

Aktualizace predikce dotvarování betonu na základě měřených dat



Soutěž o Cenu akademika Bažanta

Katedra mechaniky

K132

26.4.2012

Řešitel:

Svatopluk Dobruský

Vedoucí práce:

Prof. Ing. Milan Jirásek DrSc.

Motivace

- Určit optimální dobu měření vzorků

Dílčí úkoly:

- Zpřesnění aktualizace modelů
- Způsob porovnání jednotlivých modelů

Predikční Modely

Model B3

$$J(t, t') = q_1 + q_2 Q(t, t') + q_3 \ln[1 + (t - t')^{0.1}] + q_4 \ln\left(\frac{t}{t'}\right) + J_d(t, t')$$

Fib Model 2010

ACI 209 Model

GL Model

Predikční Modely

Model B3

Fib Model 2010

$$J(t, t') = \frac{1}{E_c} e^{-\frac{s}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t'}}\right)} + \frac{\varphi_{RH} \beta_f}{E_c} \frac{1}{0.1 + t'^{0.2}} \left(\frac{t - t'}{\beta_H \beta_T + t - t'} \right)^{0.3}$$

ACI 209 Model

GL Model

Predikční Modely

Model B3

Fib Model 2010

ACI 209 Model

$$J(t, t') = \frac{1}{E_c} \sqrt{b + \frac{a}{t'}} \left[1 + \frac{2.35\gamma}{(t')^m} \frac{(t - t')^{0.6}}{10 + (t - t')^{0.6}} \right]$$

GL Model

Predikční Modely

Model B3

Fib Model 2010

ACI 209 Model

GL Model

$$J(t, t') = \frac{1}{3.5 + (E_c - 3.5)e^{\frac{s}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t'}}\right)}} + \frac{\varphi}{E_c} \left[\frac{2(t - t')^{0.3}}{(t - t')^{0.3} + 14} + \sqrt{\frac{7(t - t')}{t'(t - t' + 7)}} + c_h \sqrt{\frac{t - t'}{t - t' + 0.12(V/S)^2}} \right]$$

Vstupní Data

Comprehensive Database on Concrete creep and shrinkage (Zdeněk P. Bažant & Guang-Hua Li)

-Selekce dat pro základní dotvarování

Napětí

$$\sigma_c = 0.4 f_{c_{28}}$$

Vlhkost

$$H \geq 99\%$$

Teplota

$$(5^{\circ}C \leq T \leq 50^{\circ}C)$$

Pevnost

$$f_{c_{28}} \leq 82MPa$$

Doba trvání

$$t \geq 1000dní$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
ID	Author	Region	Year	File	TestNO	Ref Number	wc	ac	c	cCEB	SI02	Fivash	WR	Re	AE4	fc28	E28	Geometry
2	1 Dutron [1]	B	1936	c_001_01	1	38	0.56	6.46	289 R	0	0	0	0	0	0	28.4	P 100x400	
3	2 Dutron [1]	B	1936	c_001_02	2	38	0.56	6.46	289 R	0	0	0	0	0	0	28.4	P 100x400	
4	3 Komm	B	1936	c_001_03	3	38	0.56	6.46	289 R	0	0	0	0	0	0	28.4	P 100x400	
5	4 Dutron [1]	B	1936	c_001_04	4	38	0.56	6.46	289 R	0	0	0	0	0	0	28.4	P 100x400	
6	5 Dutron [1]	B	1936	c_001_05	5	38	0.56	6.46	289 R	0	0	0	0	0	0	28.4	P 100x400	
7	6 Dutron [1]	B	1936	c_001_06	6	38	0.56	6.46	289 R	0	0	0	0	0	0	28.4	P 100x400	
8	7 Hanson [2]	USA	1953	c_002_01	1	50	0.58	5.624	346 SL	0	0	0	0	0	0	22.3	C 152x660	
9	8 Hanson [2]	USA	1953	c_002_02	2	50	0.56	6.14	320 SL	0	0	0	0	0	0	34.3	C 152x406	
10	9 Hanson [2]	USA	1953	c_002_03	3	50	0.56	6.14	320 SL	0	0	0	0	0	0	34.3	C 152x406	
11	10 Hanson [2]	USA	1953	c_002_04	4	50	0.56	6.14	320 SL	0	0	0	0	0	0	34.3	C 152x406	
12	11 Hanson [2]	USA	1953	c_002_05	5	50	0.56	6.14	320 SL	0	0	0	0	0	0	34.3	C 152x406	
13	12 Hanson [2]	USA	1953	c_002_06	6	50	0.56	6.14	320 SL	0	0	0	0	0	0	34.3	C 152x406	
14	13 Troxel [5]	USA	1958	c_005_01	1	50	0.59	5.669	320 R	0	0	0	0	0	0	16.5	C 102x356	
15	14 Troxel [5]	USA	1958	c_005_02	2	101	0.59	5.669	320 R	0	0	0	0	0	0	16.5	C 102x356	
16	15 Troxel [5]	USA	1958	c_005_03	3	101	0.59	5.669	320 R	0	0	0	0	0	0	16.5	C 102x356	
17	16 Troxel [5]	USA	1958	c_005_04	4	101	0.59	5.669	320 R	0	0	0	0	0	0	16.5	C 102x356	
18	17 Weil [6] A	D	1959	c_006_01	1	103	0.52	5.385	336 SL	0	0	0	0	0	0	25.4	C 100x400	
19	18 Weil [6] A	D	1959	c_006_02	2	103	0.52	5.385	336 SL	0	0	0	0	0	0	25.4	C 200x800	
20	19 Weil [6] A	D	1959	c_006_03	3	103	0.52	5.385	336 SL	0	0	0	0	0	0	25.4	C 300x1200	
21	20 Weil [6] A	D	1959	c_006_04	4	103	0.52	5.385	336 SL	0	0	0	0	0	0	25.4	C 600x1800	
22	21 Weil [6] B	D	1959	c_006_05	5	103	0.54	5.4	337 SL	0	0	0	0	0	0	28	C 100x400	
23	22 Weil [6] B	D	1959	c_006_06	6	103	0.54	5.4	337 SL	0	0	0	0	0	0	28	C 100x400	
24	23 Weil [6] C	D	1959	c_006_07	7	103	0.52	5.031	356 R	0	0	0	0	0	0	46.9	C 100x400	
25	24 Weil [6] C	D	1959	c_006_08	8	103	0.52	5.031	356 R	0	0	0	0	0	0	46.9	C 100x400	
26	25 Weil [6] B	D	1959	c_006_09	9	103	0.54	5.4	337 SL	0	0	0	0	0	0	28	C 100x400	
27	26 Weil [6] B	D	1959	c_006_10	10	103	0.54	5.4	337 SL	0	0	0	0	0	0	28	C 100x400	
28	27 Weil [6] C	D	1959	c_006_11	11	103	0.52	5.031	356 R	0	0	0	0	0	0	46.9	C 100x400	
29	28 Weil [6] C	D	1959	c_006_12	12	103	0.52	5.031	356 R	0	0	0	0	0	0	46.9	C 100x400	
30	29 Hummel [11]	D	1962	c_011_01	1	6	0.55	5.396	334 SL	0	0	0	0	0	0	26.9	C 200x600	
31	30 Hummel [11]	D	1962	c_011_02	2	6	0.55	5.396	334 SL	0	0	0	0	0	0	26.9	C 200x600	
32	31 Hummel [11]	D	1962	c_011_03	3	6	0.55	5.396	334 SL	0	0	0	0	0	0	26.9	C 200x600	
33	32 Hummel [11]	D	1962	c_011_04	4	6	0.55	5.396	334 R	0	0	0	0	0	0	41.9	C 200x600	
34	33 Hummel [11]	D	1962	c_011_05	5	6	0.55	5.396	334 R	0	0	0	0	0	0	41.9	C 200x600	
35	34 Hummel [11]	D	1962	c_011_06	6	6	0.55	5.396	334 R	0	0	0	0	0	0	41.9	C 200x600	
36	35 Hummel [11]	D	1962	c_011_07	7	6	0.38	5.391	350 SL	0	0	0	0	0	0	43.1	C 200x600	
37	36 Hummel [11]	D	1962	c_011_08	8	6	0.45	5.392	345 SL	0	0	0	0	0	0	35.3	C 200x600	
38	37 Hummel [11]	D	1962	c_011_09	9	6	0.65	5.393	326 SL	0	0	0	0	0	0	19	C 200x600	

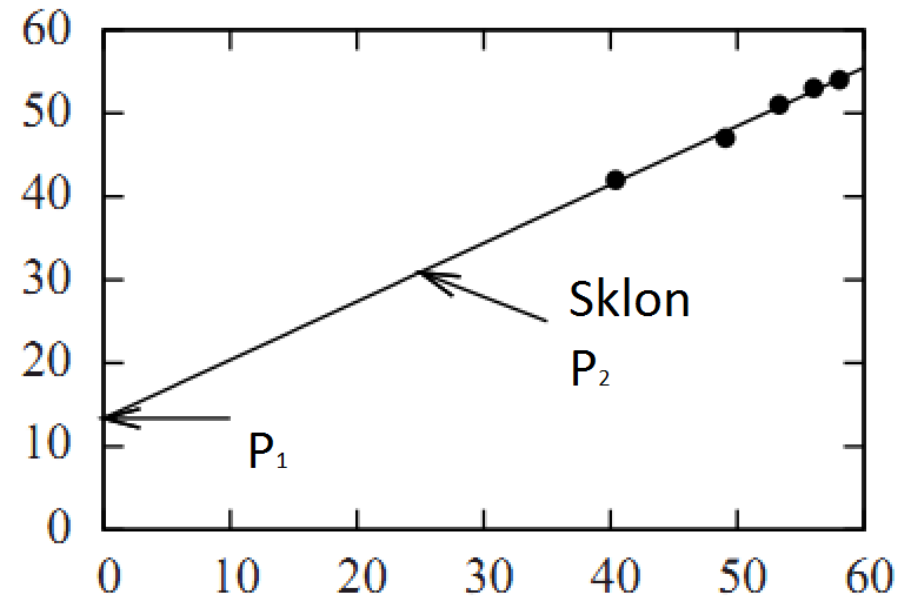
(Celkem 40 vzorků z 12 různých laboratoří)

Základní metoda aktualizace

Metoda lineární regrese

$$J_u(t, t') = p_1 + p_2 J_o(t, t')$$

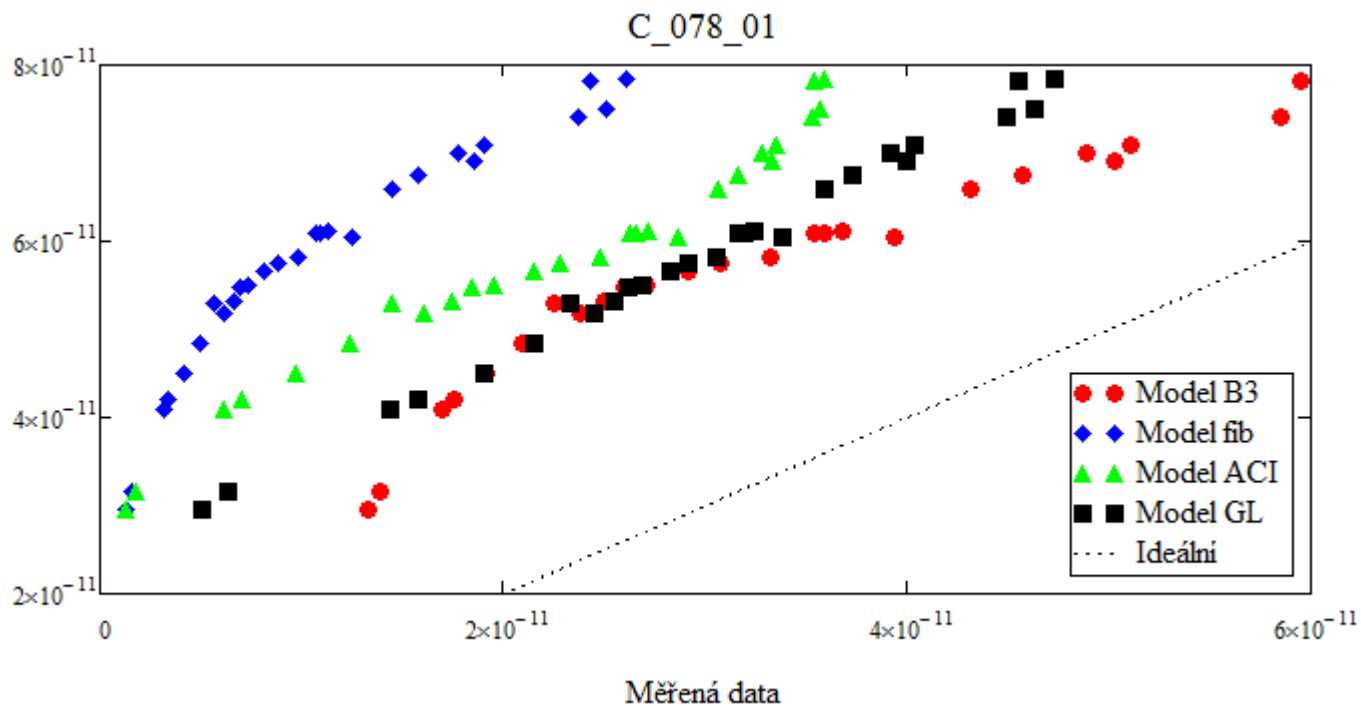
$$f(p_1, p_2) = \sum_{i=1}^m [p_1 + p_2 J_o(t_i, t') - J_e(t_i)]^2$$



Základní metoda aktualizace

Nedostatky

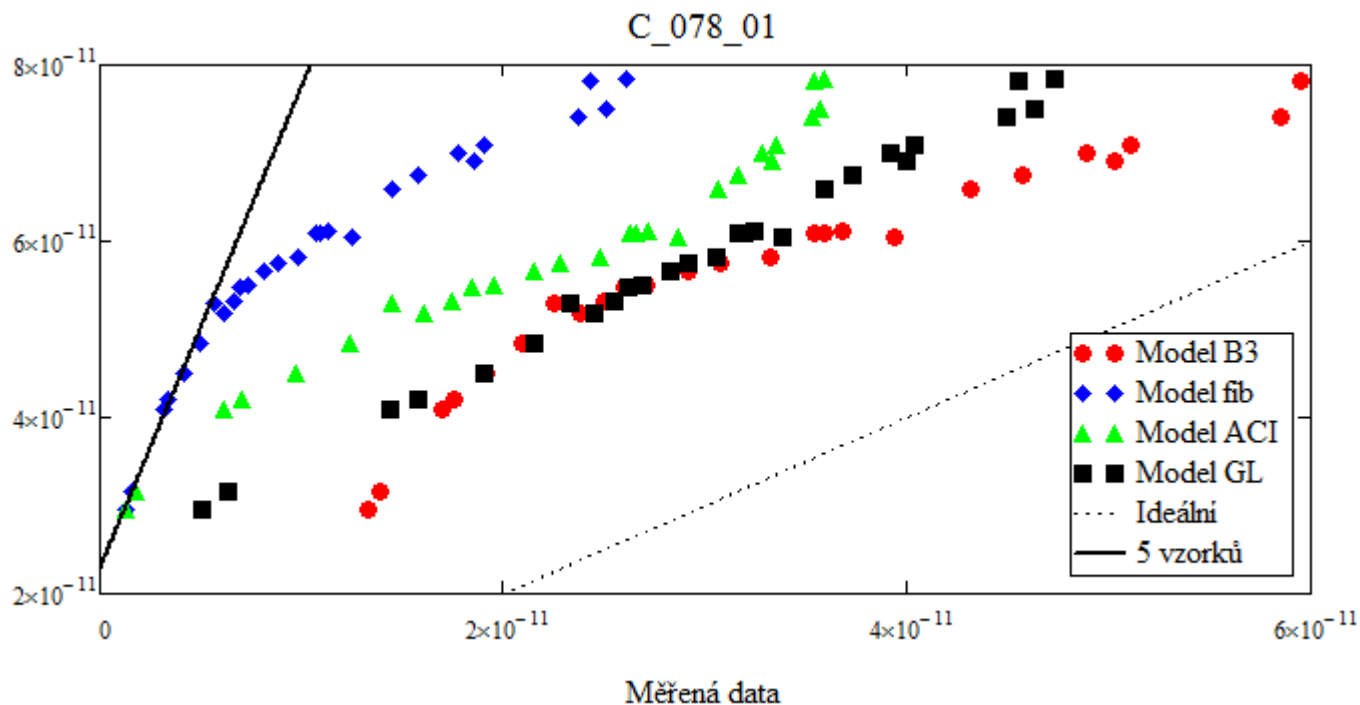
Vliv předešlých (raných) měření



Základní metoda aktualizace

Nedostatky

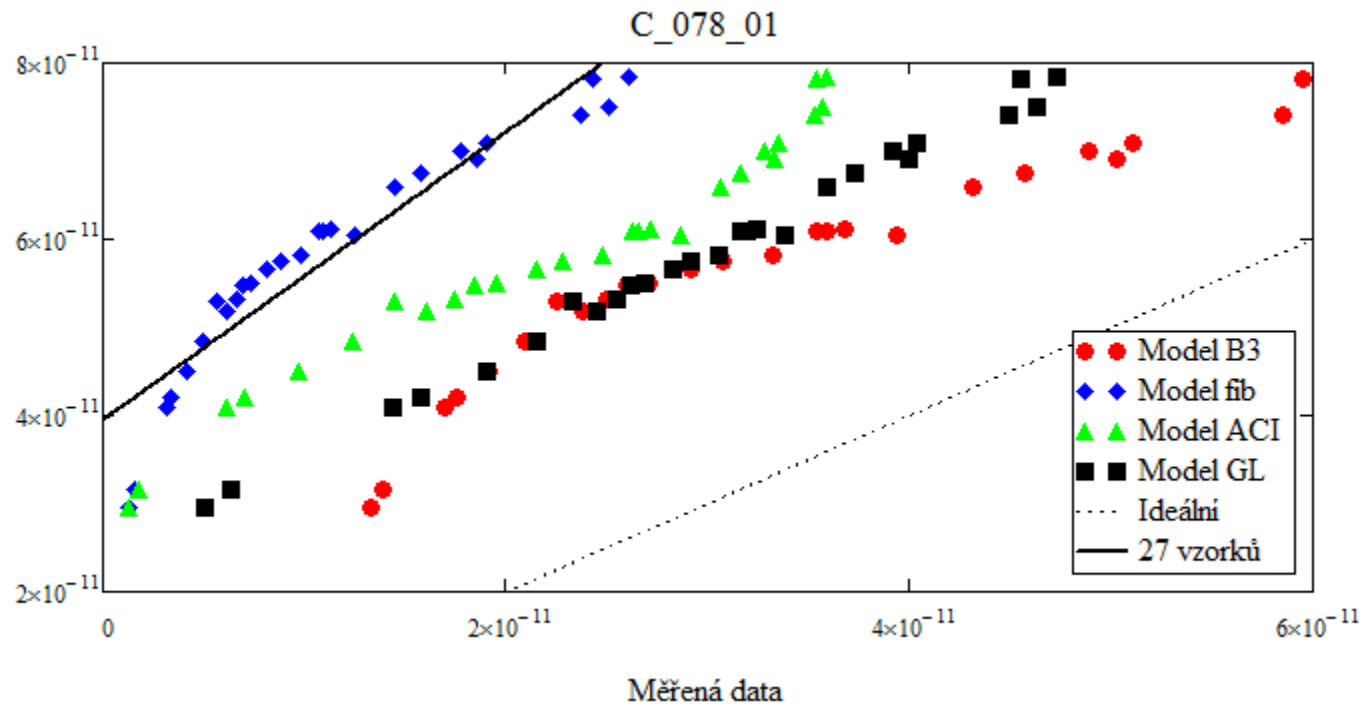
Vliv předešlých (raných) měření



Základní metoda aktualizace

Nedostatky

Vliv předešlých (raných) měření



Modifikovaná metoda aktualizace

Užití váhové funkce

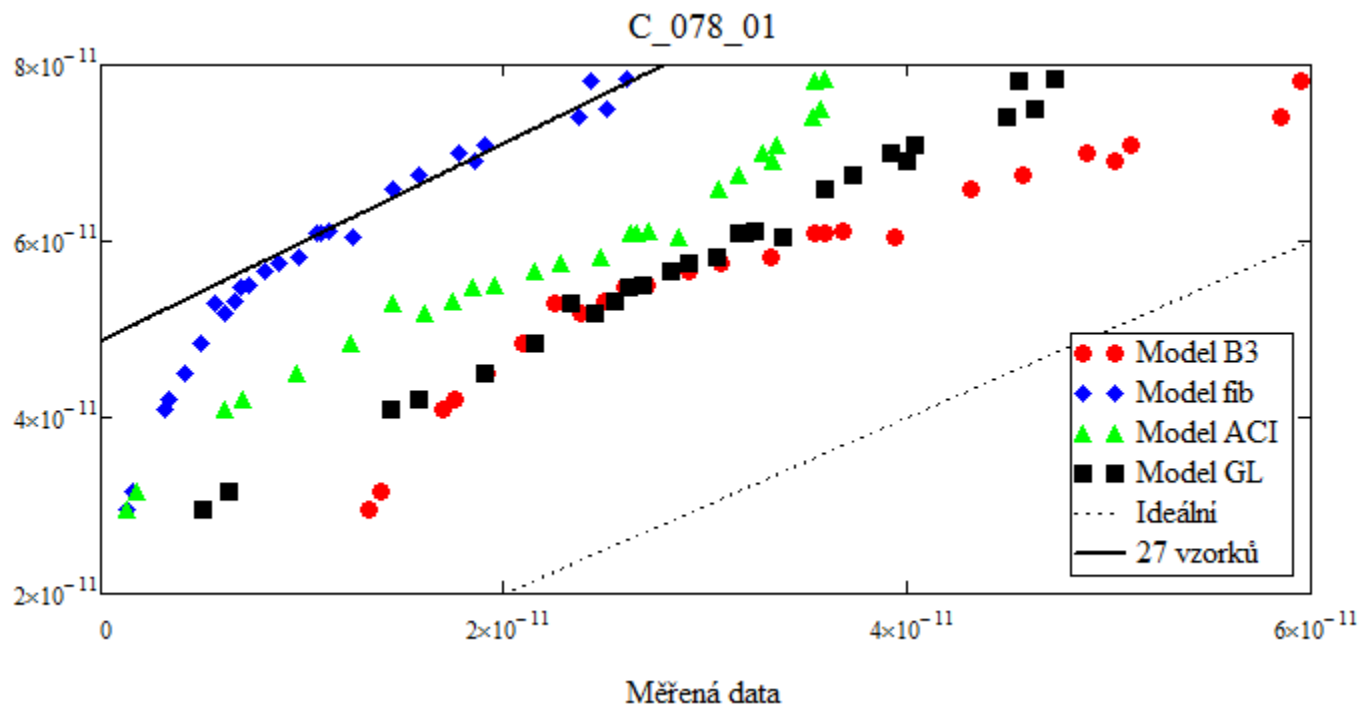
$$f(p_1, p_2) = \sum_{i=1}^m (t_i - t') [p_1 + p_2 J_o(t_i, t') - J_e(t_i)]^2$$

$$p_2 = \frac{w \sum_{i=1}^m (J_i^o J_i^e w_i) - \sum_{i=1}^m (J_i^o w_i) \sum_{i=1}^m (J_i^e w_i)}{w \sum_{i=1}^m (J_i^o w_i)^2 - (\sum_{i=1}^m (J_i^o w_i))^2}$$

$$p_1 = \frac{\sum_{i=1}^m (J_i^e w_i)}{w} + p_2 \frac{\sum_{i=1}^m (J_i^o w_i)}{w}$$

Modifikovaná metoda aktualizace

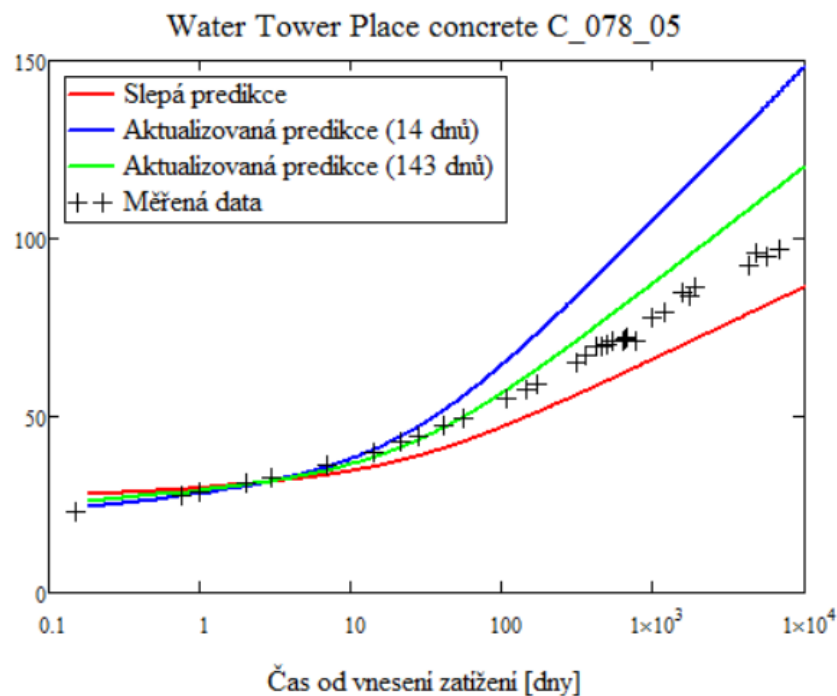
Eliminace předešlých (raných) měření



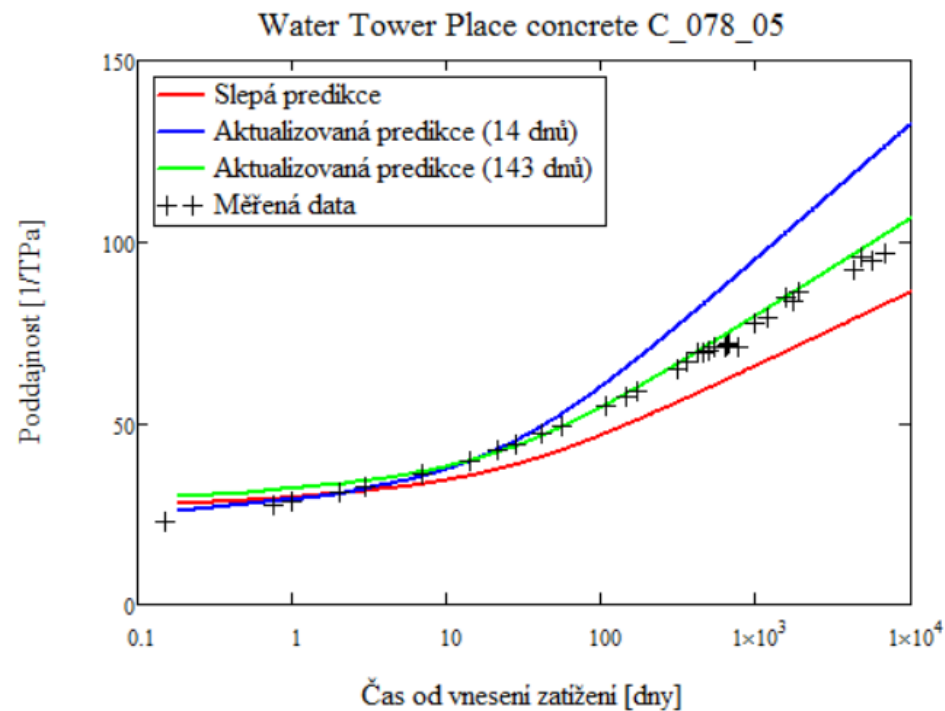
Modifikovaná metoda aktualizace

Zpřesnění predikční kapacity

Základní metoda aktualizace



Modifikovaná metoda aktualizace



Přesnost aktualizované predikce

Průměrná reziduální chyba [1/Pa]

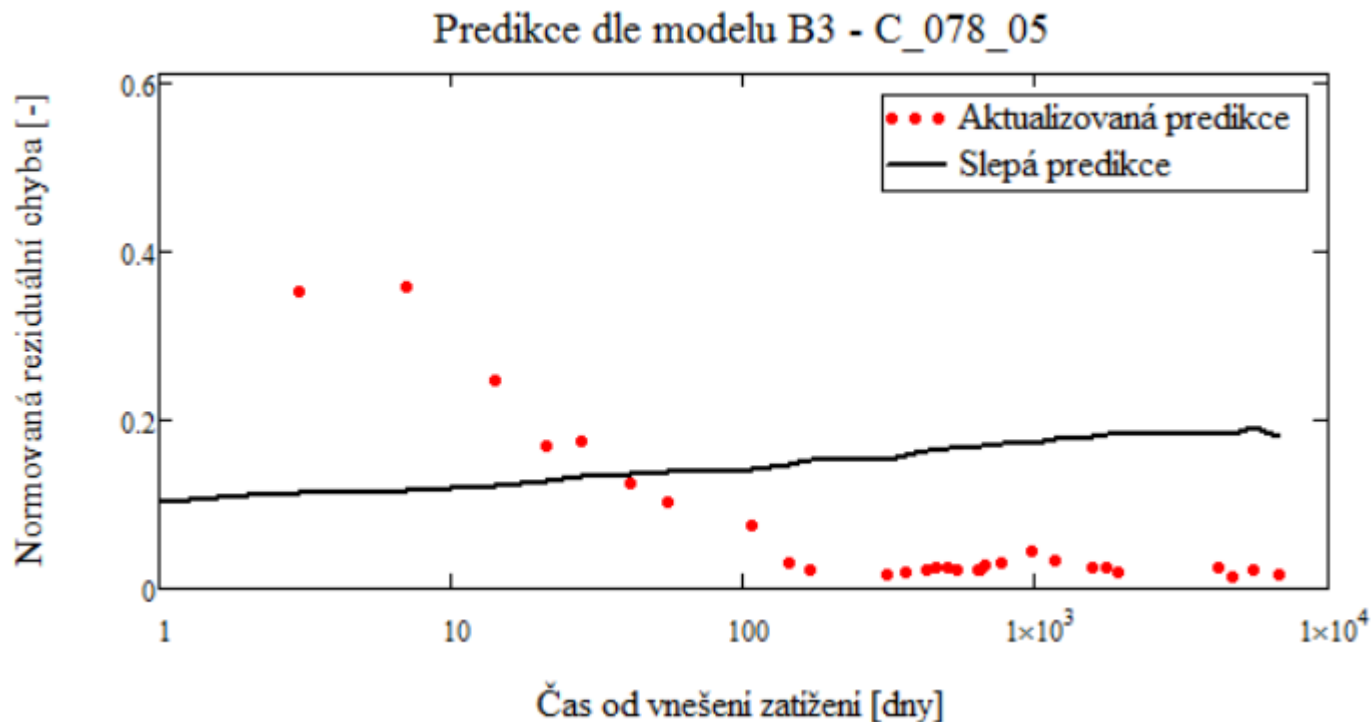
$$e_u^{(m)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=m+1}^n \ln \frac{t_{i+1} - t'}{t_{i-1} - t'} [J_u(t_i, t') - J_e(t_i)]^2}{\sum_{i=m+1}^n \ln \frac{t_{i+1} - t'}{t_{i-1} - t'}}$$

Normovaná reziduální chyba [-]

$$e_n^{(m)} = \frac{e_u^{(m)}}{J(1000 + t', t')}$$

Přesnost aktualizované predikce

Normovaná reziduální chyba [-]



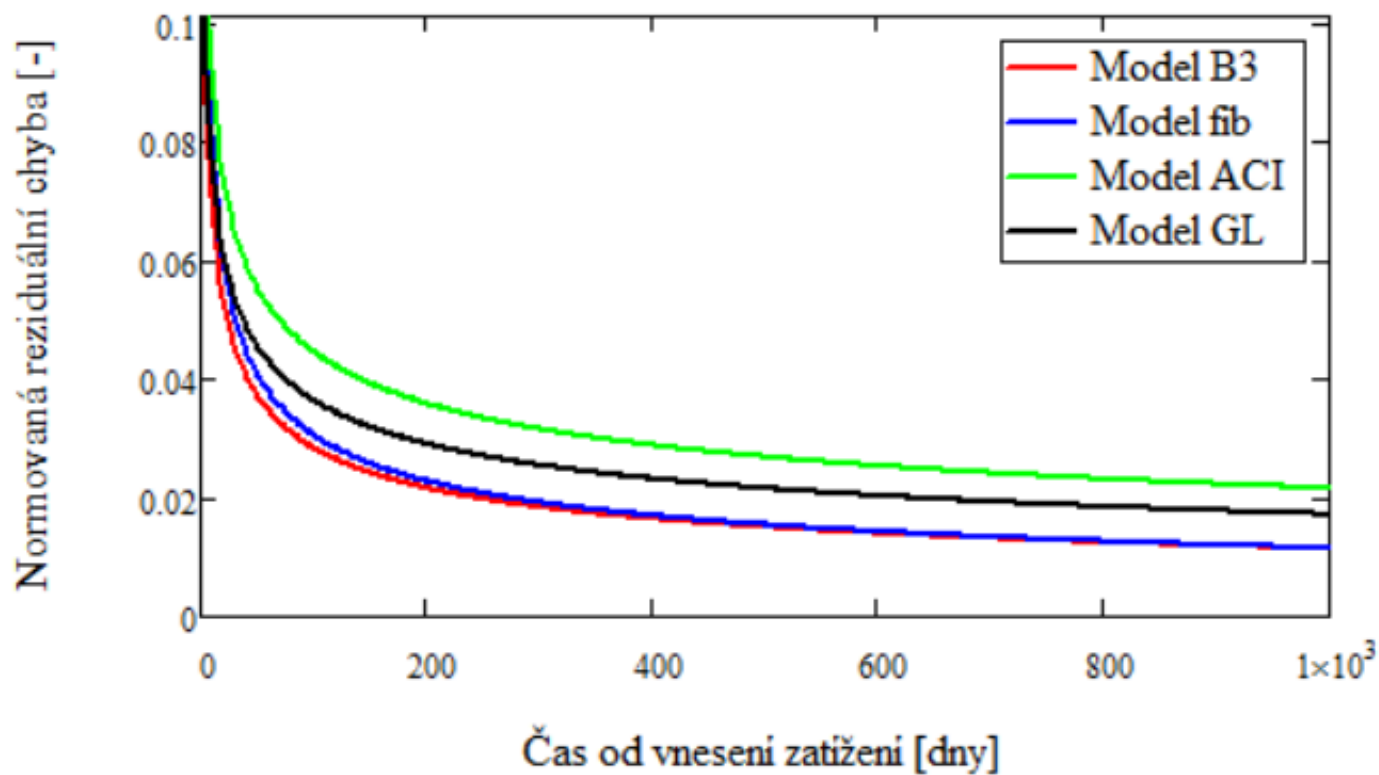
Optimální doba měření

x

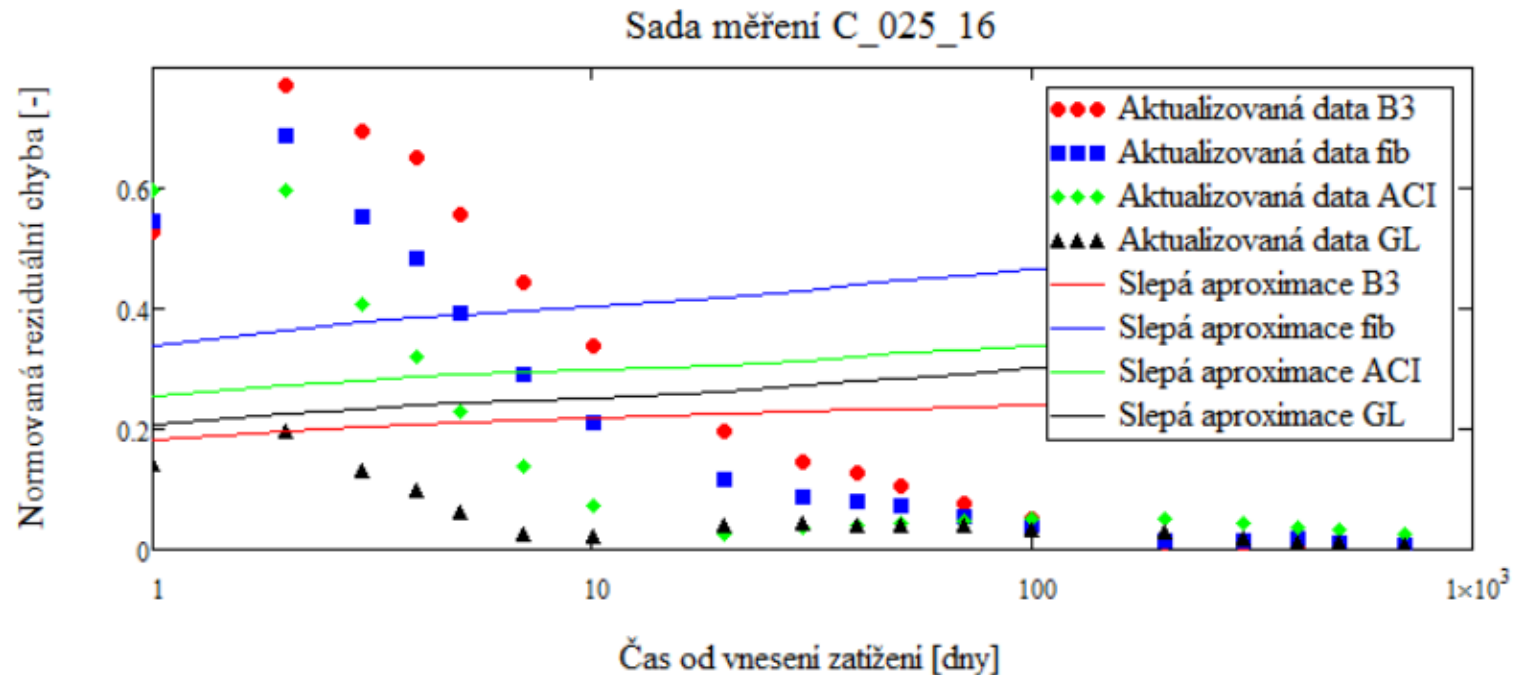
Minimální doba měření

Optimální doba měření

Graf normovaných chyb pro 40 vzorků



Minimální doba měření

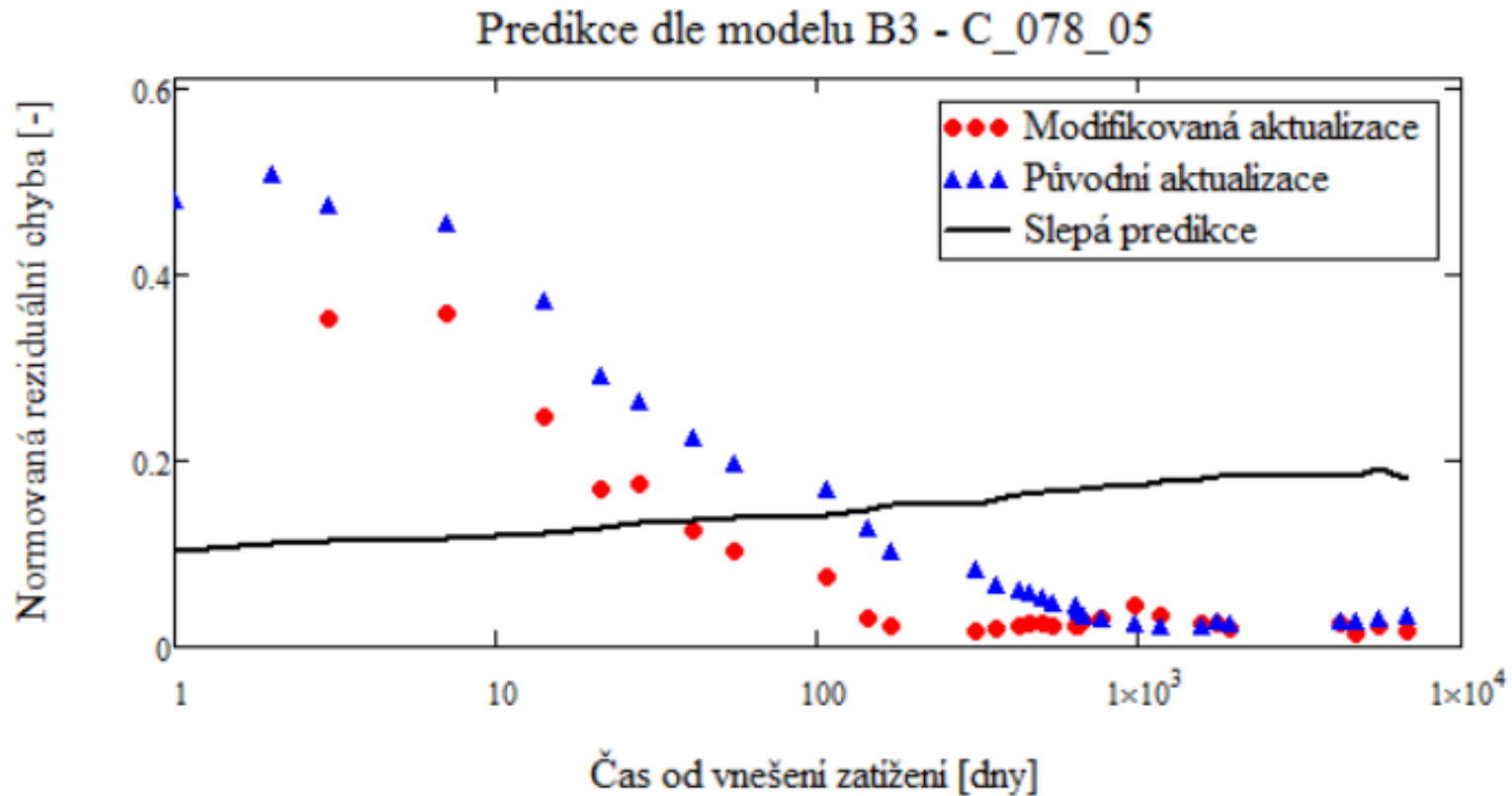


Model	Nutný počet dnů	Počet měření
B3 Model	48,7	4,65
Fib Model	59,1	4,25
ACI Model	58,0	5,48
GL Model	18,6	2,38

Závěr

- Využití váhové funkce dle času od zatížení
- Doba měření
 - Nutná: min 2 měsíce (B3, fib, ACI)
 - Optimální: 12 měsíců
 - Zlepšení vůči slepé predikci o 85%
 - Možné vylepšení o 80%
- Doporučení:
 - Nepoužívat měření menší než 24hod od zatížení
 - (urychlení konvergence)

Závěr



Poděkování

Dotazy

Děkuji vám za pozornost