_vektor(i-1); %cas tt s indexem i-1
        TT_xi = tt_poc + t_vektor(i); %cas tt s indexem i
        TT_xj = tt_poc + t_vektor(j); %cas tt s indexem j
        TT_xj_1 = tt_poc + t_vektor(j-1); %cas tt s indexem j-1

        Jfib_ti_tj = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xj,RH);
        %volani fce fib_J pro urceni J(T_xi,TT_xj)

        Jfib_ti_tj_1 = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xj_1,RH);
        %volani fce fib_J pro urceni J(T_xi,TT_xj-1)

        suma = suma + (Jfib_ti_tj + Jfib_ti_tj_1) * (M2_fib(j) -
M2_fib(j-1));
    end
    Jfib_ti_ti = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xi,RH);
    Jfib_ti_ti_1 = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xi_1,RH);
    M2_fib(i) = M2_fib(i-1) + 1/(Jfib_ti_ti + Jfib_ti_ti_1) *
(2*C_M2*W(i) - suma);
end

% Srovnani hodnot M2 z pruzneho vyp. a vyp. dle fib - hodnoty v
case konce mereni:
M2pruzne_fib = C_M2 * E_fib * W(end) % [MPa], kladny moment
pri tazenyh hornich vlaknech
M2podlefib = M2_fib(end) % [MPa], kladny moment pri tazenyh
hornich vlaknech

M2_pruzne_pro_fib = zeros(1,length(W));
for i=1:length(W)
    M2_pruzne_pro_fib(i) = C_M2 * E_fib * W(i);
end

% -----Tisk srovnani pruzneho vyp. a vyp. podle fib
figure
plot(T_vektor,M2_pruzne_pro_fib*1000,'b','lineWidth',1)
hold on
plot(T_vektor,M2_fib*1000,'r','lineWidth',1.5)
grid
title('Hodnota momentu nad vnitřní podporou - od poklesu krajní
opěry','FontSize',16)
xlabel('t [dny]','FontSize',12)
xlim([t_poc t_poc+pocet_dni+4])
ylabel('M_2 [kPa]','FontSize',12)
legend('Pružný výpočet','Výpočet podle modelu
fib','Location','Best')

```



## 4.4 Skript pro případ sedání vnitřního pilíře

```
% ===== HL. PROGRAM PRO POKLES PILIRE MOSTU =====
clear all
clear variables
format long
format compact

% Bridge parameters: three-span, continuous beam
I = 7.461; % [m4] max. value without reduction of cross-section

L12 = 39.2; % [m] length of the end spans
L23 = 49; % [m] length of the central span

%% Concrete: C45/55
fc = 55; % [MPa] ... mean compression strength
w = 170; % [kg/m3] ... water content
c = 420; % [kg/m3] ... cement content
a = 1730; % [kg/m3] ... aggregate content
v = 9.879e6; % [mm2] ... area of the cross section
s = 40000; % [mm] ... perimeter of the cross section
RH = 70; % [%] ... humidity

t0 = 5; % [days] ... age of concrete at the end of curing
tt_poc = 3650; % [days] ... age of concrete at the start of loading
t_poc = tt_poc;

%% Stanoveni hodnot E_B3 a E_fib [MPa] pro srovnavaci pruzny vypočet
%Pro B3:
E_B3 = 1 / B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+0.01,tt_poc,RH); %pro porovnani
s vypoctem podle B3

%Pro fib:
alphaE = 1.0; %for quartzite aggregates
E28_fib = 21.5e3 * alphaE * (fc/10)^(1/3);
S = 0.20; %for rapidly hardening cement 42.5
E_fib = E28_fib * (exp(S*(1-(28/t_poc)^0.5)))^0.5;

%% Vytvoreni vektoru poklesu dle mereni tunelu Blanka od 6.1.2010 do
7.6.2010
%intervaly extenzometrickeho mereni - extenzometr 50.15.008:
w1 = @(x) -1/3 * 0.2e-3 * x; %int. 6.1.-9.1.
w2 = @(x) 1/4 * 1.2e-3 * x + w1(3); %int. 9.1.-13.1.
w3 = @(x) -1/7 * 4.5e-3 * x + w2(4); %int. 13.1.-20.1.
w4 = @(x) -1/7 * 3.2e-3 * x + w3(7); %int. 20.1.-27.1.
w5 = @(x) -1/7 * 6.3e-3 * x + w4(7); %int. 27.1.-3.2.
```

```

w6 = @(x) -1/7 * 1.6e-3 * x + w5(7); %int. 3.2.-10.2.
w7 = @(x) -1/7 * 0.0e-3 * x + w6(7); %int. 10.2.-17.2.
w8 = @(x) 1/7 * 0.1e-3 * x + w7(7); %int. 17.2.-24.2.
w9 = @(x) -1/7 * 1.5e-3 * x + w8(7); %int. 24.2.-3.3.
w10 = @(x) -1/7 * 1.7e-3 * x + w9(7); %int. 3.3.-10.3.
w11 = @(x) 1/7 * 0.8e-3 * x + w10(7); %int. 10.3.-17.3.
w12 = @(x) -1/13 * 0.9e-3 * x + w11(7); %int. 17.3.-30.3.
w13 = @(x) -1/23 * 0.5e-3 * x + w12(13); %int. 30.3.-22.4.
w14 = @(x) -1/28 * 1.5e-3 * x + w13(23); %int. 22.4.-20.5.
w15 = @(x) -1/7 * 0.9e-3 * x + w14(28); %int. 20.5.-27.5.
w16 = @(x) 1/10 * 1.7e-3 * x + w15(7); %int. 27.5.-7.6.

pocet_dni = 151;
n = 12; %jemnost deleni jednoho dne
N = n*pocet_dni+1; %celkovy pocet prvku vektoru poklesu

x3 = (0:1/n:3);
x4 = (0:1/n:4);
x7 = (0:1/n:7);
x13 = (0:1/n:13);
x23 = (0:1/n:23);
x28 = (0:1/n:28);
x10 = (0:1/n:10);

%W ... vektor hodnot poklesu, (pozn. w pouzito pro obsah vody v
betonu)
W = zeros(1,N);
W(1,1:3*n+1) = w1(x3); %linearni prubeh intervalu 1
W(1,3*n+1:7*n+1) = w2(x4); %linearni prubeh intervalu 2
W(1,7*n+1:2*(7*n)+1) = w3(x7); %linearni prubeh intervalu 3
W(1,2*(7*n)+1:3*(7*n)+1) = w4(x7); %linearni prubeh intervalu 4
W(1,3*(7*n)+1:4*(7*n)+1) = w5(x7); %linearni prubeh intervalu 5
W(1,4*(7*n)+1:5*(7*n)+1) = w6(x7); %linearni prubeh intervalu 6
W(1,5*(7*n)+1:6*(7*n)+1) = w7(x7); %linearni prubeh intervalu 7
W(1,6*(7*n)+1:7*(7*n)+1) = w8(x7); %linearni prubeh intervalu 8
W(1,7*(7*n)+1:8*(7*n)+1) = w9(x7); %linearni prubeh intervalu 9
W(1,8*(7*n)+1:9*(7*n)+1) = w10(x7); %linearni prubeh intervalu 10
W(1,9*(7*n)+1:10*(7*n)+1) = w11(x7); %linearni prubeh intervalu 11
W(1,(70*n)+1:(83*n)+1) = w12(x13); %linearni prubeh intervalu 12
W(1,(83*n)+1:(106*n)+1) = w13(x23); %linearni prubeh intervalu 13
W(1,(106*n)+1:(134*n)+1) = w14(x28); %linearni prubeh intervalu 14
W(1,(134*n)+1:(141*n)+1) = w15(x7); %linearni prubeh intervalu 15
W(1,(141*n)+1:(151*n)+1) = w16(x10); %linearni prubeh intervalu 16

X = (0:1/n:pocet_dni);
t_vektor = linspace(0,pocet_dni,N);

%% --- koef. u vypoctu momentu - pruzny vypocet def. metodou ---
% a) pokles vnitřního pilíře - z pruzného vypoctu:
%fib3=2*(L23+2*L12)*(L23+L12)/((4*L12^2+8*L12*L23+3*L23^2)*L23)*w2
c_fib3 = 2*(L23+2*L12) * (L23+L12) /
((4*L12^2+8*L12*L23+3*L23^2)*L23);

```

```

% fib2 = 3/L23*w2 - (4*L12+3*L23)/(2*L12)*fib3
  c_fib2 = 3/L23 - (4*L12+3*L23)/(2*L12)*c_fib3;

% Mb21 = 3*I/L12*E*(fib2+w2/L12)
%   c_M2 = 3*I/L12*E*(c_fib2 + 1/L12)
% Mb23 = 2*I/L23*E*(2*fib2+fib3) - 6*E*I/L23^2*w2

% Mb32 = 2*I*E/L23*fib2 + 4*I*E/L23*fib3 - 6*E*I/L23^2*w2
%   c_M3 = 2*I*E/L23*c_fib2 + 4*I*E/L23*c_fib3 - 6*E*I/L23^2
% Mb34 = 3*I*E/L12*fib3;

%% ----- koeficienty pro viskoelasticitu -----
C_M2 = -3*I/L12*(c_fib2 + 1/L12);
C_M3 = 2*I/L23*c_fib2 + 4*I/L23*c_fib3 - 6*I/L23^2;

%% -----MODEL B3-----
M2_B3 = zeros(1,length(W));
M2_B3(1) = 0;

%Vypocet prvku M2(2):
J_t2_t2 =
B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+t_vektor(1,2),t_poc+t_vektor(1,2),RH);
J_t2_t1 =
B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,t_poc+t_vektor(1,2),t_poc+t_vektor(1,1),RH);
M2_B3(2) = M2_B3(1) + 2*C_M2*W(2)/(J_t2_t2 + J_t2_t1);

%Vypocet od M2(3) do M2(N):
for i=3:length(W)
%   w1 = W1_1(i) - W1_1(i-1);
  suma = 0;
  for j=2:i-1 %cyklus pro vypocet sumy
    T_xi = t_poc + t_vektor(i); %cas t s indexem i
    TT_xi_1 = tt_poc + t_vektor(i-1); %cas t' s indexem i-1
    TT_xi = tt_poc + t_vektor(i); %cas t' s indexem i
    TT_xj = tt_poc + t_vektor(j); %cas t' s indexem j
    TT_xj_1 = tt_poc + t_vektor(j-1); %cas t' s indexem j-1

    J_ti_tj = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xj,RH);
    %volani fce B3_J pro urceni J(ti,tj)

    J_ti_tj_1 = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xj_1,RH);
    %volani fce B3_J pro urceni J(ti,tj-1)

    suma = suma + (J_ti_tj + J_ti_tj_1) * (M2_B3(j) - M2_B3(j-1));
  end
  J_ti_ti = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xi,RH); %J(ti,ti)
  J_ti_ti_1 = B3_J(fc,w,c,a,v,s,t0,T_xi,TT_xi_1,RH); %J(ti,ti-1)
  M2_B3(i) = M2_B3(i-1) + 1/(J_ti_ti + J_ti_ti_1) * (2*C_M2*W(i) -
suma);
end

```

```

% -----Srovnani hodnot M2 z pruzneho vyp. a vyp. dle B3:
M2pruzne_B3 = C_M2 * E_B3 * W(end)  %[MPa] hodnota v case konce
mereni
M2podleB3 = M2_B3(end)  %[MPa] hodnota v case konce mereni

M2_pruzne_pro_B3 = zeros(1,length(W));
for i=1:length(W)
    M2_pruzne_pro_B3(i) = C_M2 * E_B3 * W(i);
end

% -----Tisk srovnani pruzneho vyp. a vyp. podle B3
T_vektor = t_vektor + 3650;
figure
plot(T_vektor,M2_pruzne_pro_B3*1000,'b','lineWidth',1)
hold on
plot(T_vektor,M2_B3*1000,'r','lineWidth',1.5)
grid
title('Model B3 - Hodnota momentu nad vnitřní (poklesávající)
podporou','FontSize',16)
xlabel('t [dny]','FontSize',12)
xlim([t_poc t_poc+pocet_dni+4])
ylabel('M_2 [kPa]','FontSize',12)
legend('Pružný výpočet','Výpočet podle modelu
B3','Location','Best')

%%                ----- MODEL fib -----
M2_fib = zeros(1,length(W));
M2_fib(1) = 0;
%Vypocet prvku M2(1,2):
Jfib_t2_t2 =
fib_J(fc,v,s,t_poc+t_vektor(2),tt_poc+t_vektor(2),RH);
Jfib_t2_t1 =
fib_J(fc,v,s,t_poc+t_vektor(2),tt_poc+t_vektor(1),RH);
M2_fib(2) = M2_fib(1) + 2*C_M2*W(2)/(Jfib_t2_t2 + Jfib_t2_t1);

%Vypocet od M2(3) do M2(N):
for i=3:length(W) %vytvoreni vektoru prirustku momentu
    suma = 0;
    for j=2:i-1 %vypocet sumy
        T_xi = t_poc + t_vektor(i);           %cas t s indexem i
        TT_xi_1 = tt_poc + t_vektor(i-1);    %cas tt s indexem i-1
        TT_xi = tt_poc + t_vektor(i);        %cas tt s indexem i
        TT_xj = tt_poc + t_vektor(j);        %cas tt s indexem j
        TT_xj_1 = tt_poc + t_vektor(j-1);    %cas tt s indexem j-1

        Jfib_ti_tj = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xj,RH);
            %volani fce fib_J pro urceni J(T_xi,TT_xj)
        Jfib_ti_tj_1 = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xj_1,RH);
            %volani fce fib_J pro urceni J(T_xi,TT_xj-1)
        suma=suma+(Jfib_ti_tj+Jfib_ti_tj_1)*(M2_fib(j)-M2_fib(j-1));
    end
end

```

```

    Jfib_ti_ti = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xi,RH);
    Jfib_ti_ti_1 = fib_J(fc,v,s,T_xi,TT_xi_1,RH);
    M2_fib(i) = M2_fib(i-1) + 1/(Jfib_ti_ti + Jfib_ti_ti_1) *
(2*C_M2*W(i) - suma);
end

% Srovnani hodnot M2 z pruzneho vyp. a vyp. dle fib - hodnoty v case
konce mereni:
M2pruzne_fib = C_M2 * E_fib * W(end) %[MPa], kladny moment pri
tazenych hornich vlaknech
M2podlefib = M2_fib(end) %[MPa], kladny mom pri tahu v hor. vlaknech

M2_pruzne_pro_fib = zeros(1,length(W));
for i=1:length(W)
    M2_pruzne_pro_fib(i) = C_M2 * E_fib * W(i);
end

% -----Tisk srovnani pruzneho vyp. a vyp. podle fib
figure
plot(T_vektor,M2_pruzne_pro_fib*1000,'b','lineWidth',1)
hold on
plot(T_vektor,M2_fib*1000,'r','lineWidth',1.5)
grid
title('Model fib - Hodnota momentu nad vnitřní (poklesávající)
podporou','FontSize',16)
xlabel('t [dny'],'FontSize',12)
xlim([t_poc t_poc+pocet_dni+4])
ylabel('M_2 [kPa'],'FontSize',12)
legend('Pružný výpočet','Výpočet podle modelu fib','Location','Best')

```