

**UNIVERZITA PARDUBICE**

**Fakulta chemicko-technologická**

**Katedra analytické chemie**

**Nám. Čs. Legií 565, 532 10 Pardubice**

**10. licenční studium chemometrie**

# **STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT**

**Semestrální práce**

**PLÁNOVÁNÍ EXPERIMENTŮ DOE**

**2006/2007**

Vedoucí studia a odborný garant:

**Prof. RNDr. Milan Meloun, DrSc.**

Vyučující:

**Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.**

Autor práce:

**Ing. Zdeňka Dluhošová**

# OBSAH

<b>1. ZADÁNÍ:</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ŘEŠENÍ:</b> .....	<b>3</b>
2.1 Úprava vstupní matice.....	3
2.2 Výpočet hlavních efektů faktorů .....	4
2.3 Polonormální graf .....	5
2.4 Grafy hlavních efektů a interakcí.....	6
2.5 ANOVA.....	8
2.6 Regrese.....	8
<b>3. ZÁVĚR.....</b>	<b>9</b>

## 1. Zadání:

Plasmové leptání při výrobě polovodičů (rychlost leptání 0,1 nm/min) v závislosti na třech faktorech:

A mezera anoda/katoda

B tok plynu

C napětí na katodě

Experiment  $2^3$ . Dvě opakovaná měření.

A	B	C	e1	e2
1	1	1	247	400
2	1	1	470	446
1	2	1	429	405
2	2	1	435	445
1	1	2	837	850
2	1	2	551	670
1	2	2	775	865
2	2	2	660	530

## 2. Řešení:

Program: MS Ecel  
ADSTAT

### 2.1 Úprava vstupní matice

Úroveň 1 nahradit -1

Úroveň 2 nahradit +1

A	B	C	e1	e2
-1	-1	-1	247	247
1	-1	-1	470	470
-1	1	-1	429	429
1	1	-1	435	435
-1	-1	1	837	837
1	-1	1	551	551
-1	1	1	775	775
1	1	1	660	660

### Matice rozšířená o interakce:

Hodnoty pro interakce se získají vynásobením hodnot úrovní v příslušných sloupcích.

A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C	e
-1	-1	-1	1	1	1	-1	247
1	-1	-1	-1	-1	1	1	470
-1	1	-1	-1	1	-1	1	429
1	1	-1	1	-1	-1	-1	435

A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C	e
-1	-1	1	1	-1	-1	1	837
1	-1	1	-1	1	-1	-1	551
-1	1	1	-1	-1	1	-1	775
1	1	1	1	1	1	1	660
-1	-1	-1	1	1	1	-1	400
1	-1	-1	-1	-1	1	1	446
-1	1	-1	-1	1	-1	1	405
1	1	-1	1	-1	-1	-1	445
-1	-1	1	1	-1	-1	1	850
1	-1	1	-1	1	-1	-1	670
-1	1	1	-1	-1	1	-1	865
1	1	1	1	1	1	1	530

## 2.2 Výpočet hlavních efektů faktorů

Hlavní efekt faktoru = horní průměr faktoru – dolní průměr faktoru

A	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	247	429	837	775	400	405	850	865	470	435	551	660	446	445	670	530	
	Dolní průměr faktoru A 601,00								Horní průměr faktoru A 525,88								
	<b>Hlavní efekt faktoru A -75,13</b>																

B	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	247	470	837	551	400	446	850	670	429	435	775	660	405	445	865	530
	Dolní průměr faktoru B 558,88								Horní průměr faktoru A 568,00							
	<b>Hlavní efekt faktoru B 9,12</b>															

C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	247	400	470	446	429	405	435	445	837	850	551	670	775	865	660	530
	Dolní průměr faktoru C 409,63								Horní průměr faktoru C 717,25							
	<b>Hlavní efekt faktoru C 307,63</b>															

A*B	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	470	429	551	775	446	405	670	865	247	435	837	660	400	445	850	530
	Dolní průměr faktoru A*B 576,38								Horní průměr faktoru A*B 550,50							
	<b>Hlavní efekt faktoru A*B -25,88</b>															

A*C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	470	435	837	775	446	445	850	865	247	429	551	660	400	405	670	530
	Dolní průměr faktoru A*C 640,38								Horní průměr faktoru A*C 486,50							
	<b>Hlavní efekt faktoru A*C 486,50</b>															

B*C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	429	435	837	551	405	445	850	670	247	470	775	660	400	446	865	530
	Dolní průměr faktoru B*C 577,75								Horní průměr faktoru B*C 549,13							
	<b>Hlavní efekt faktoru B*C 28,62</b>															

A*B*C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	247	435	551	775	400	445	670	865	470	429	837	660	446	405	850	530
	Dolní průměr faktoru A*B*C 548,50								Horní průměr faktoru A*B*C 578,38							
	<b>Hlavní efekt faktoru A*B*C 29,88</b>															

### Tabulka vypočtených efektů:

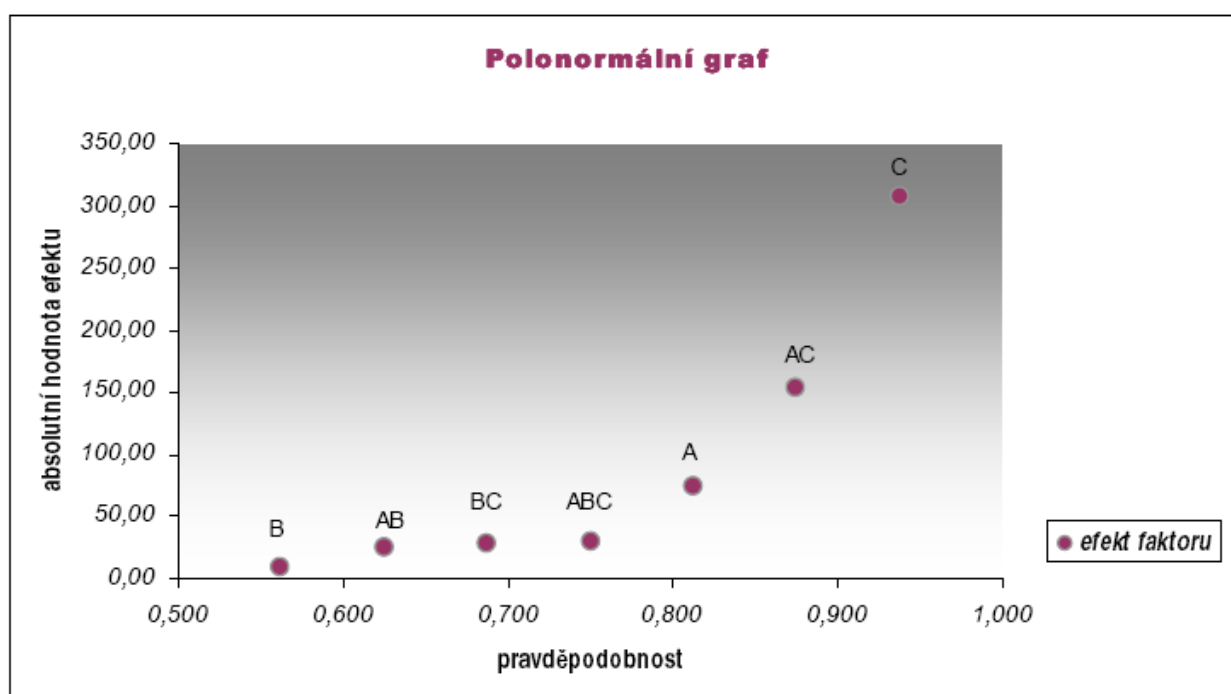
faktor	dolní průměr	horní průměr	efekt faktoru
A	601,00	525,88	-75,12
B	558,88	568,00	9,12
C	409,63	717,25	307,62
AB	576,38	550,50	-25,88
AC	640,38	486,50	-153,88
BC	577,75	549,13	-28,62
ABC	548,50	578,38	29,88

### 2.3 Polonormální graf

Na osu y se vynášejí setříděné absolutní hodnoty efektů.

Na osu x se vynášejí vypočtené kvantily  $P_i = 0,5 + (0,5 * i) / (N + 1)$   $N = 7$

i	faktor	efekt faktoru	$P_i$
1	B	9,12	0,563
2	AB	25,88	0,625
3	BC	28,62	0,688
4	ABC	29,88	0,750
5	A	75,12	0,813
6	AC	153,88	0,875
7	C	307,20	0,938

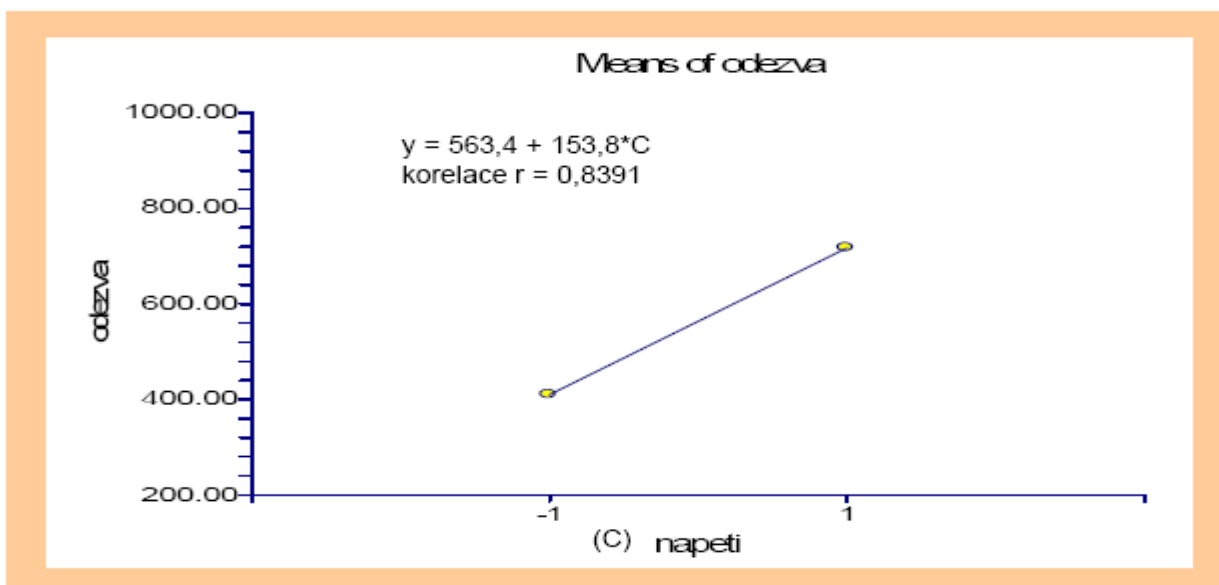
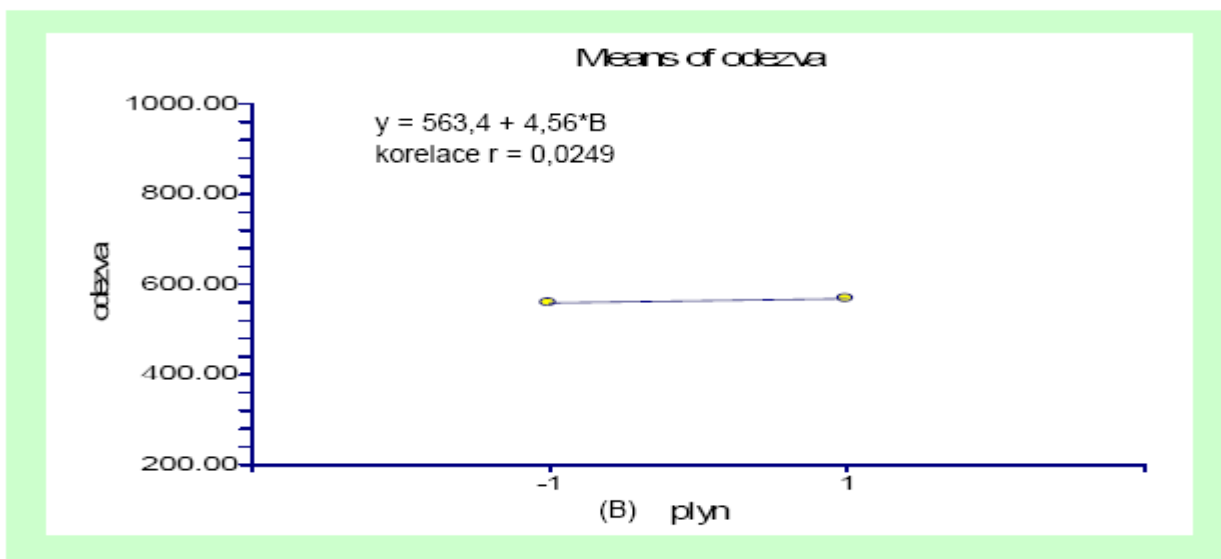
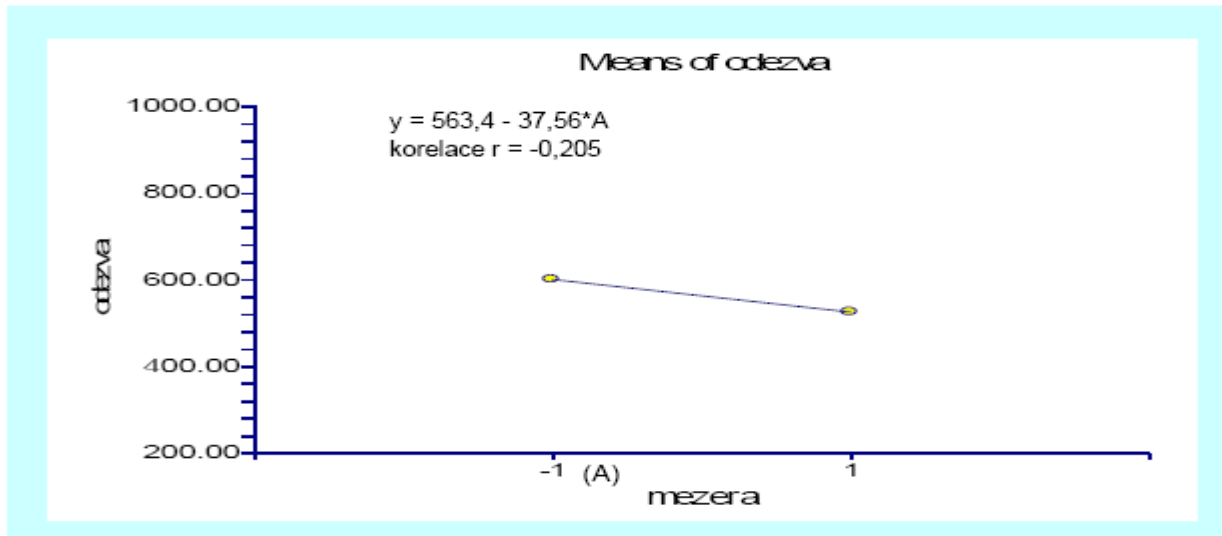


Efekty faktoru B a interakcí AB, BC, ABC leží blízko osy x, jsou tedy nevýznamné.

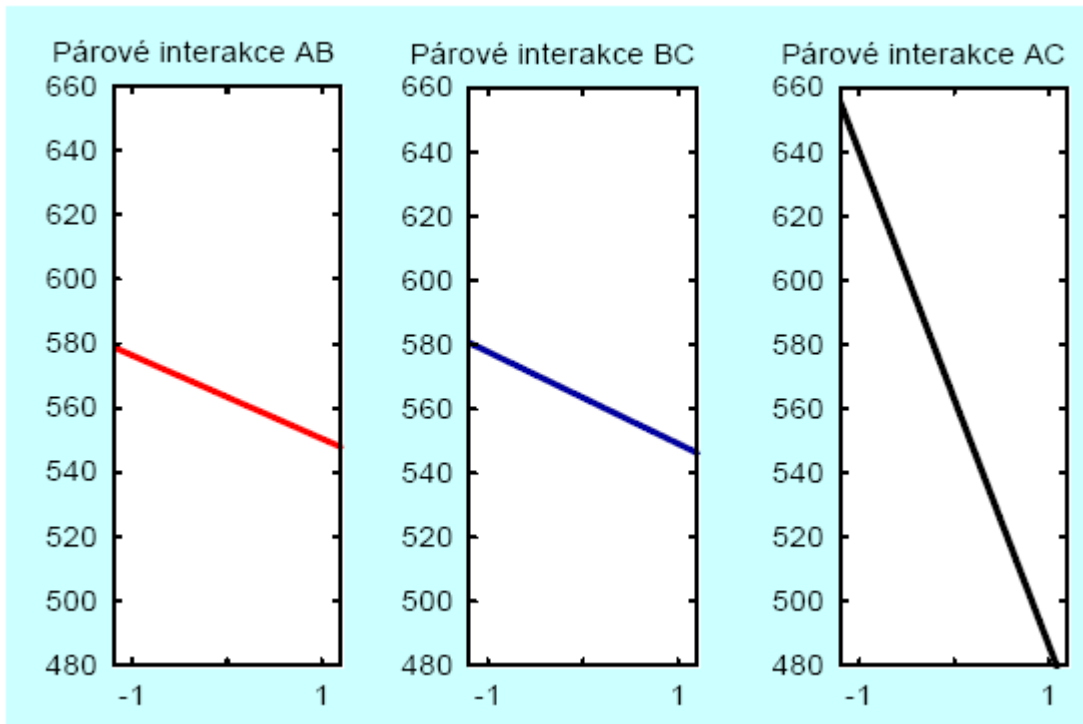
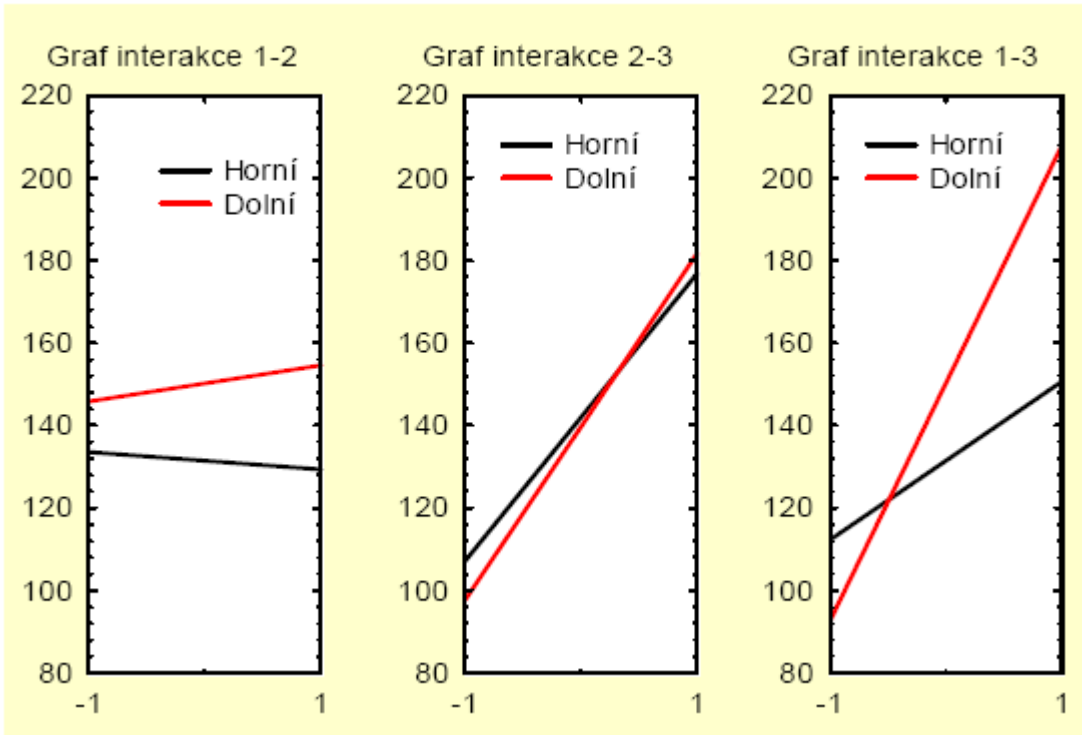
Efekty faktoru A, C a interakce AC jsou významné.

## 2.4 Grafy hlavních efektů a interakcí

Hlavní efekty



## Interakce



## 2.5 ANOVA

	Stupně volnosti	SČ	PČ	F	P	Závěr
<b>A</b>	1	22575,06	22575,06	5,645	<b>0,0448</b>	<b>S</b>
<b>B</b>	1	333,06	333,06	0,0833	0,7802	NS
<b>C</b>	1	378532,56	378532,56	94,6465	<b>0,0000</b>	<b>S</b>
<b>AB</b>	1	2678,06	2678,06	0,6696	0,4369	NS
<b>AC</b>	1	94710,06	94710,06	23,6808	<b>0,0012</b>	<b>S</b>
<b>BC</b>	1	3277,56	3277,56	0,8195	0,3918	NS
<b>ABC</b>	1	3570,06	3570,06	0,8926	0,3724	NS
<b>Chyba</b>	8	31995,50	3999,43			
<b>Celkem</b>	15	537671,94				

Faktor A, C a interakce AC jsou významné.

## 2.6 Regrese

### Odhady parametrů a testy významnosti

	Parametr	Odhad	Směrodatná odchylna	H0: B [j] = 0 vs. HA: B [j] < > 0		
				t-kritérium	hypotéza H0 je	hladina významnosti
<b>Abs.člen</b>	<b>B [0]</b>	5,6344E+02	1,5810E+01	3,5637E+01	zamítnuta	0,000
<b>A</b>	<b>B [1]</b>	-3,7563E+01	1,5810E+01	-2,3758E+00	zamítnuta	0,045
<b>B</b>	<b>B [2]</b>	4,5625E+00	1,5810E+01	2,8858E-01	akceptována	0,780
<b>C</b>	<b>B [3]</b>	1,5381E+02	1,5810E+01	9,7286E+00	zamítnuta	0,000
<b>AB</b>	<b>B [4]</b>	-1,2938E+01	1,5810E+01	-8,1830E-01	akceptována	0,437
<b>AC</b>	<b>B [5]</b>	-7,6938E+01	1,5810E+01	-4,8663E+00	zamítnuta	0,001
<b>BC</b>	<b>B [6]</b>	-1,4313E+01	1,5810E+01	-9,0527E-01	akceptována	0,392
<b>ABC</b>	<b>B [7]</b>	1,4938E+01	1,5810E+01	9,4480E-01	akceptována	0,372

Kvantil Studentova rozdělení  $t(1-\alpha/2, n-m)$ : 2,306

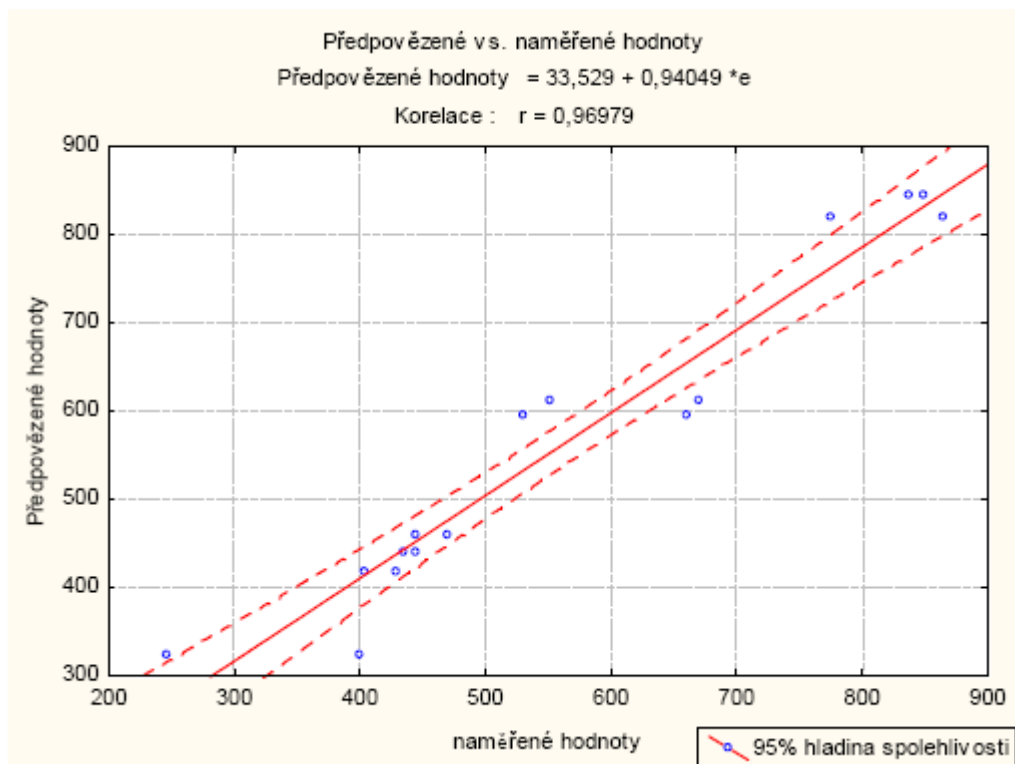
Koeficient determinace  $R^2$ : 9,4049E-01

V tabulce jsou uvedeny výsledky regrese se závislou proměnnou y. V matici jsou zadány stejné hodnoty pro nezávislé proměnné, proto mají směrodatné odchylny stejnou hodnotu.

**Absolutní člen, faktory A, C, a jejich interakce AC jsou významné.**



## Graf předpovězené vs. naměřené hodnoty



### 3. Závěr

Pro posouzení a rozhodnutí o významnosti či nevýznamnosti vybraných faktorů byly využity výše uvedené statistické metody a některé grafické metody. Plasmové leptání při výrobě polovodičů závisí na významných faktorech A, C a jejich interakci AC:

Významné faktory: mezera anoda/katoda  
napětí na katodě