



SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

Kalibrace a limity její přesnosti

2005/2006

Ing. Petr Eliáš



1. LINEÁRNÍ KALIBRACE

1.1 Zadání

Povrchově upravená suspenze TiO_2 je protiproudě promývána v kaskádě Dorrových usazováků. Nejvíce zasolený sliv z 1. stupně promývání končí ve slabě kyselé kanalizaci. Koncentrace suspendovaného TiO_2 ve slivu je kontinuálně monitorována pomocí nefelometru, který výstupní data poskytuje v jednotkách FNU (Formazine Nephelometric Unit). Na základě naměřené kalibrační závislosti určete koncentraci TiO_2 ve slivu pro hodnoty zákalu 1000, 2500 a 5000 FNU.

1.2 Data

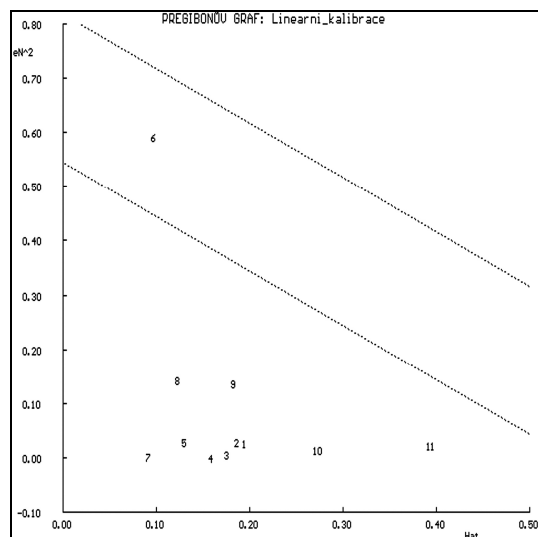
c TiO_2	[g.dm⁻³]	0,0000	0,0050	0,0125	0,0250	0,0500	0,1000
Zákal	[FNU]	2	116	262	525	1042	2013
c TiO_2	[g.dm⁻³]	0,1250	0,2000	0,2500	0,3000	0,3500	-
Zákal	[FNU]	2780	4557	5680	6680	7797	-

Soubor s daty: Linearni_kalibrace.xls

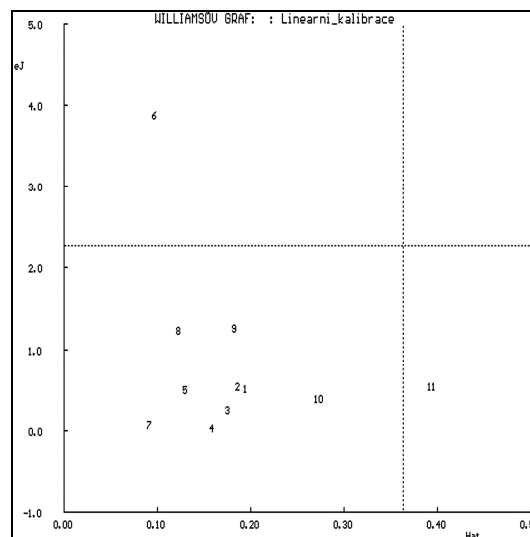
Použitý software: ADSTAT v1.25

1.3 Předběžná analýza dat

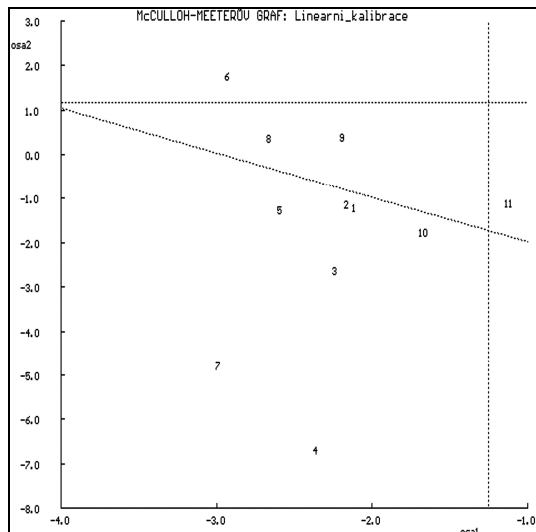
1.3.1 Vybrané grafy grafického výstupu programu ADSTAT



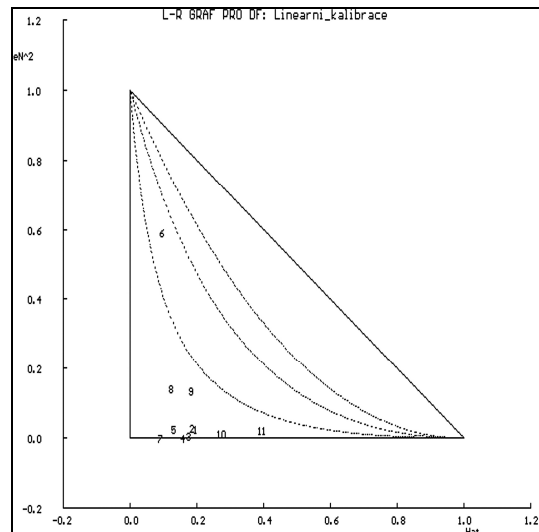
Obr. 1 Pregibonův graf



Obr. 2 Williamsův graf



Obr. 3 McCulloh-Meeterův graf



Obr. 4 LR graf

1.3.2 Komentář k vybraným grafům grafického výstupu programu ADSTAT

- Pregibonův graf (obr. 1)*
 Na osu x se vynášejí prvky projekční matice H_{ii} , na osu y kvadráty normovaných reziduí \hat{e}_{Ni}^2 . Body, které se nacházejí mezi přímkami danými rovnicemi $y = -x + 2(m+1)/n$ a $y = -x + 3(m+1)/n$ jsou vlivné, může jít o vybočující bod i o extrém. Body ležící nad „horní“ přímkou jsou silně vlivné.
 Bod č. 6 je vlivný, může jít o vybočující bod i o extrém.
- Williamsův graf (obr. 2)*
 Na osu x se vynášejí prvky projekční matice H_{ii} , na osu y jackknife rezidua \hat{e}_{ji} . Do tohoto grafu se zakresluje mezní linie pro vybočující body $t_{1-a}(n-m-1)$ a také linie pro extrémy $x = 2m/n$.
 Bod č. 6 je tímto grafem indikován jako odlehlý.
- McCulloh-Meeterův graf (obr. 3)*
 Na osu x se vynášejí výraz $\ln[H_{ii}/(m(1-H_{ii}))]$ a na osu y potom výraz $\ln \hat{e}_{si}^2$.
 Omezující čára pro extrémy je $x = \ln \frac{2}{n-2m}$ a omezující čára pro odlehlé body je $y = \ln[(n-m)t_{1-a}^2(t_{1-a}^2 + n - m)]$.
 Bod č. 6 je tímto grafem indikován jako odlehlý.
- LR graf (obr. 4)*
 Na osu x se vynášejí prvky projekční matice H_{ii} , na osu y kvadráty normovaných reziduí \hat{e}_{Ni}^2 .
 Jako silně vlivný je tímto grafem indikován bod č. 6.

1.3.3 Vybrané úseky textového výstupu programu ADSTAT

- *Podmínky a kvantily pro statistické testy*
 Hladina významnosti, α 0,050
 Počet bodů, n 11
 Kvantil Studentova rozdělení t ($1 - \alpha/2$; n - m) 2,262
 Kvantil rozdělení χ^2 ($1 - \alpha$, m) 5,991
- *Odhady parametrů a testy významnosti*

Parametr	Odhad	Směr. odchylka	t-kriterium	$H_0: \beta_j = 0$ vs. $H_A: \beta_j \neq 0$ H_0 je:	Hlad. význam.
Úsek	-40,333	37,588	-1,073	Akceptována	0,311
Směrnice	22503,000	212,570	105,860	Zamítnuta	0,000

- *Statistické charakteristiky regrese*
 Vícenásobný korelační koeficient; R 0,9996
 Koeficient determinace; R^2 0,999
 Predikovaný koeficient determinace; R_p^2 0,999
 Střední kvadratická chyba predikce; MEP 7967,100
 Akaikeho informační kritérium; AIC 99,625
- *Testování regresního tripletu*
Fischer-Snedecorův test významnosti regrese
 F 11206,000
 Tabulkový kvantil F ($1 - \alpha$, m-1, n-m) 5,117
Závěr model je významný

Scottovo kritérium multikolinearity; M
Závěr model je korektní

Cook-Weisbergův test heteroskedasticity
 S_F 20,214
 Tabulkový kvantil χ^2 ($1 - \alpha$, 1) 3,842
Závěr rezidua vykazují heteroskedasticitu

Jarque-Berraův test normality reziduí
 L(e) 3,259
 Tabulkový kvantil χ^2 ($1 - \alpha$, 2) 5,992
Závěr normalita je přijata

Waldův test autokorelace
 W_A 0,925
 Tabulkový kvantil χ^2 ($1 - \alpha$, 1) 3,842
Závěr rezidua nejsou autokorelována

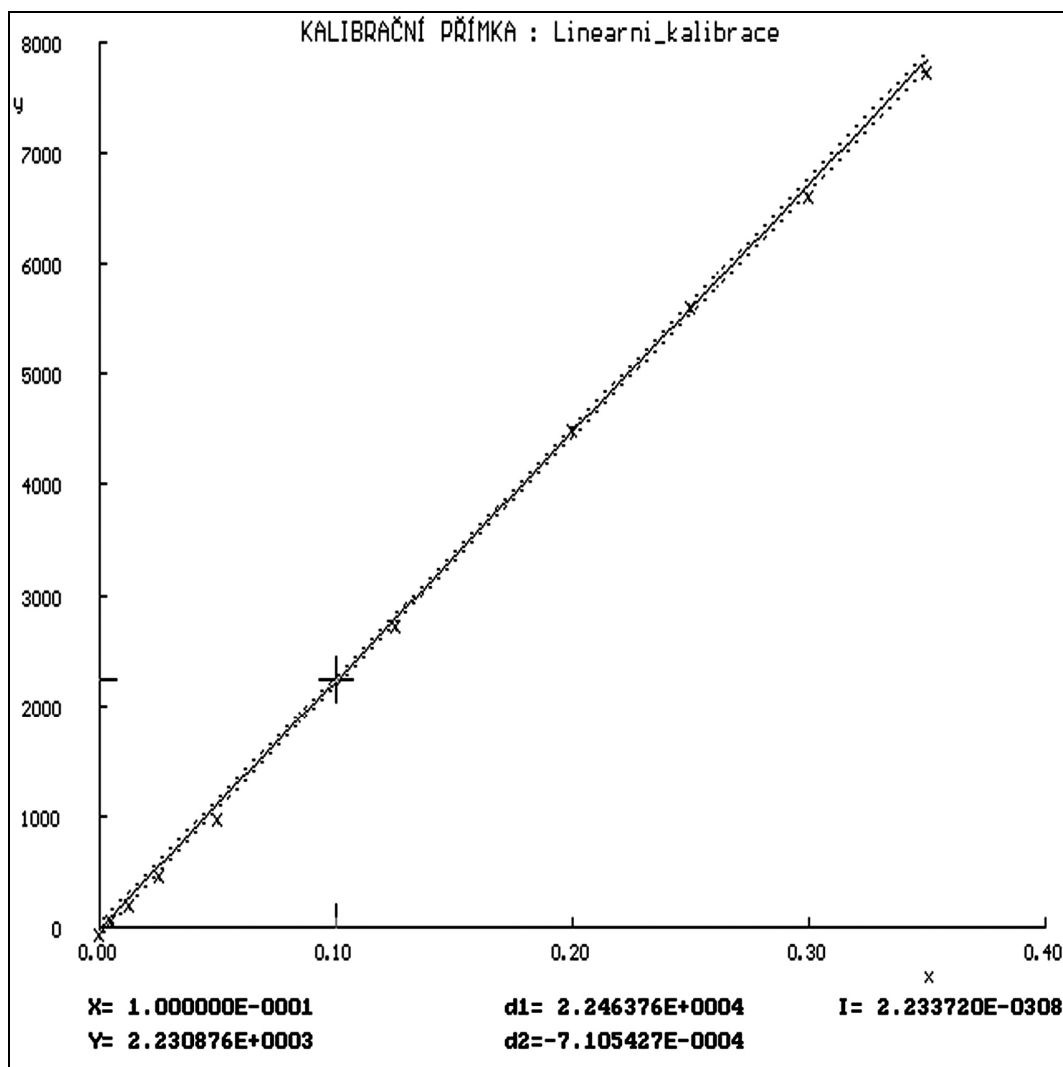
Znaménkový test
 D_T -1,102
 Tabulkový kvantil N ($1 - \alpha/2$) 1,645
Závěr rezidua nevykazují trend

1.3.4 Závěr předběžné analýzy dat

Z grafických diagnostik plyne, že bod č. 6 je odlehlý; bude tedy odstraněn.

1.4 Kalibrace (po odstranění bodu č. 6)

1.4.1 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 5 Kalibrační přímka pro kontinuální nefelometrické stanovení koncentrace TiO_2

1.4.2 Vybrané úseky textového výstupu programu ADSTAT

- *Podmínky*
Hladina významnosti; α 0,050
Počet bodů; n 10
Kvantil Studentova rozdělení t ($1 - \alpha$; n - m) 2,306
- *Statistické charakteristiky proměnných*
Korelační koeficient 0,9999

- *Parametry kalibrace*

Parametr	Odhad	Směr. odchylka	t-kriterium	$H_0: \beta_j = 0$ vs. $H_A: \beta_j \neq 0$ H_0 je:	Hlad. význam.
Úsek	-15,501	24,295	0,638	Akceptována	0,541
Směrnice	22464,000	132,950	168,960	Zamítnuta	0,000

- *Analýza reziduí*

Reziduální součet čtverců; RSC	22675,000
Průměr abs. reziduí; Me	39,198
Průměr rel. reziduí; Mer [%]	90,804
Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$	2834,400
Odhad směr. odchylky reziduí; $s(e)$	53,239

- *Kalibrační meze*

Kritická úroveň	$y_c:$	40,524	$x_c:$	0,002
Limita detekce	$y_d:$	-	$x_d:$	-
Mez stanovitelnosti	$y_s:$	585,200	$x_s:$	0,027

- *Kalibrační tabulka*

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Přímý odhad $x_{vyp}(i)$	Nasodiho odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
			Dolní mez	Horní mez
1000	0,045	0,045	0,039	0,051
2500	0,112	0,112	0,106	0,118
5000	0,223	0,223	0,217	0,229

1.4 Závěr

Kalibrační závislost má tvar $y = 22464(\pm 132,950)x$.

Přesnost použité metody vyjádřená jako mez stanovitelnosti y_s je 585,200 FNU (tomu odpovídá hodnota koncentrace suspendovaného TiO_2 0,027 g.dm⁻³). Limita detekce nebyla programem ADSTAT spočtena, její hodnota bude ležet mezi hodnotami y_s a y_c .

S 95% statistickou jistotou lze tvrdit, že koncentrace suspendovaného TiO_2 u neznámých vzorků vykazujících signály 1000, 2500 a 5000 FNU leží v intervalech $\langle 0,039; 0,051 \rangle$, $\langle 0,106; 0,118 \rangle$ a $\langle 0,217; 0,229 \rangle$ g.dm⁻³.

2. NELINEÁRNÍ KALIBRACE

2.1 Zadání

Při výrobě titanové běloby sulfátovým postupem je operaci hydrolýzy předřazena kontrolní filtrace titanového roztoku. Filtrace se provádí na rámových kalolisech, výkon kalolisu je sledován pomocí výšky hladiny filtrátu v produkčním žlabu. Z naměřené závislosti výkonu kalolisu na výšce hladiny ve žlabu určete, jaká hladina odpovídá výkonu 9, 15 a 25 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

2.2 Data

H	[cm]	0	5	6	7	8
Q	[$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	0	7	8	10	12
H	[cm]	9	9,5	10,5	11	12
Q	[$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	14	16	18	22	26

Soubor s daty: Nelinearni_kalibrace.xls

Použitý software: ADSTAT v1.25

2.3 Kvadratický spline bez uzlových bodů

2.3.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

- Podmínky*
Hladina významnosti 0,05
Počet bodů; n 10
Počet uzlů; m 0
- Parametry kalibrace*
Koeficienty rovnice $y = f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

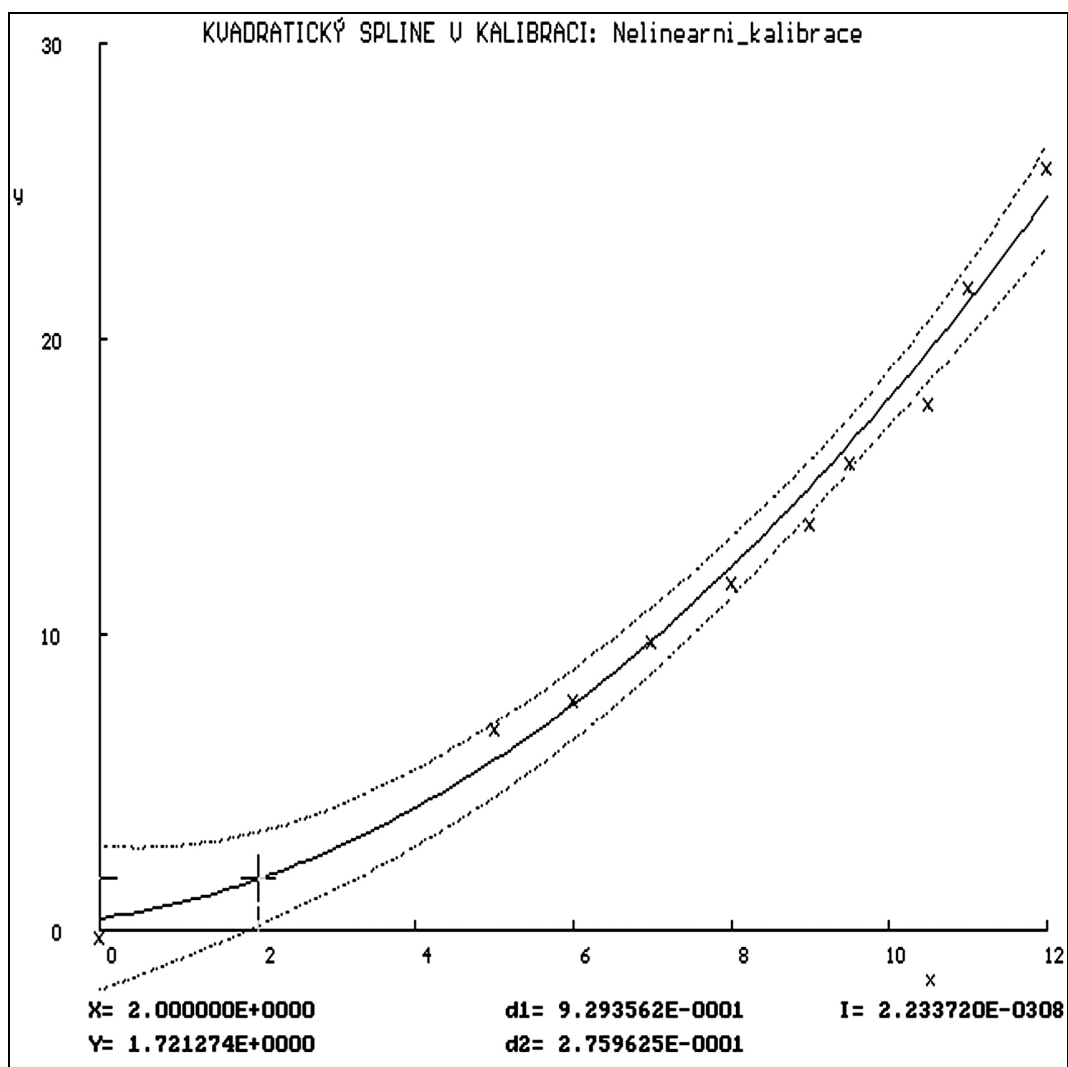
k(i)	f(i)	g(i)	h(i)
12,000	0,138	0,377	0,414

- Analýza reziduí*
Reziduální součet čtverců; RSC 7,622
Průměr abs. reziduí; Me 0,742
Průměr rel. reziduí; Mer [%] 15,607
Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 1,089
Odhad směr. odchylky reziduí; $s(e)$ 1,044
- Kalibrační meze*
Kritická úroveň y_c : 2,838 x_c : 3,040
Limita detekce y_d : 4,137 x_d : 4,003

- *Kalibrační tabulka*

Měřená hodnota $y_{\text{exp}}(i)$	Inverzní odhad $x_{\text{vyp}}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
9,000	6,638	-4,939	7,122
15,000	9,004	8,678	9,309
25,000	12,051	11,635	12,613

2.3.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 6 Kvadratický spline bez uzlových bodů

2.4 Kvadratický spline s 1 uzlovým bodem

2.4.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

- Podmínky*

Hladina významnosti	0,05
Počet bodů; n	10
Počet uzlů; m	1
Strategie výběru uzlů	Konstantní uzlové intervaly
Hodnoty uzlů	6
- Parametry kalibrace*

Koeficienty rovnice $y = f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	f(i)	g(i)	h(i)
6,000	-0,050	1,672	-0,003
12,000	0,309	-2,642	12,937

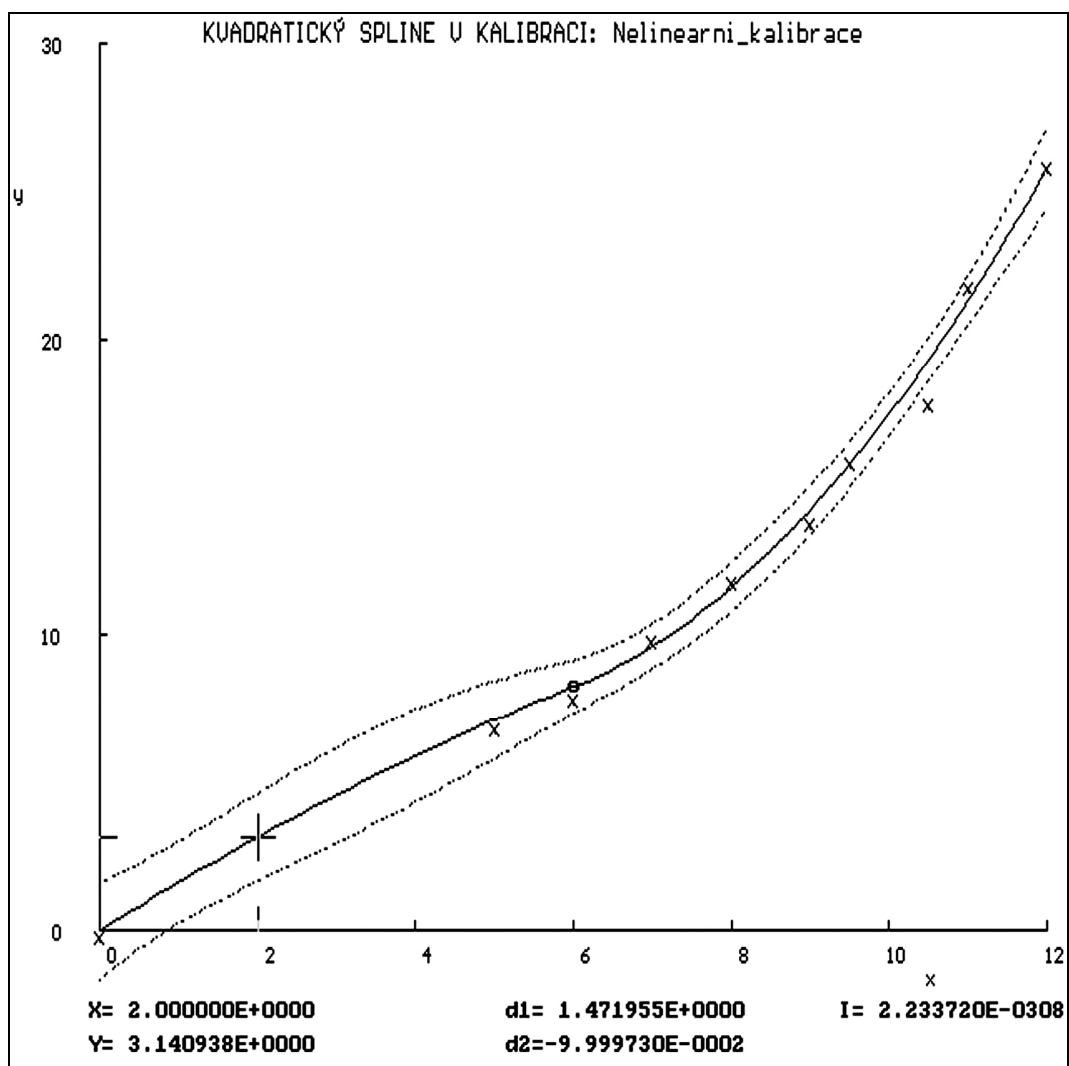
- Analýza reziduí*

Reziduální součet čtverců; RSC	2,707
Průměr abs. reziduí; Me	0,377
Průměr rel. reziduí; Mer [%]	12,552
Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$	0,451
Odhad směr. odchylky reziduí; s(e)	0,672
- Kalibrační meze*

Kritická úroveň	$y_c:$	1,641	$x_c:$	1,014
Limita detekce	$y_d:$	3,124	$x_d:$	1,988
- Kalibrační tabulka*

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
9,000	6,611	5,797	7,088
15,000	9,256	8,983	9,502
25,000	11,831	11,596	12,140

2.4.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 7 Kvadratický spline s 1 uzlovým bodem

2.5 Kvadratický spline se 2 uzlovými body

2.5.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

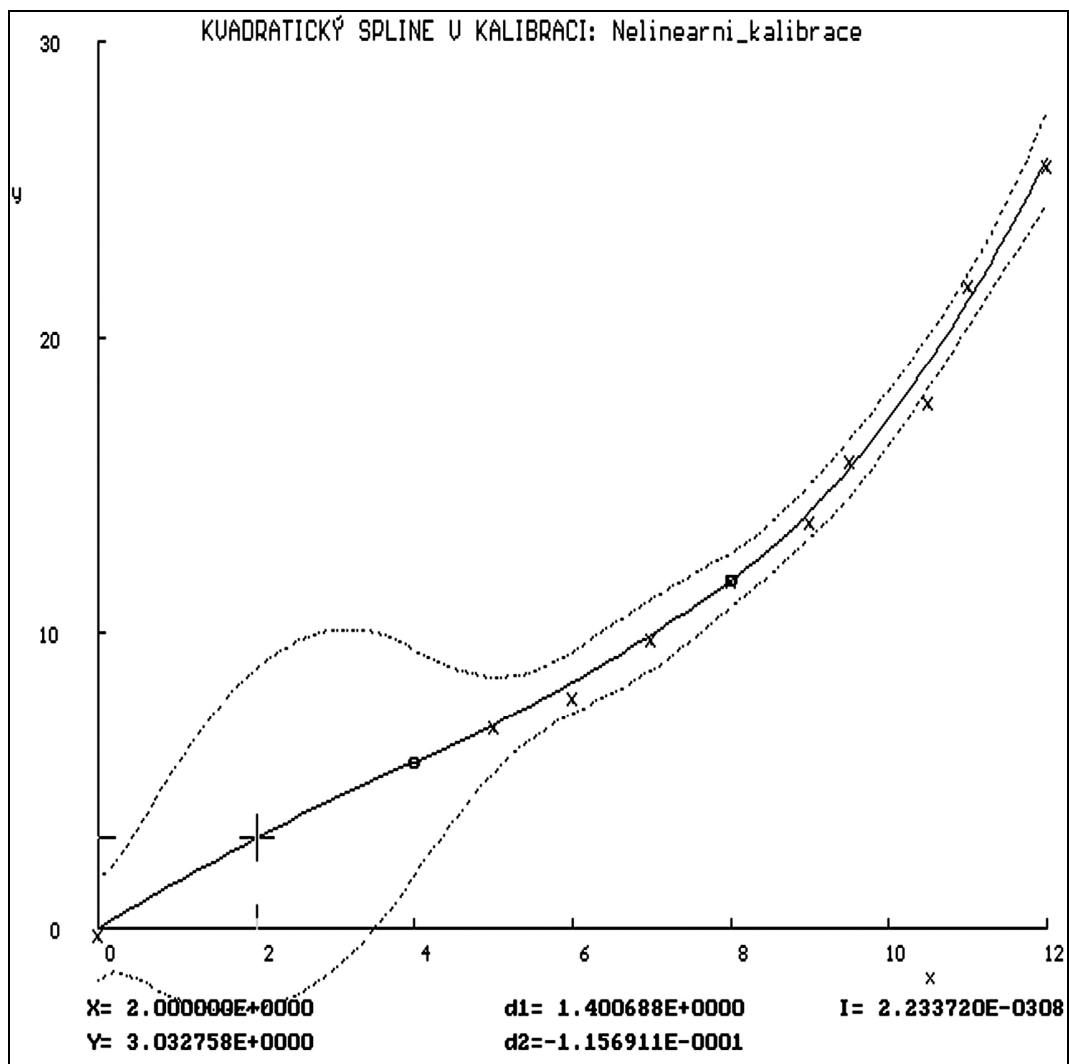
- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 10
 Počet uzlů; m 2
 Strategie výběru uzlů Konstantní uzlové intervaly
 Hodnoty uzlů 4
 8
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $y = f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	f(i)	g(i)	h(i)
4,000	-0,058	1,632	0,000
8,000	0,093	0,422	2,420
12,000	0,412	-4,681	22,832

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 2,253
 Průměr abs. reziduí; Me 0,320
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 12,132
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,451
 Odhad směr. odchylky reziduí; $s(e)$ 0,671
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň $y_c:$ 1,726 $x_c:$ 1,100
 Limita detekce $y_d:$ 5,586 $x_d:$ 3,985
- Kalibrační tabulka**

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
9,000	6,433	4,299	7,137
15,000	9,313	8,989	9,624
25,000	11,798	11,569	12,131

2.5.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 8 Kvadratický spline se 2 uzlovými body

2.6 Kubický spline bez uzlových bodů

2.6.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

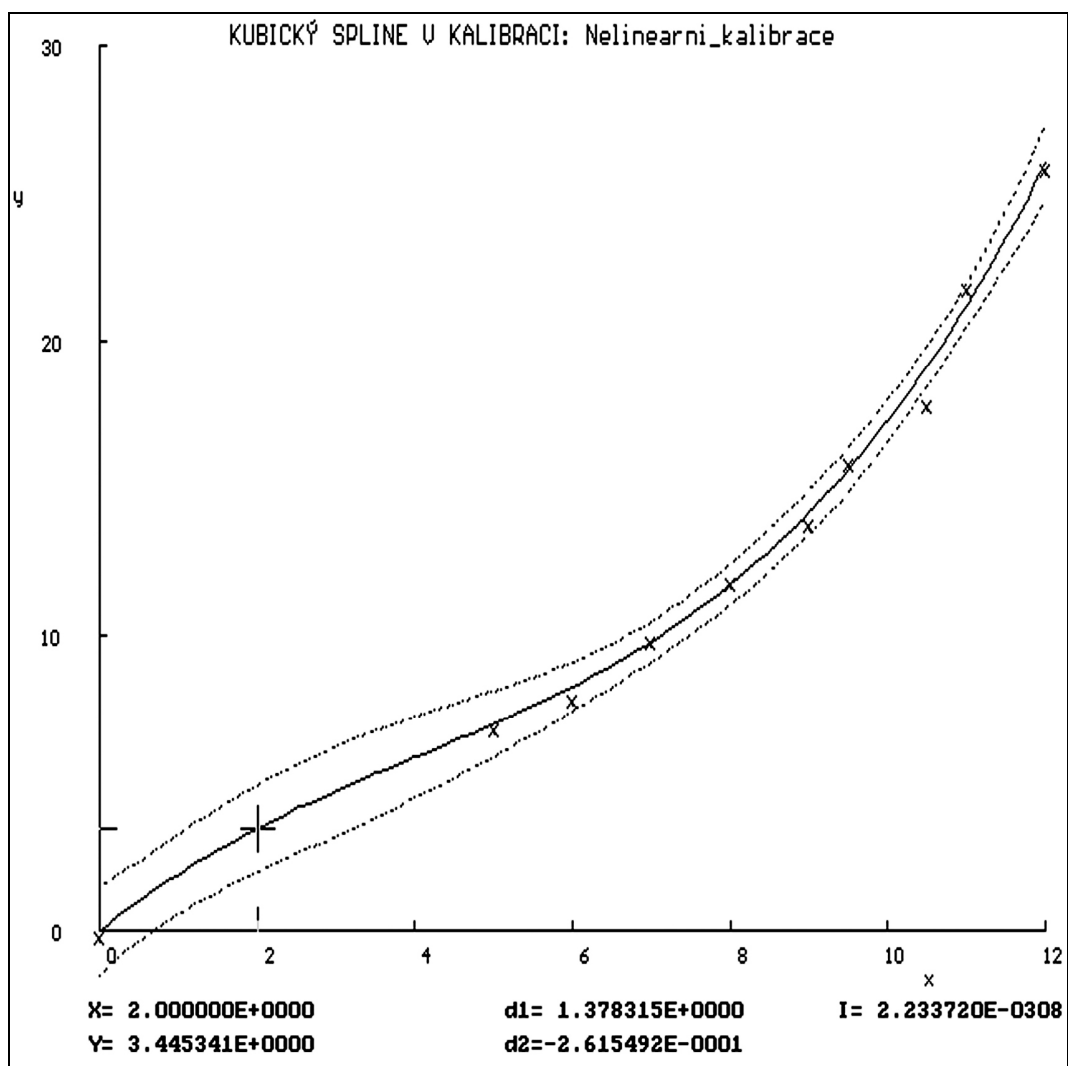
- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 10
 Počet uzlů; m 0
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $y = e(i)x^3 + f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	e(i)	f(i)	g(i)	h(i)
12,000	0,022	-0,262	2,164	-0,009

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 2,285
 Průměr abs. reziduí; Me 0,325
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 12,098
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,381
 Odhad směr. odchylky reziduí; s(e) 0,617
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň $y_c:$ 1,499 $x_c:$ 0,763
 Limita detekce $y_d:$ 2,930 $x_d:$ 1,639
- Kalibrační tabulka**

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
9,000	6,504	5,905	6,932
15,000	9,284	9,019	9,531
25,000	11,804	11,603	12,067

2.6.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 9 Kubický spline bez uzlových bodů

2.7 Kubický spline s 1 uzlovým bodem

2.7.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

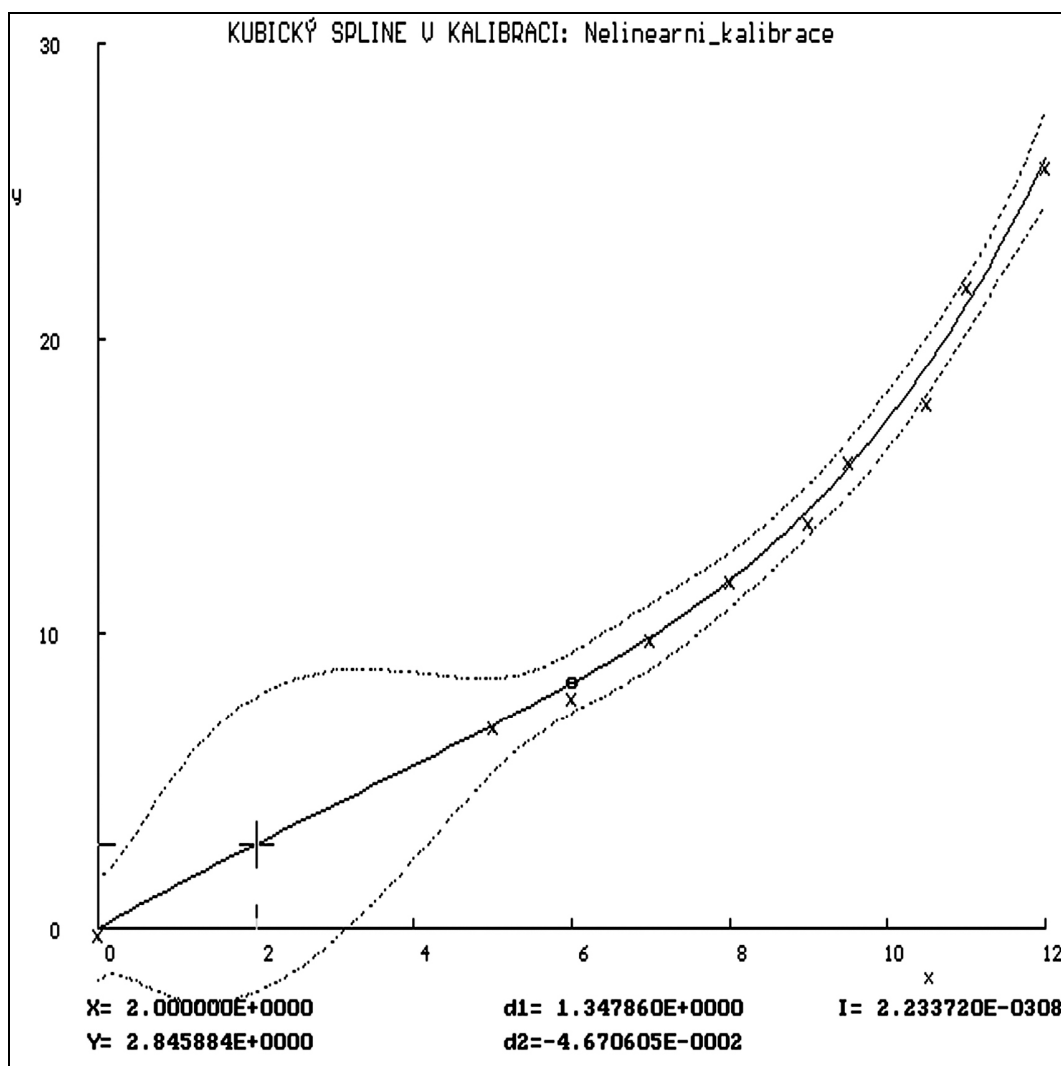
- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 10
 Počet uzlů; m 1
 Strategie výběru uzlů Konstantní uzlové intervaly
 Hodnoty uzlů 6
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $y = e(i)x^3 + f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	e(i)	f(i)	g(i)	h(i)
6,000	0,007	-0,065	1,526	0,001
12,000	0,031	-0,490	4,072	-5,093

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 2,237
 Průměr abs. reziduí; Me 0,334
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 12,218
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,447
 Odhad směr. odchylky reziduí; s(e) 0,669
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň $y_c:$ 1,712 $x_c:$ 1,179
 Limita detekce $y_d:$ 5,222 $x_d:$ 3,788
- Kalibrační tabulka**

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
9,000	6,449	-	7,114
15,000	9,293	8,984	9,603
25,000	11,796	11,578	12,133

2.7.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 10 Kubický spline s 1 uzlovým bodem

2.8 Závěr

Za nejlepší kalibrační model se považuje takový, který má nejnižší limitu detekce a rovněž nejnižší odhad směrodatné odchytky reziduí při nejnižším počtu uzlových bodů. V našem případě takové proložení představuje kubický spline bez uzlových bodů.

S 95% statistickou jistotou lze tvrdit, že pro výkon 9, 15 a 25 m³.h⁻¹ se hladina filtrátu v produkčním žlabu kalosisu bude nacházet v intervalu <5,905; 6,935>, <9,019; 9,531> a <11,603; 12,067> cm.

3. ROZLIŠENÍ MEZI LINEÁRNÍ A NELINEÁRNÍ KALIBRACÍ

3.1 Zadání

Při výrobě vybraných povrchově upravených rutilových typů titanové běloby předchází operaci povrchové úpravy fáze mokrého mletí rozplavené suspenze. Parametrem pro hodnocení účinnosti mokrého mletí je $\Delta \text{SFM } 2 = \text{SFM } 2_{\text{výstup}} - \text{SFM } 2_{\text{vstup}}$. V rámci laboratorního výzkumu procesu mokrého mletí byla pro daný laboratorní perlový mlýn s danou náplní mlecích těles získána závislost $\Delta \text{SFM } 2$ na otáčkách mlýna. Pro získaná data určete vhodný kalibrační model. Jaké jsou optimální otáčky pro hodnoty $\Delta \text{SFM } 2 = 10,0$; 12,0 a 15,0?

3.2 Data

n	[min ⁻¹]	1000	1100	1200	1300	1400	1500
$\Delta \text{SFM } 2$	[-]	8,5	9,7	10,8	13,0	14,5	16,9

Soubor s daty: Linearni_vs_nelinearni_kalibrace.xls

Použitý software: ADSTAT v1.25

3.3 Lineární spline s 1 uzlovým bodem

3.3.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 6
 Počet uzlů; m 1
 Strategie výběru uzlů Konstantní uzlové intervaly
 Hodnoty uzlů 1250
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $\mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{i})\mathbf{x} + \mathbf{h}(\mathbf{i})$ pro $\mathbf{k}_{i-1} < \mathbf{x} \leq \mathbf{k}_i$

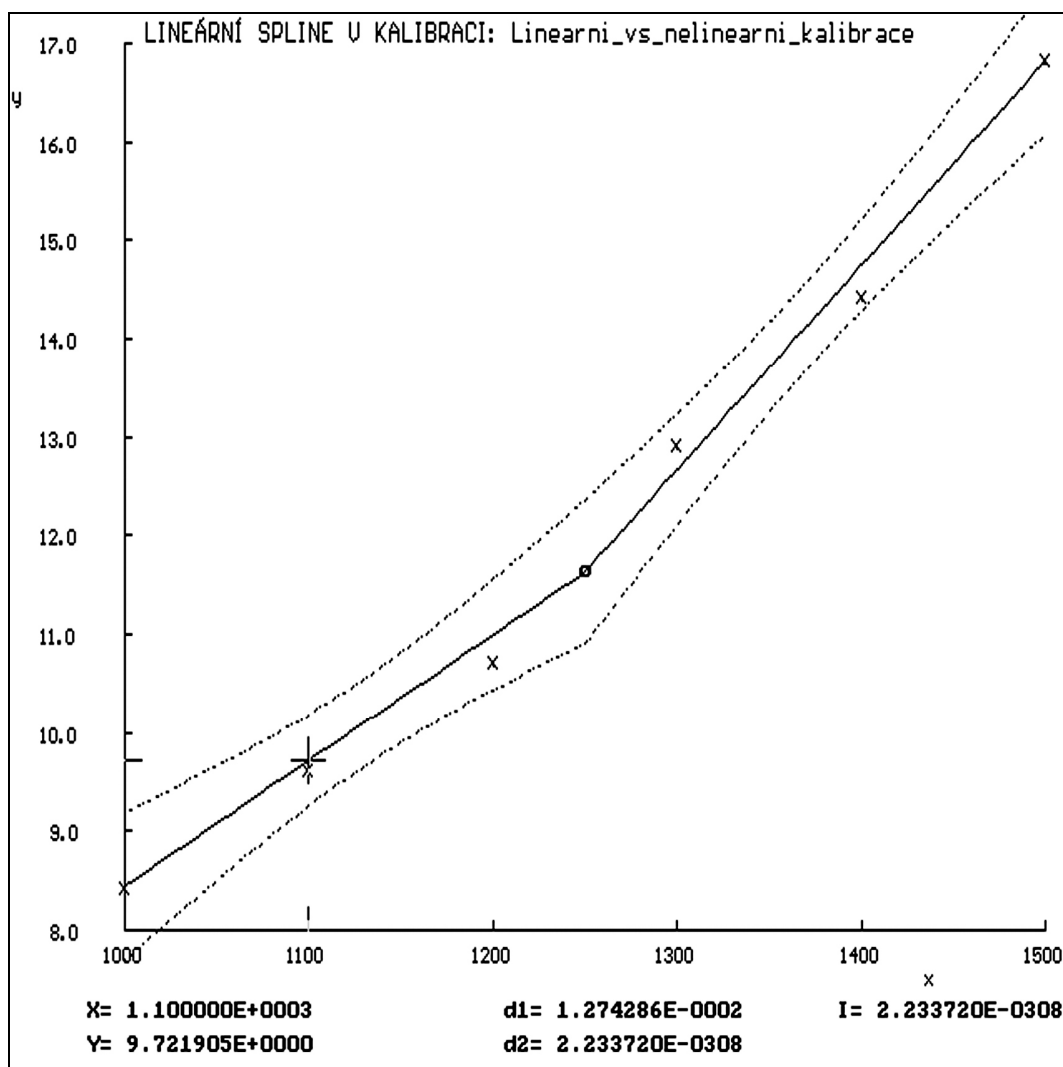
k(i)	g(i)	h(i)
1250,000	0,013	-4,295
1500,000	0,021	-14,295

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 0,217
 Průměr abs. reziduí; Me 0,154
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 1,229
 Odhad reziduálního rozptylu; s²(e) 0,072
 Odhad směrn. odchylky reziduí; s(e) 0,269
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň y_c: 1,071 x_c: 421,086
 Limita detekce y_d: 3,542 x_d: 615,064

- *Kalibrační tabulka*

Měřená hodnota $y_{\text{exp}}(i)$	Inverzní odhad $x_{\text{vyp}}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
10,000	1121,824	1083,083	1158,610
12,000	1267,677	1227,757	1295,402
15,000	1412,305	1390,419	1438,624

3.3.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 11 Lineární spline s 1 uzlovým bodem

3.3 Lineární spline se 2 uzlovými body

3.3.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

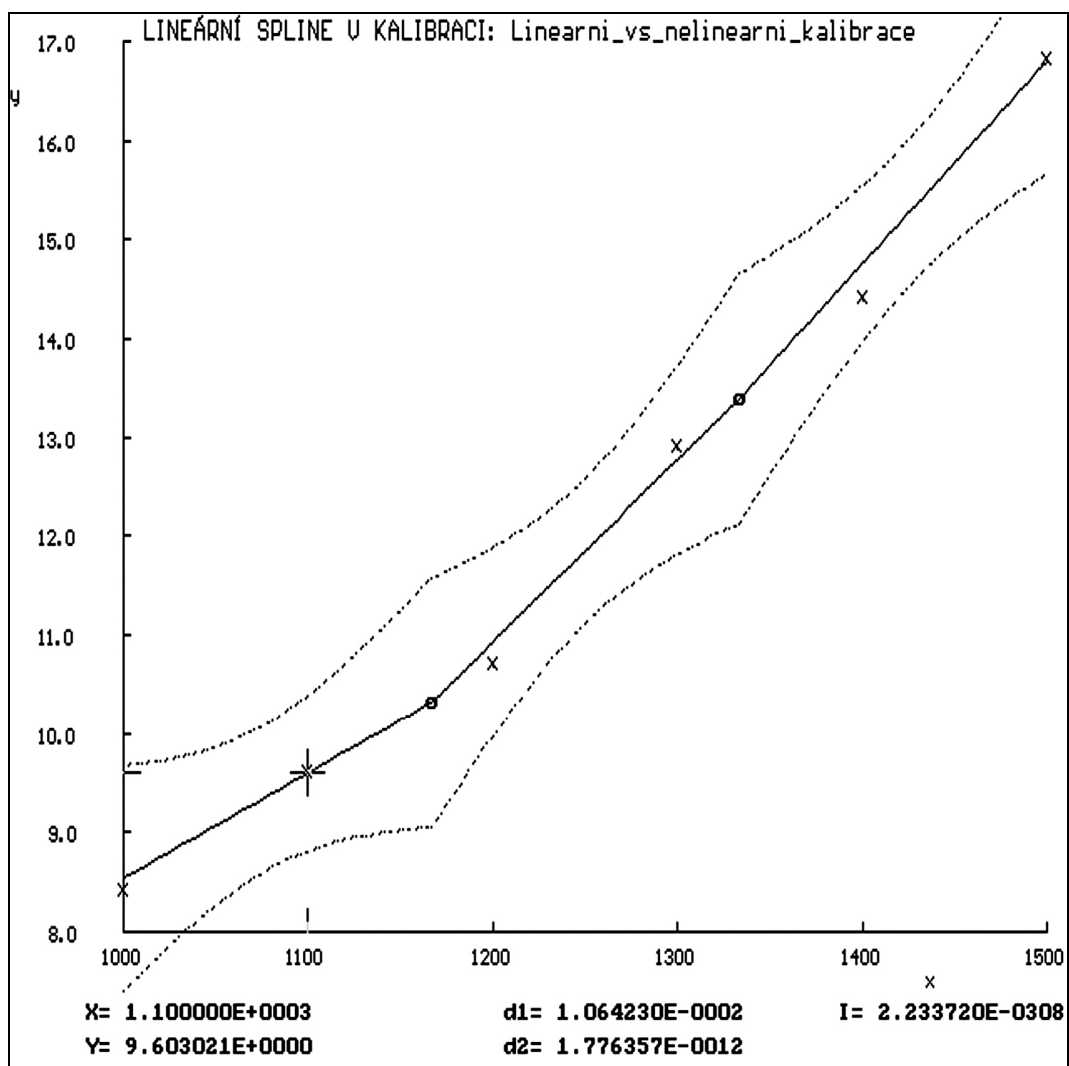
- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 6
 Počet uzlů; m 2
 Strategie výběru uzlů Konstantní uzlové intervaly
 Hodnoty uzlů 1167
 1333
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $y = g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	g(i)	h(i)
1166,700	0,011	-2,104
1333,333	0,018	-11,249
1500,000	0,020	-13,850

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 0,153
 Průměr abs. reziduí; Me 0,141
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 1,120
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,076
 Odhad směr. odchylky reziduí; $s(e)$ 0,276
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň $y_c:$ 10,065 $x_c:$ 1143,390
 Limita detekce $y_d:$ 10,995 $x_d:$ 1203,609
- Kalibrační tabulka**

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
10,000	1137,302	1067,059	1201,134
12,000	1257,974	1210,200	1318,500
15,000	1411,997	1362,276	1451,271

3.3.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 12 Lineární spline se 2 uzlovými body

3.4 Kvadratický spline bez uzlových bodů

3.4.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

- Podmínky*

Hladina významnosti	0,05
Počet bodů; n	6
Počet uzlů; m	0
- Parametry kalibrace*

Koeficienty rovnice $y = f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	f(i)	g(i)	h(i)
1500,000	0,000	-0,017	12,114

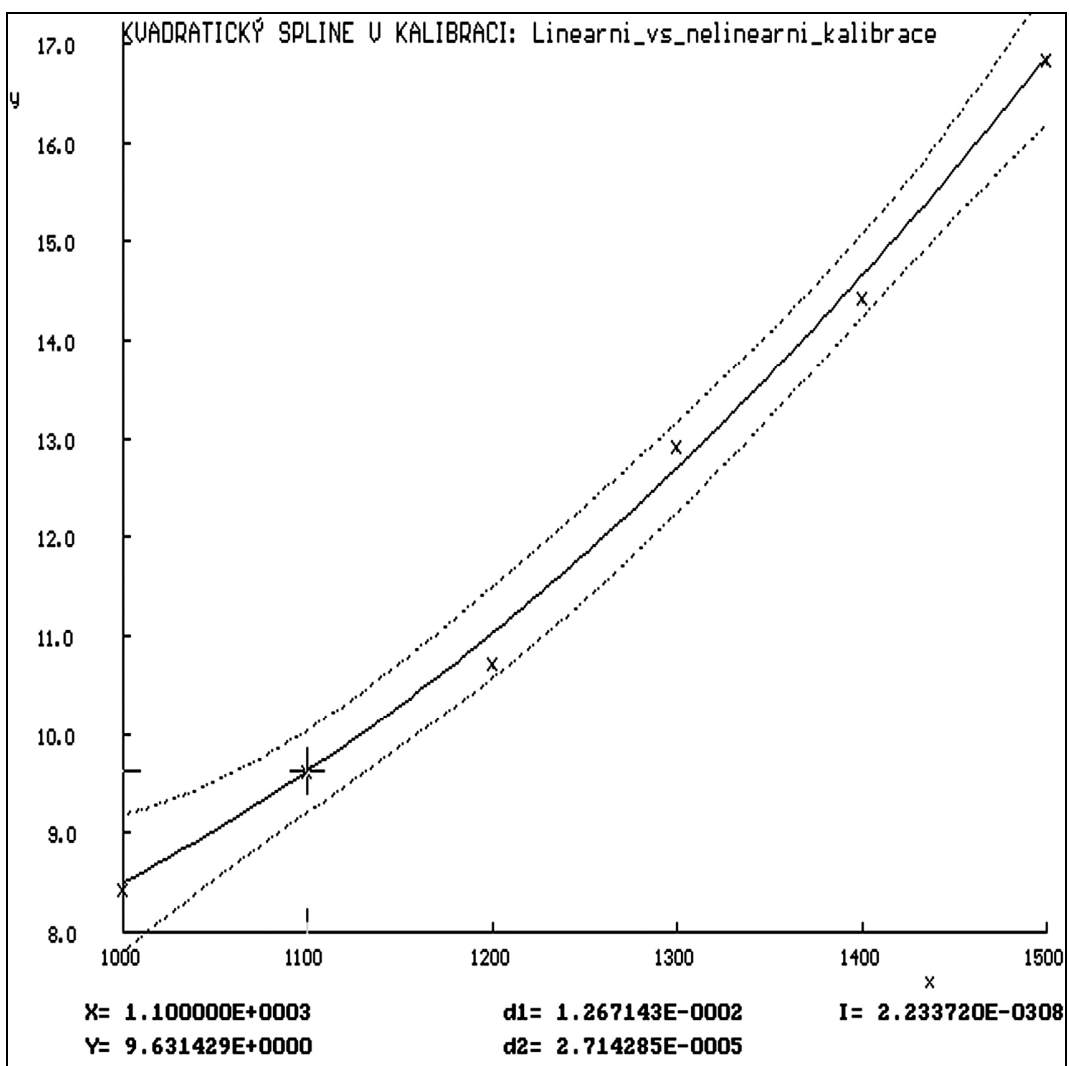
- Analýza reziduí*

Reziduální součet čtverců; RSC	0,169
Průměr abs. reziduí; Me	0,130
Průměr rel. reziduí; Mer [%]	1,058
Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$	0,056
Odhad směr. odchylky reziduí; s(e)	0,237
- Kalibrační meze*

Kritická úroveň	y_c :	31,214	x_c :	1977,867
Limita detekce	y_d :	-	x_d :	-
- Kalibrační tabulka*

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
10,000	1128,233	1095,850	1159,613
12,000	1259,630	1231,195	1286,513
15,000	1416,433	1396,544	1438,015

3.4.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 13 Kvadratický spline bez uzlových bodů

3.5 Kvadratický spline s 1 uzlovým bodem

3.5.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

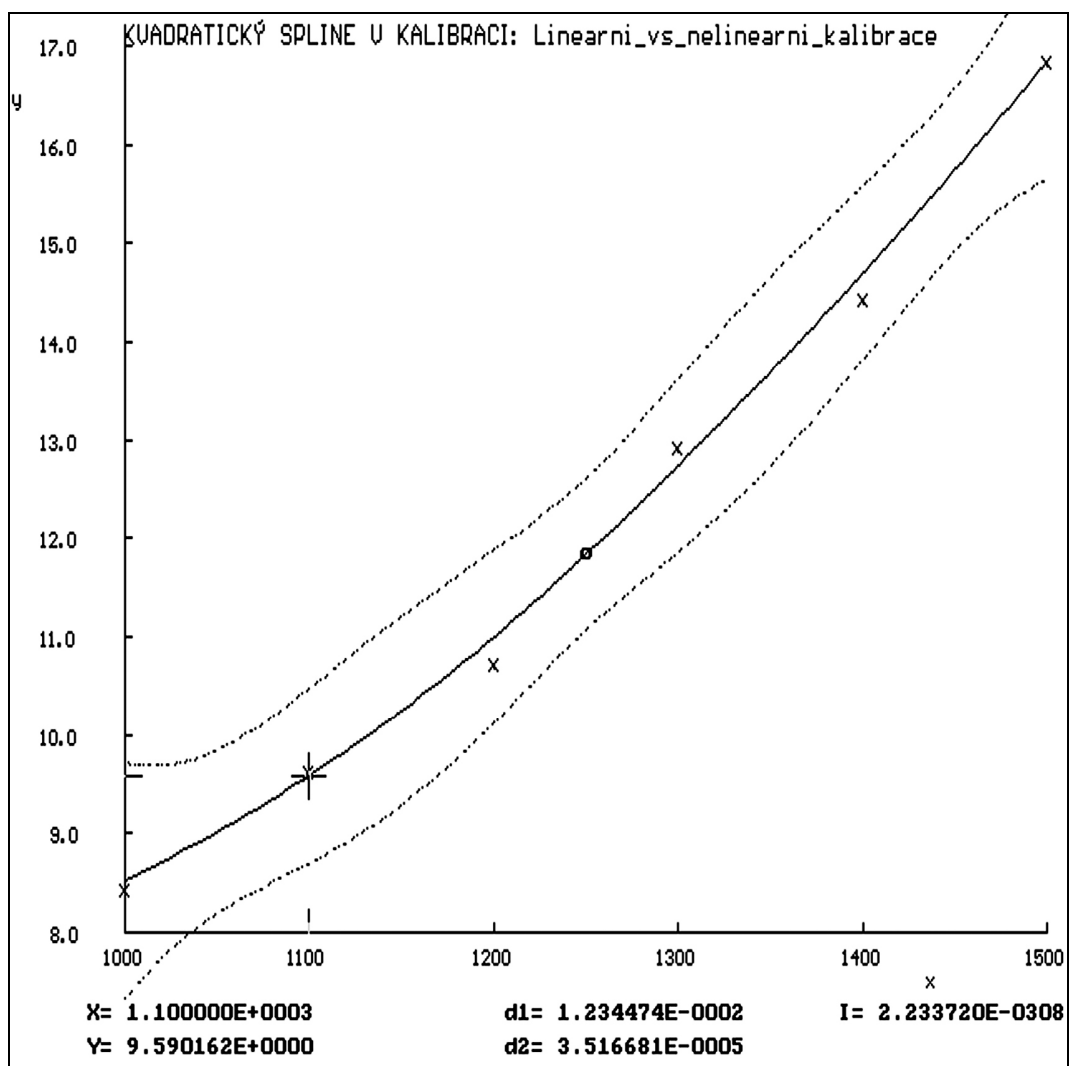
- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 6
 Počet uzlů; m 1
 Strategie výběru uzlů Konstantní uzlové intervaly
 Hodnoty uzlů 1250
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $y = f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	f(i)	g(i)	h(i)
1250,000	0,000	-0,026	17,287
1500,00	0,000	-0,006	4,749

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 0,161
 Průměr abs. reziduí; Me 0,143
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 1,174
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,081
 Odhad směr. odchylky reziduí; $s(e)$ 0,284
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň y_c : 95,782 x_c : -
 Limita detekce y_d : - x_d : -
- Kalibrační tabulka**

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
10,000	1131,762	1065,028	1193,576
12,000	1259,177	869,724	1308,724
15,000	1414,758	1368,023	1684,680

3.5.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 14 Kvadraticky spline s 1 uzlovým bodem

3.6 Kubický spline bez uzlových bodů

3.6.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

- *Podmínky*
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 6
 Počet uzlů; m 0
- *Parametry kalibrace*
 Koeficienty rovnice $y = e(i)x^3 + f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

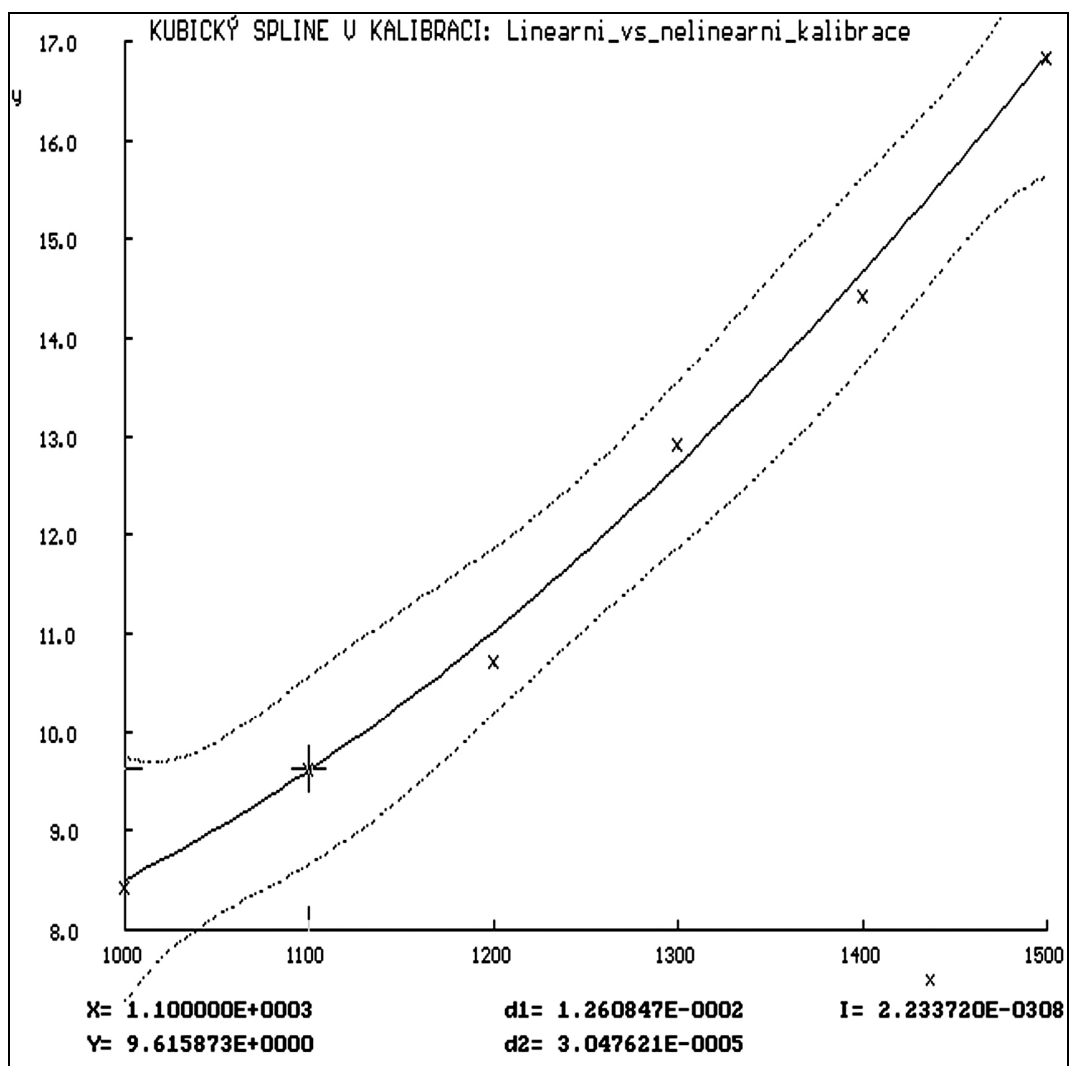
k(i)	e(i)	f(i)	g(i)	h(i)
1500,000	-0,000	0,000	-0,034	19,114

- *Analýza reziduí*
 Reziduální součet čtverců; RSC 0,168
 Průměr abs. reziduí; Me 0,135
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 1,111
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,084
 Odhad směrn. odchylky reziduí; s(e) 0,290
- *Kalibrační meze*
 Kritická úroveň y_c : 313,814 x_c : -
 Limita detekce y_d : - x_d : -

- *Kalibrační tabulka*

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
10,000	1129,427	1058,406	1189,847
12,000	1259,526	1209,384	1674,668
15,000	1415,768	1368,905	1456,619

3.6.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 15 Kubický spline bez uzlových bodů

3.7 Kubický spline s 1 uzlovým bodem

3.7.1 Vybrané úseky textové výstupu programu ADSTAT

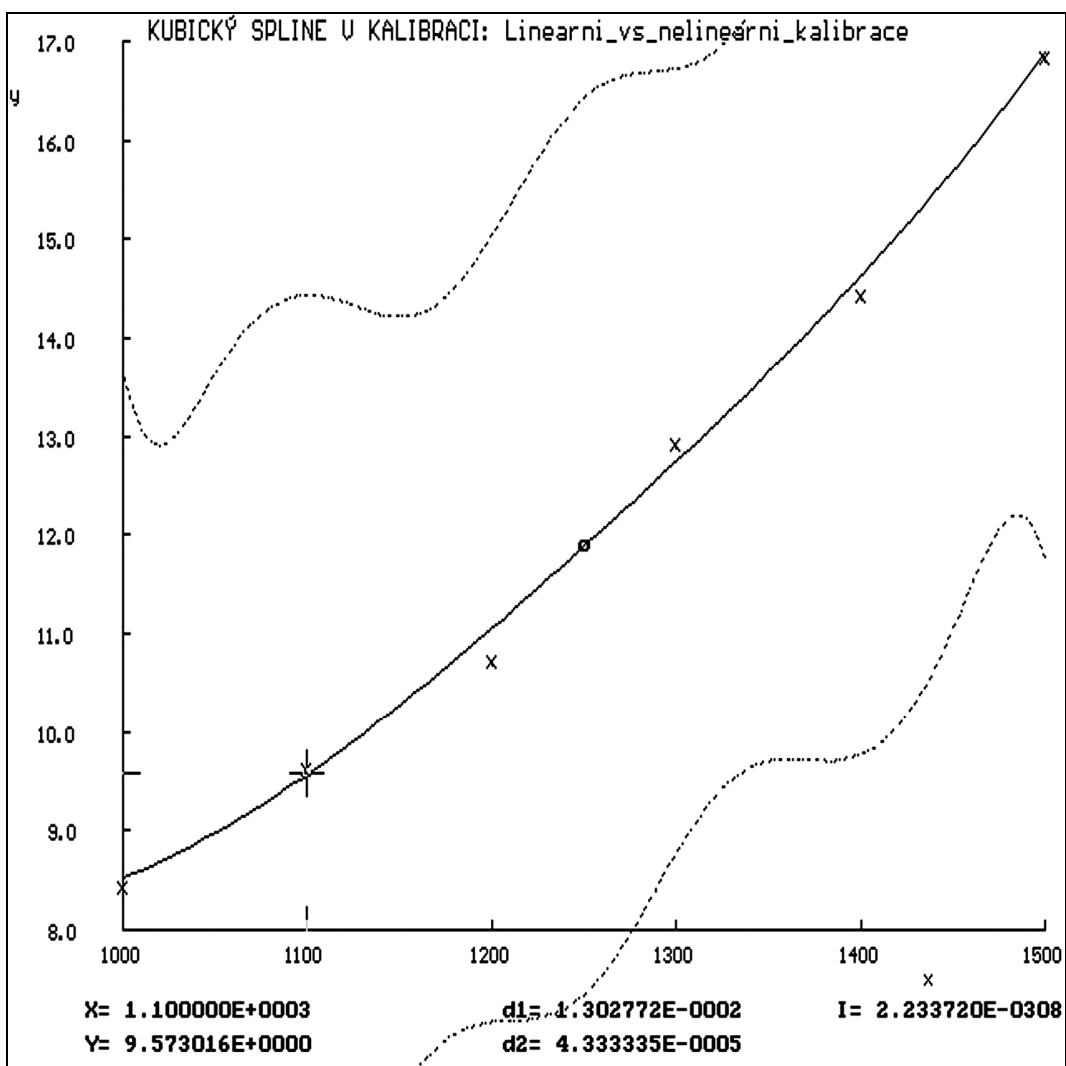
- Podmínky**
 Hladina významnosti 0,05
 Počet bodů; n 6
 Počet uzlů; m 1
 Strategie výběru uzlů Konstantní uzlové intervaly
 Hodnoty uzlů 1250
- Parametry kalibrace**
 Koeficienty rovnice $y = e(i)x^3 + f(i)x^2 + g(i)x + h(i)$ pro $k_{i-1} < x \leq k_i$

k(i)	e(i)	f(i)	g(i)	h(i)
1250,000	-0,000	0,000	-0,174	72,685
1500,000	0,000	-0,000	0,152	-63,185

- Analýza reziduí**
 Reziduální součet čtverců; RSC 0,162
 Průměr abs. reziduí; Me 0,135
 Průměr rel. reziduí; Mer [%] 1,156
 Odhad reziduálního rozptylu; $s^2(e)$ 0,163
 Odhad směr. odchylky reziduí; $s(e)$ 0,403
- Kalibrační meze**
 Kritická úroveň y_c : 3899,185 x_c : -
 Limita detekce y_d : - x_d : -
- Kalibrační tabulka**

Měřená hodnota $y_{exp}(i)$	Inverzní odhad $x_{vyp}(i)$	Konfidenční interval	
		Dolní mez	Horní mez
10,000	1131,242	-	1417,625
12,000	1256,793	-	1473,091
15,000	1418,08	-	-

3.7.2 Grafický výstup programu ADSTAT



Obr. 16 Kubický spline s 1 uzlovým bodem

3.8 Závěr

Jako nejvhodnější se v našem případě jeví použití lineárního splinu s 1 uzlovým bodem.

S 95% statistickou jistotou lze tvrdit, že pro dosažení hodnot Δ SFM 2 10,0; 12,0 a 15,0 u mokře mleté suspenze je nutno nastavit otáčky perlového mlýna v intervalech $\langle 1083; 1158 \rangle$, $\langle 1228; 1295 \rangle$ a $\langle 1390; 1439 \rangle \text{ min}^{-1}$.