



FYZIKA VE FIRMĚ HVM PLASMA

Jiří Vyskočil

HVM Plasma spol .s r.o.
Na Hutmance 2, 158 00 Praha 5

OBSAH

HVM PLASMA spol. s r.o.

zaměření a historie firmy

hlavní činnost a produkty

POVRCHOVÉ TECHNOLOGIE

metody CVD

metody PVD – napařování, naprašování

FYZIKÁLNÍ PŘÍSTUP K ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ

plánování experimentu

analýza možných vad

PŘÍKLAD – MĚŘENÍ VRSTEV NA REÁLNÉM POVRCHU

vliv drsnosti povrchu

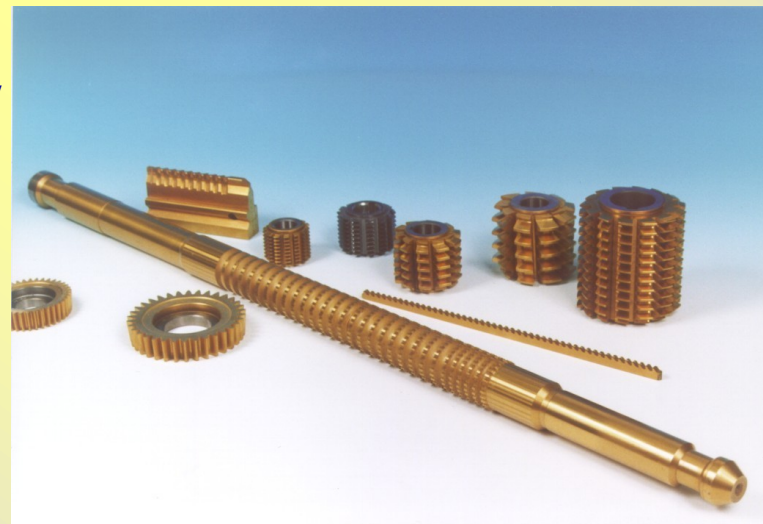
HVM PLASMA spol.s r.o.



ČÍM SE ZABÝVÁME

TECHNOLOGIE NANÁŠENÍ TENKÝCH VRSTEV S VYUŽITÍM NÍZKOTEPLNÍHO PLAZMATU

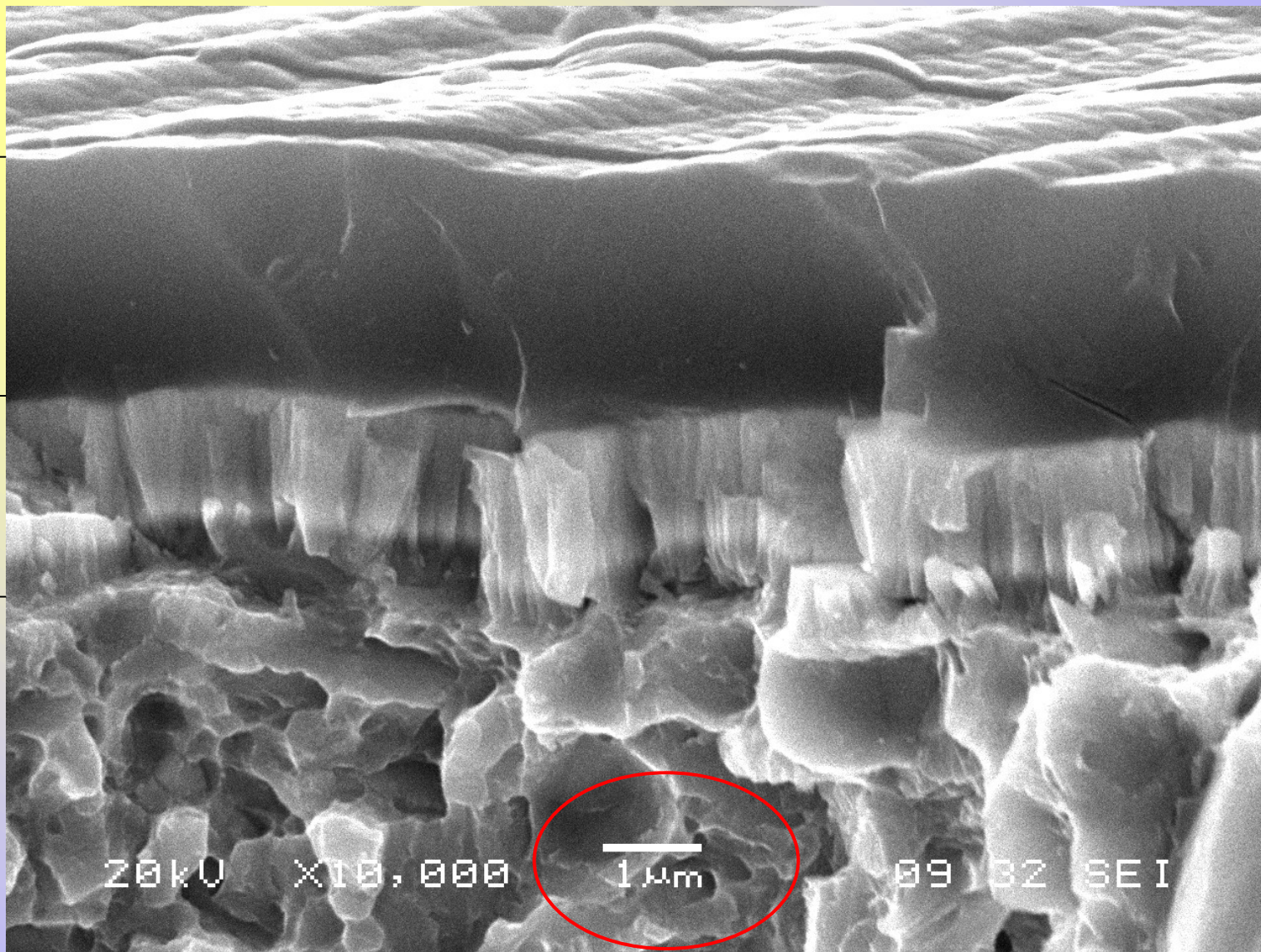
- ★ VÝVOJ, KONSTRUKCE A VÝROBA ZAŘÍZENÍ
- ★ VÝZKUM A VÝVOJ TECHNOLOGIÍ NANÁŠENÍ VRSTEV
- ★ MODELOVÁNÍ METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ
- ★ DIAGNOSTIKA PROCESU A VRSTEV
- ★ APLIKOVANÁ FYZIKÁLNÍ MEŘENÍ



TENKÉ VRSTVY

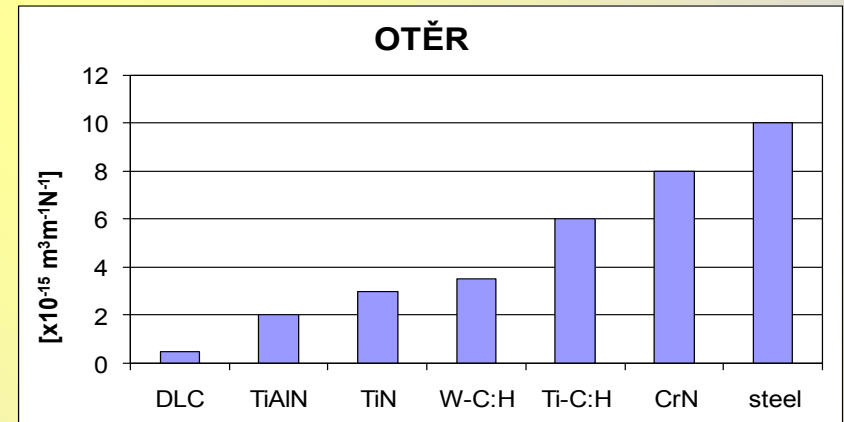
V
R
S
T
V
A

P
O
D
L
O
Ž
K
A

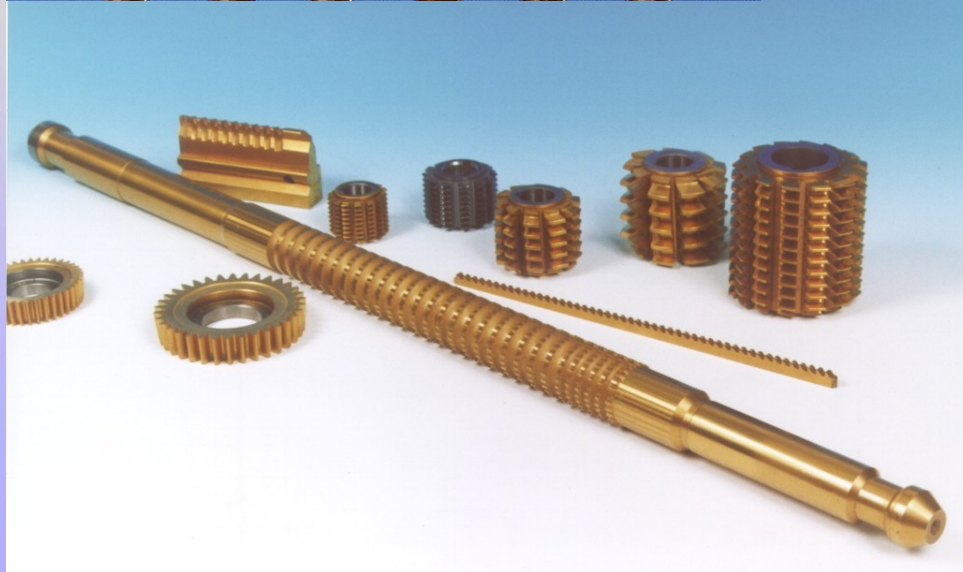


APLIKACE

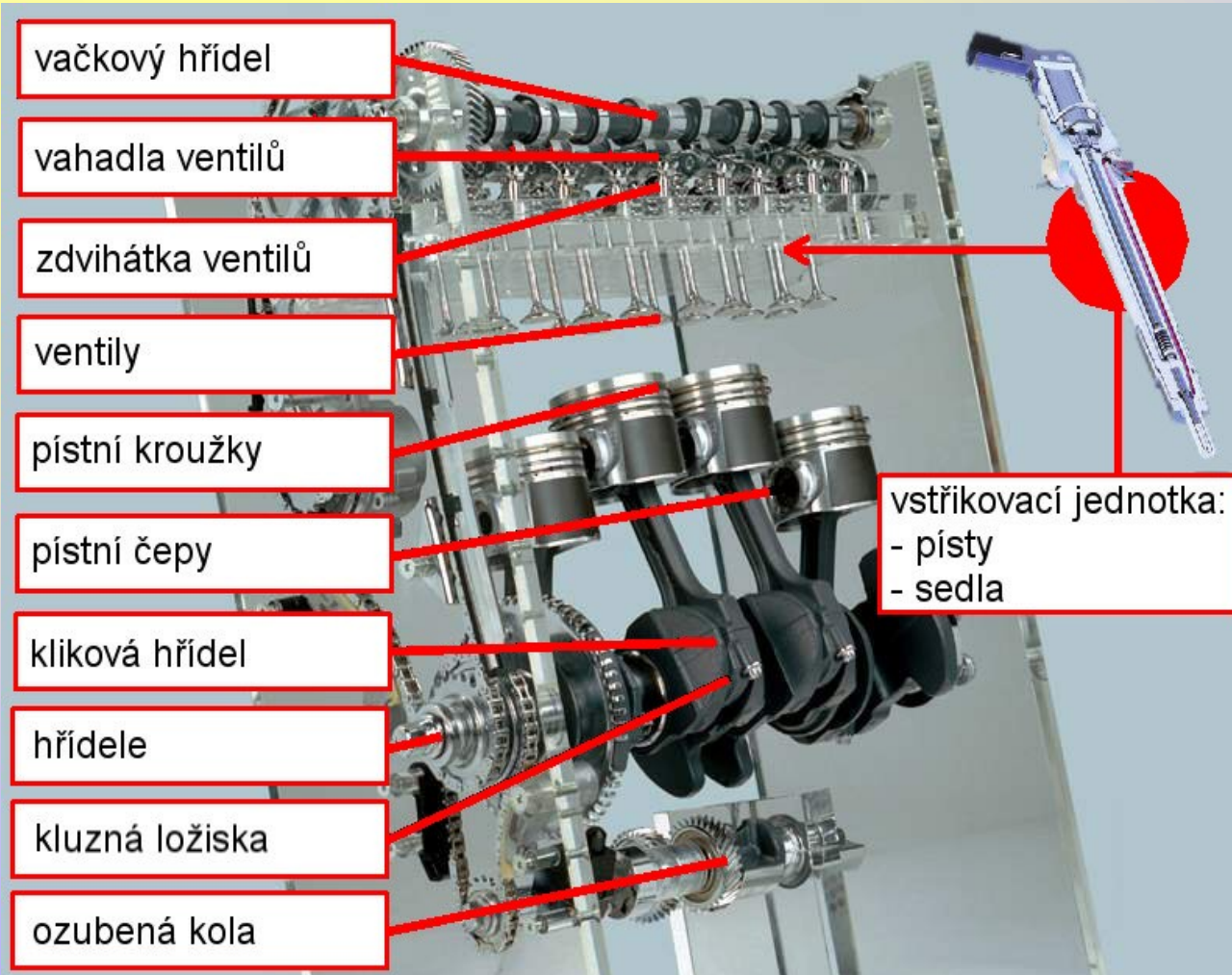
- 90% povlaky Al
- mikroelektronika
- záznamová média (disky, CD...)
- zobrazovací prvky
- ochranné povlaky
- dekorativní povlaky
- tribologické povlaky
- nástroje
- automobilový průmysl



TVRDÉ POVLAKY



Povlaky v motorech



DLC

Me-C:H

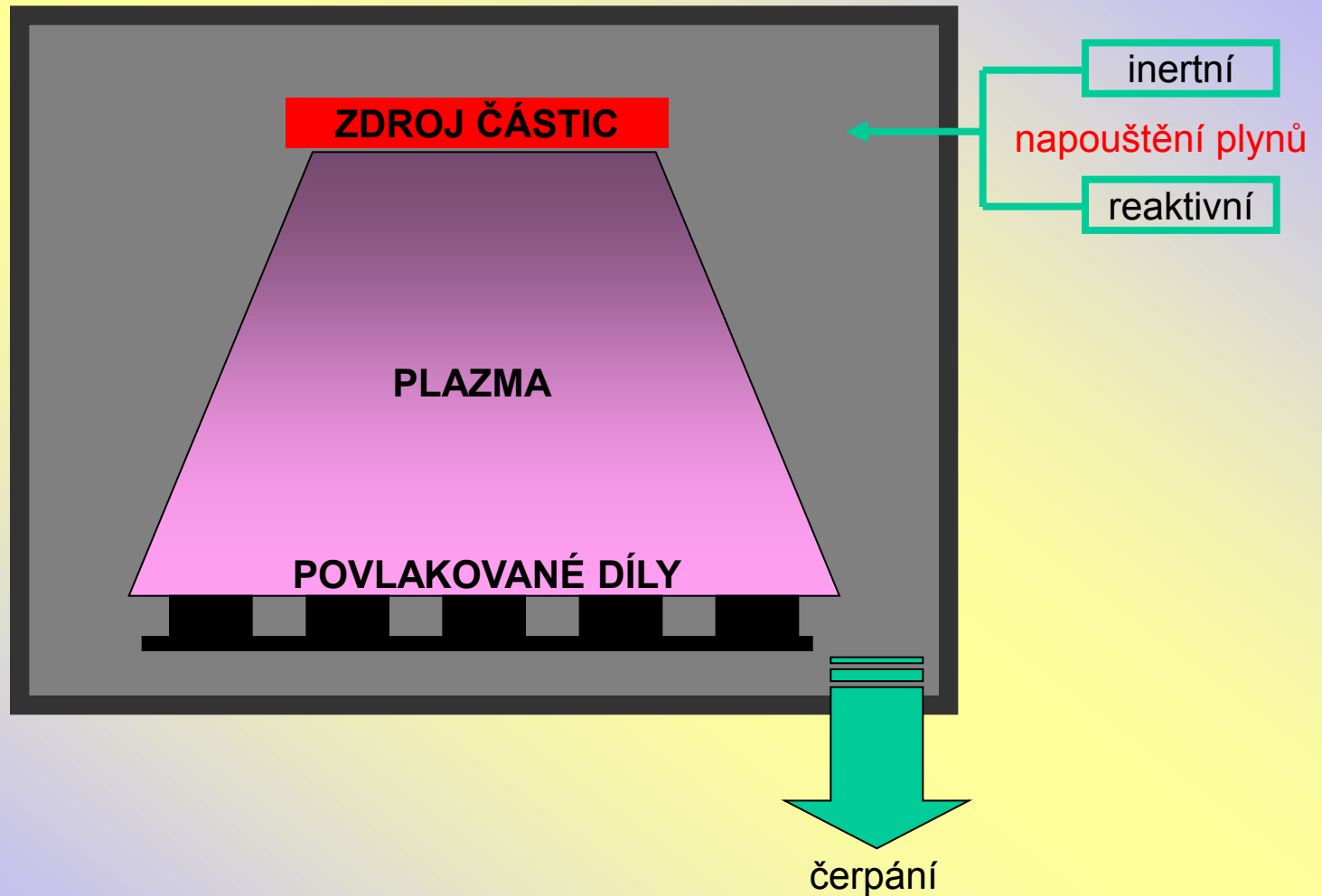
CrN

Cr2N

AlSn

NANÁŠENÍ POVLAKŮ VE VAKUU

VAKUOVÁ KOMORA



PRŮMYSLOVÉ ZAŘÍZENÍ



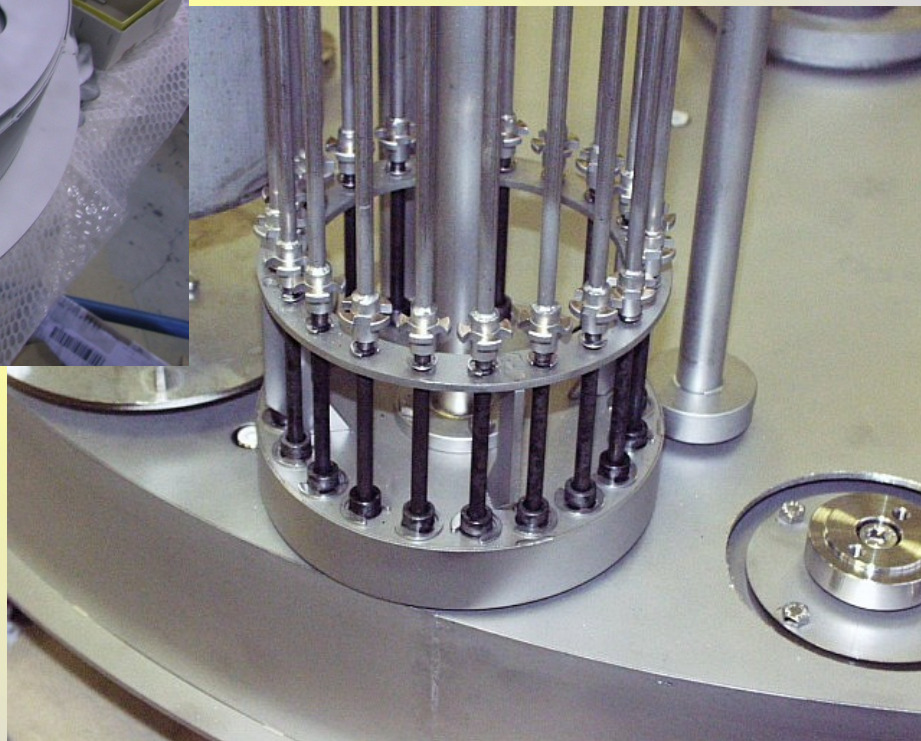
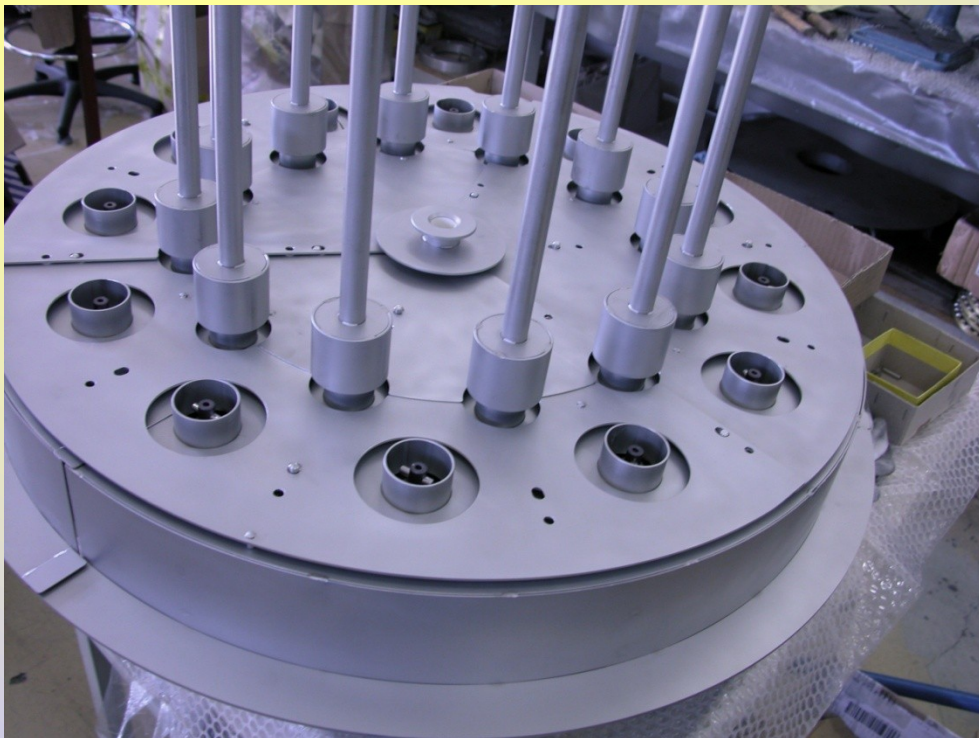
VELKÉ SYSTÉMY



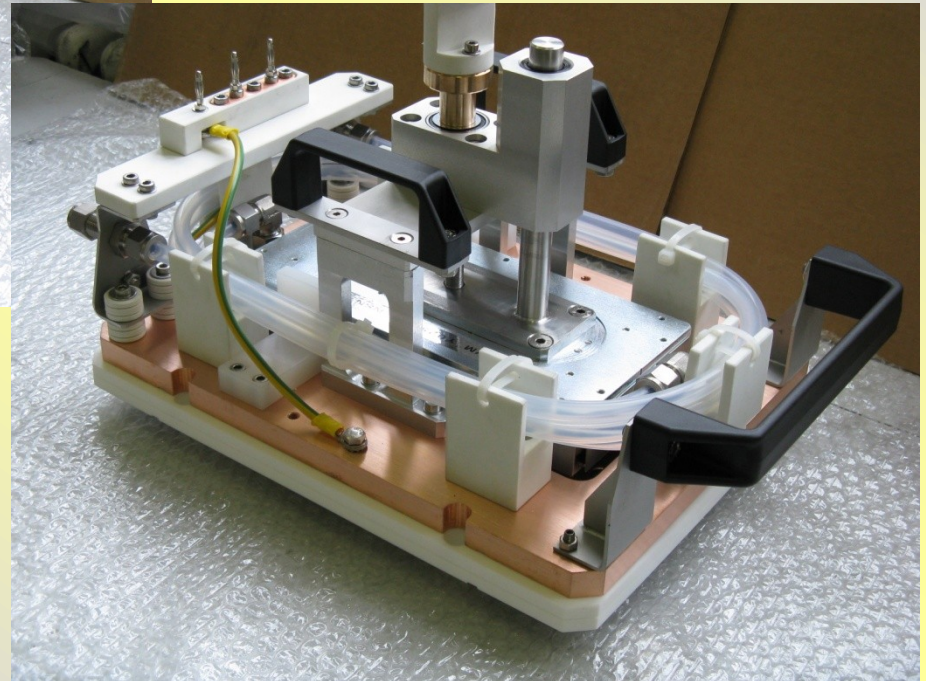
ZAKLÁDÁNÍ DÍLŮ PRO POVLA KOVÁNÍ



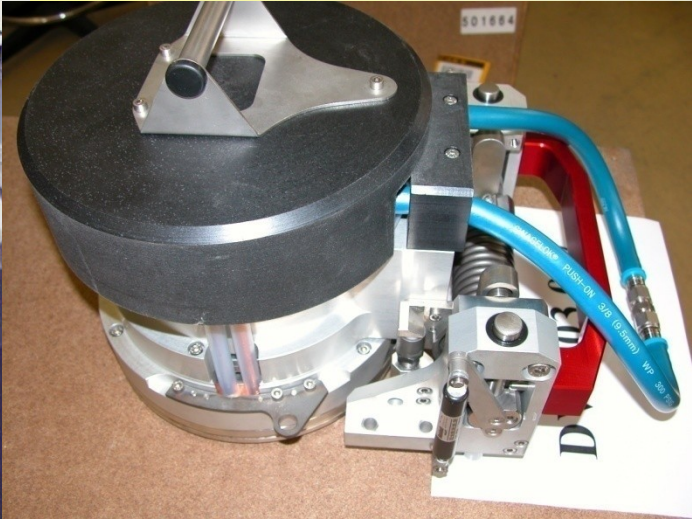
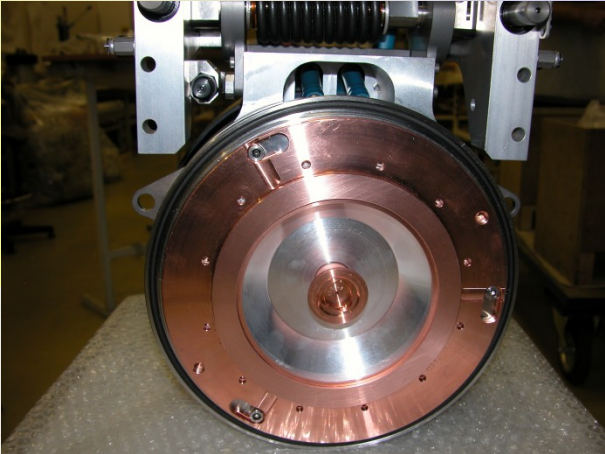
PŘÍPRAVKY PRO ROTACI DÍLŮ



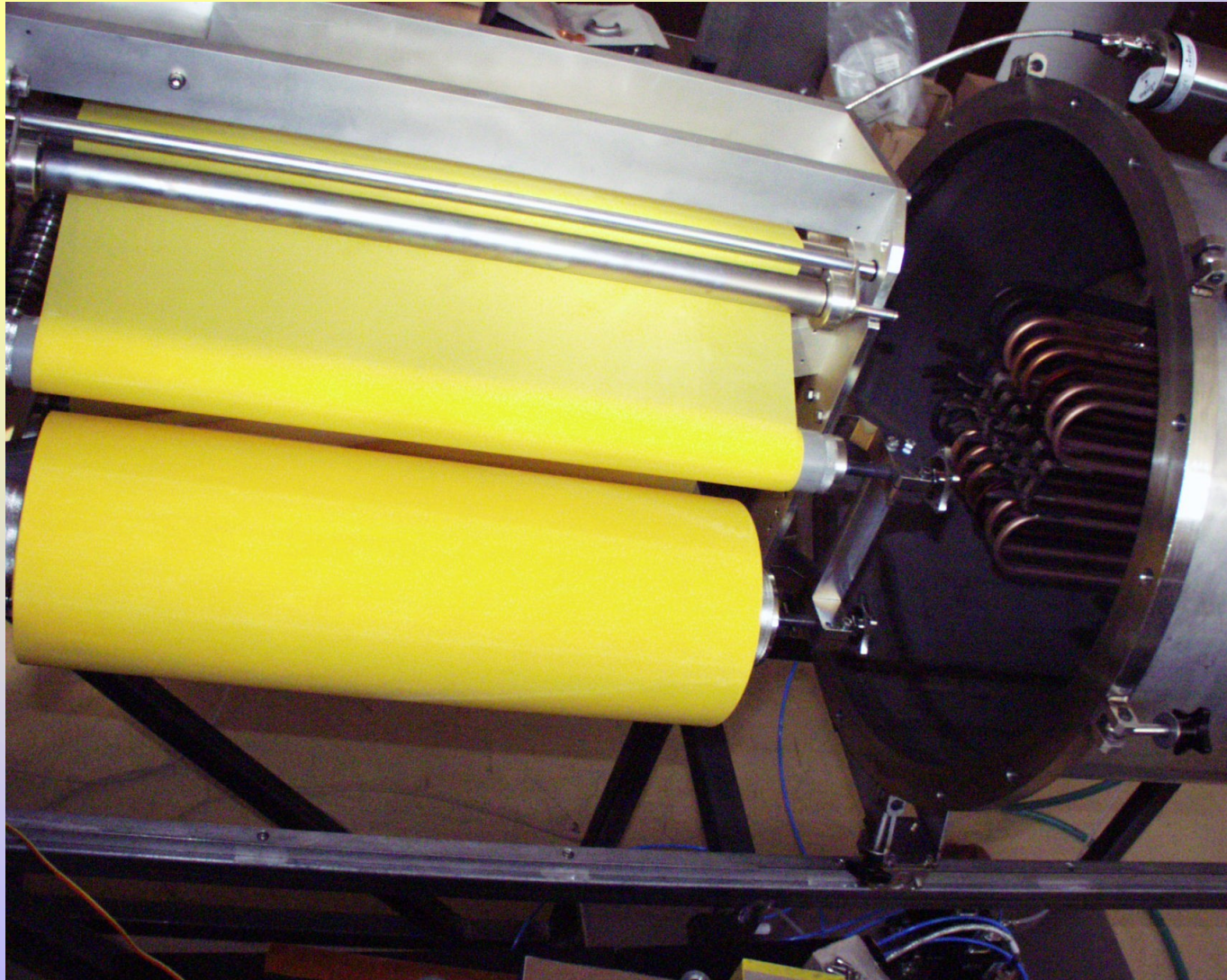
LABORATORNÍ A PRŮMYSLOVÉ ZDROJE ČÁSTIC



CD, CD-R, DVD...



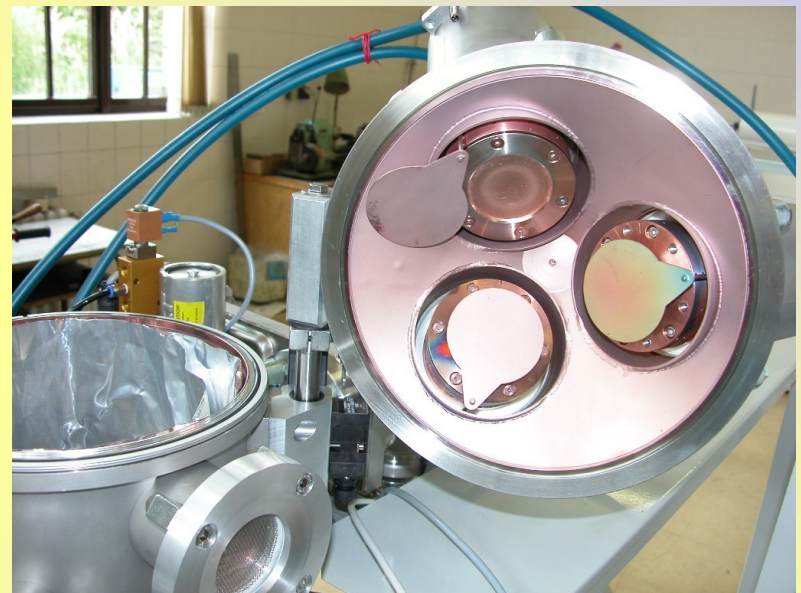
PLAZMOVÁ MODIFIKACE TEXTILU



VÝZKUMNÁ ZAŘÍZENÍ

- LABORATORNÍ SYSTÉMY

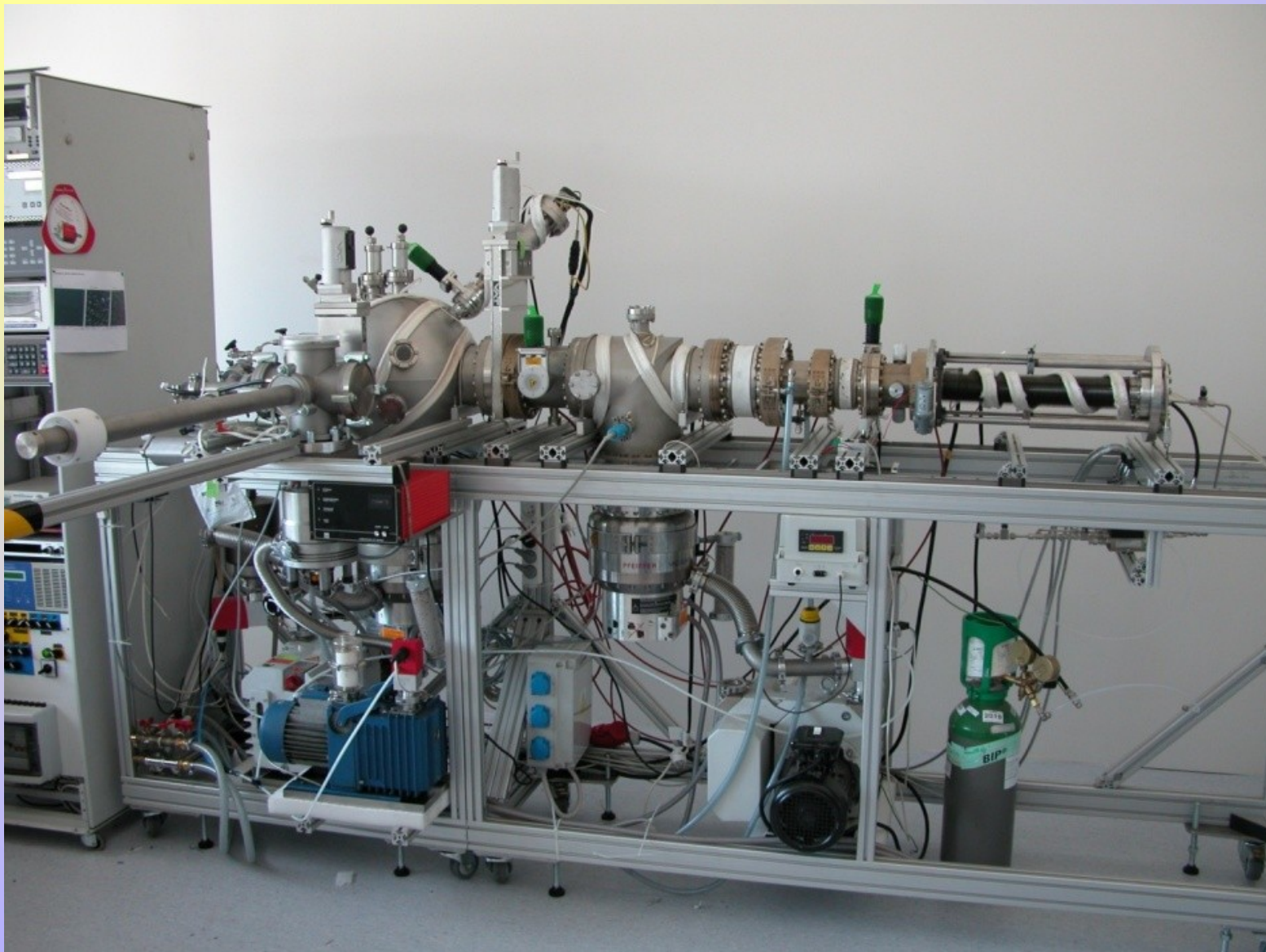
- ★ naprašování z více magnetronů (DC, RF)
- ★ RF zdroje plazmatu
- ★ pulzní zdroje plazmatu



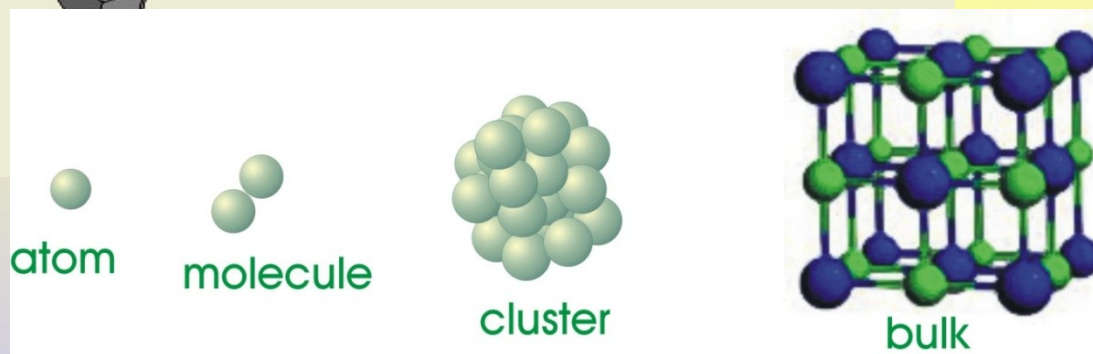
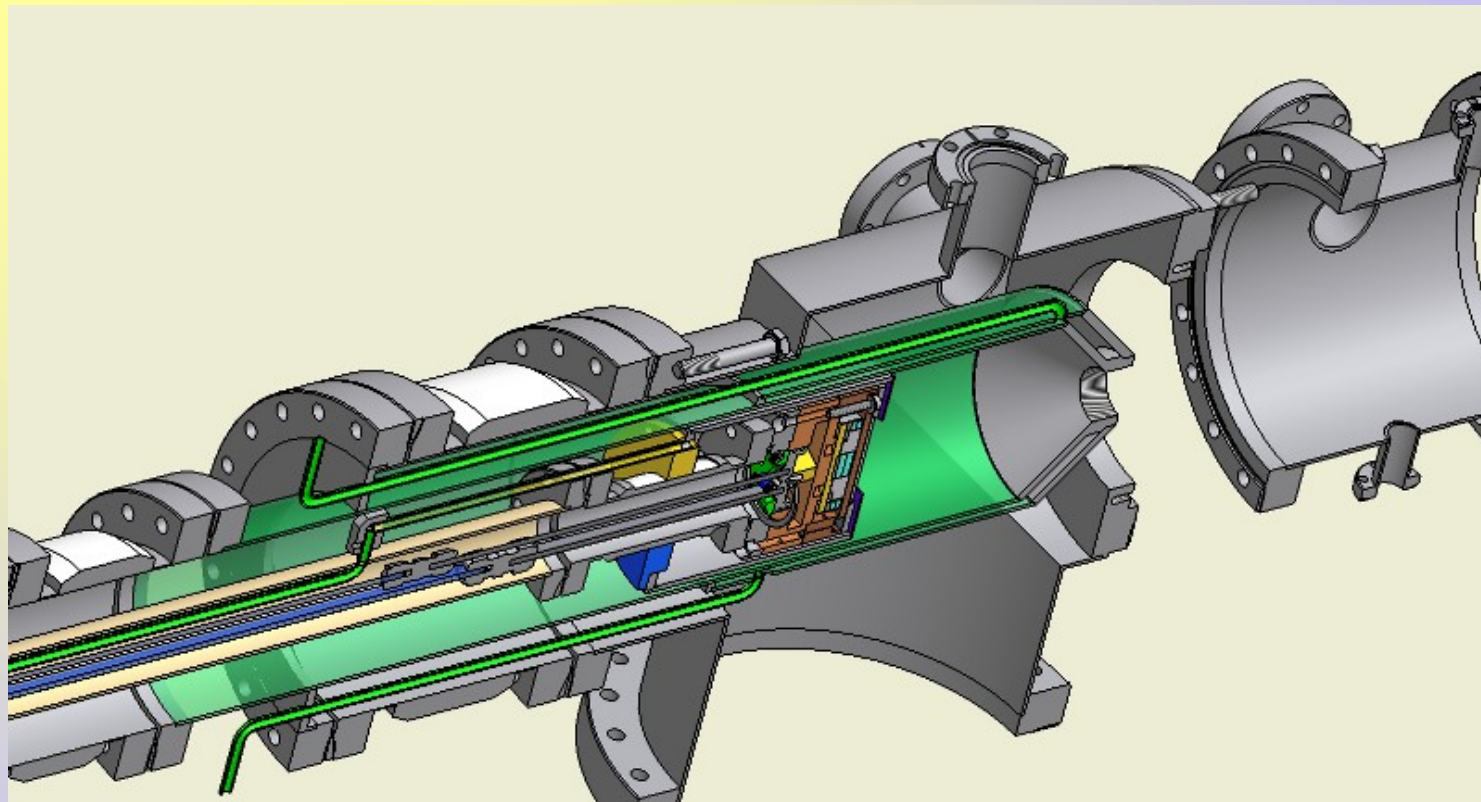
- NANOČÁSTICE - CLUSTER

- ★ UHV zařízení pro přípravu nanočástic kovů
- ★ separace a diagnostika nanočástic
- ★ nanášení struktur a povlaků

ZDROJ NANOČÁSTIC - KLASTRŮ

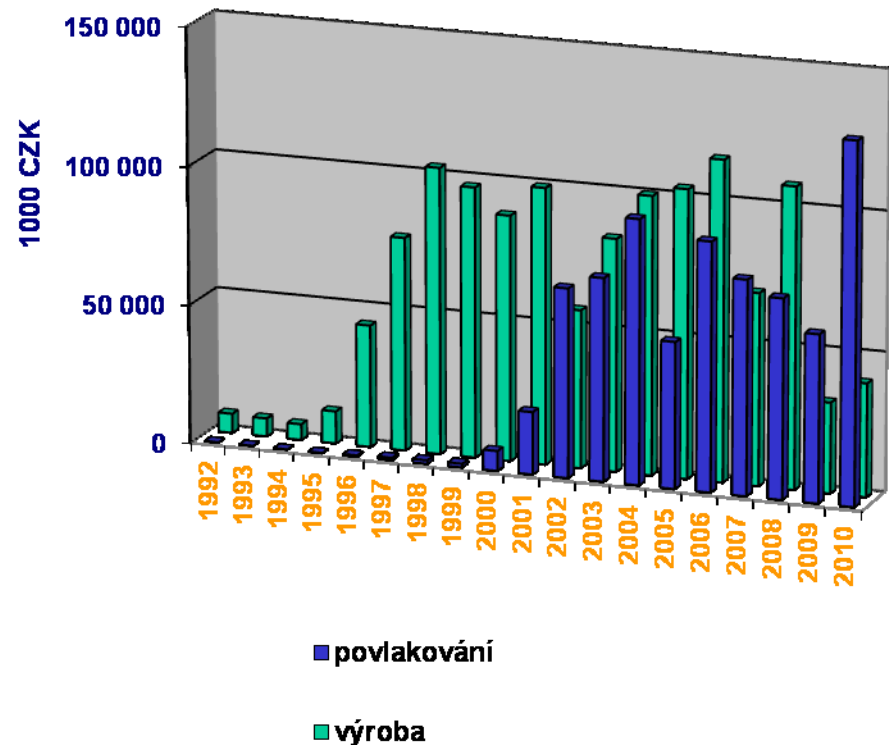


ZDROJ KLASTRŮ



HISTORIE

- 1992 založení společnosti
- 1994 povlakovací středisko Pra
- 1996 výroba Aviko Praha
- 1998 nové pracoviště Praha 5
- 2000 povlakovací středisko Brn
- 2000 certifikát ISO 9001
- 2001 tribologické povlaky
- 2002 povlaky pro automobily
- 2006 certifikát ISO TS
- 2009 certifikát ISO 14001
- 2010 nový provoz Praha

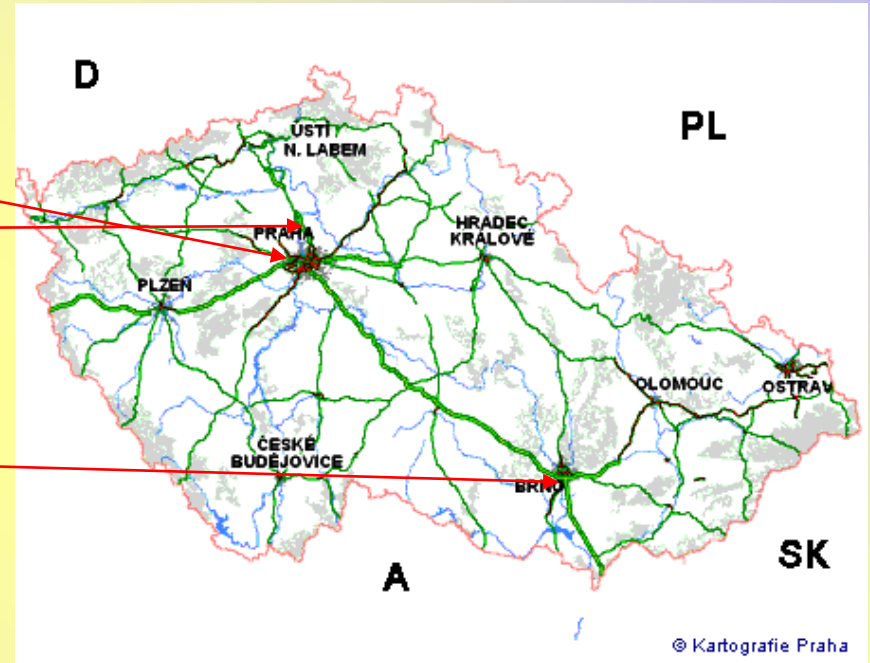


PROVOZOVNY

Praha

Tuhaň:

Modřice u Brna



100 km

POVRCHOVÉ TECHNOLOGIE

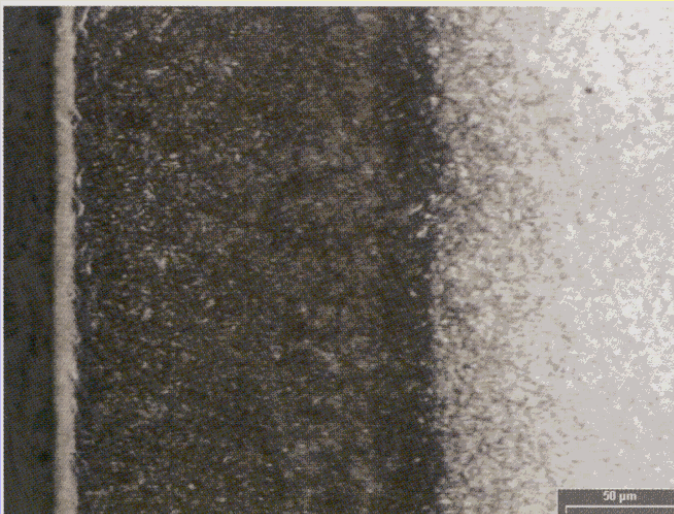
POVRCHOVÉ TECHNOLOGIE

MODIFIKACE POVRCHŮ

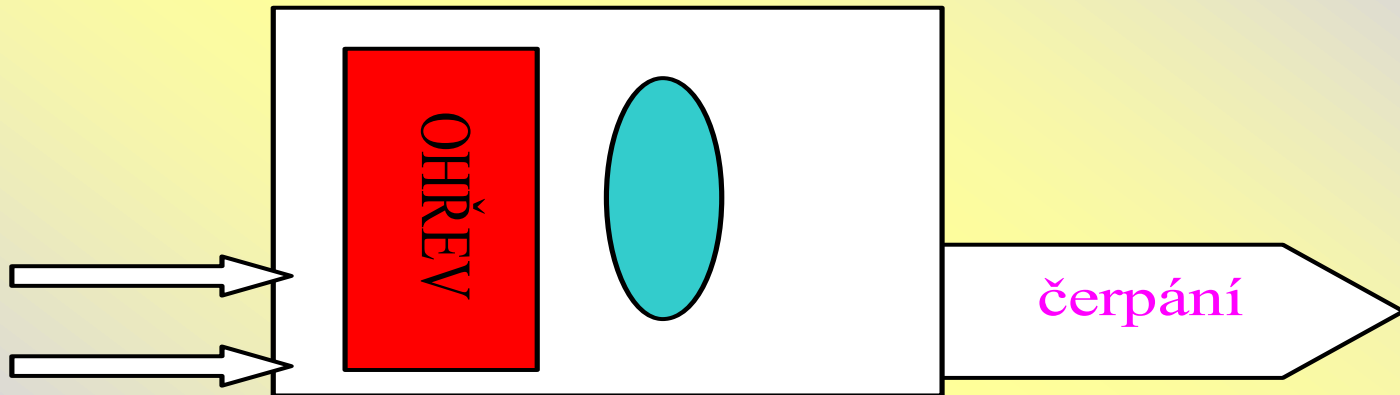
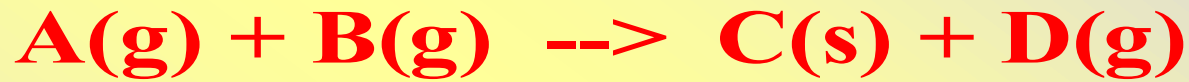
*difúzní procesy (nitridace, cementace...)
povrchové kalení
implantace*

POVLAKY

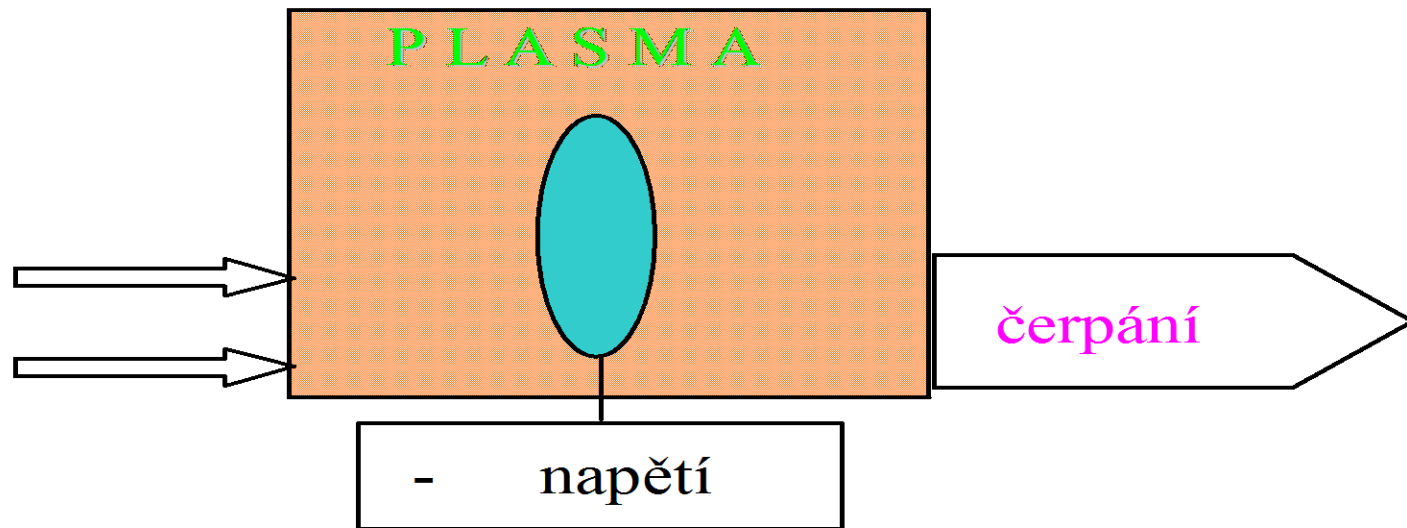
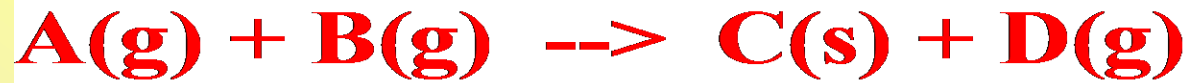
*nástríky, nátěry
chemické, elektrochemické
nanášení z par (CVD, PVD, PACVD)*



METODY Chemical Vapour Deposition



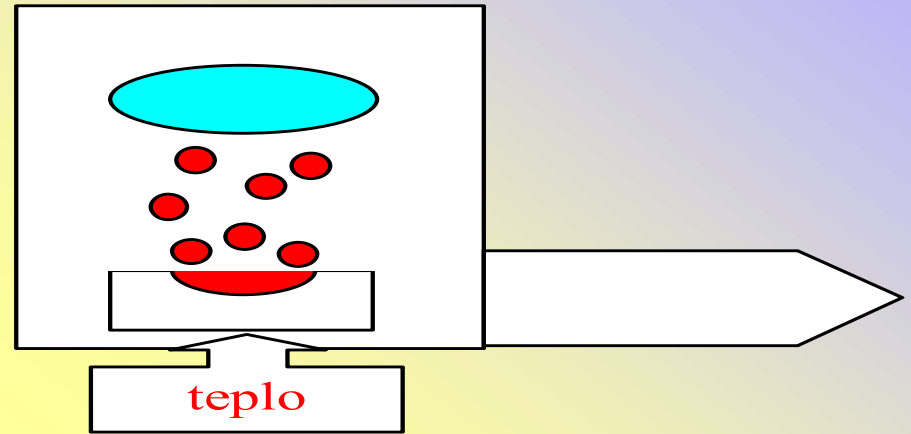
METODY Plasma Assisted CVD



METODY Physical Vapour Deposition

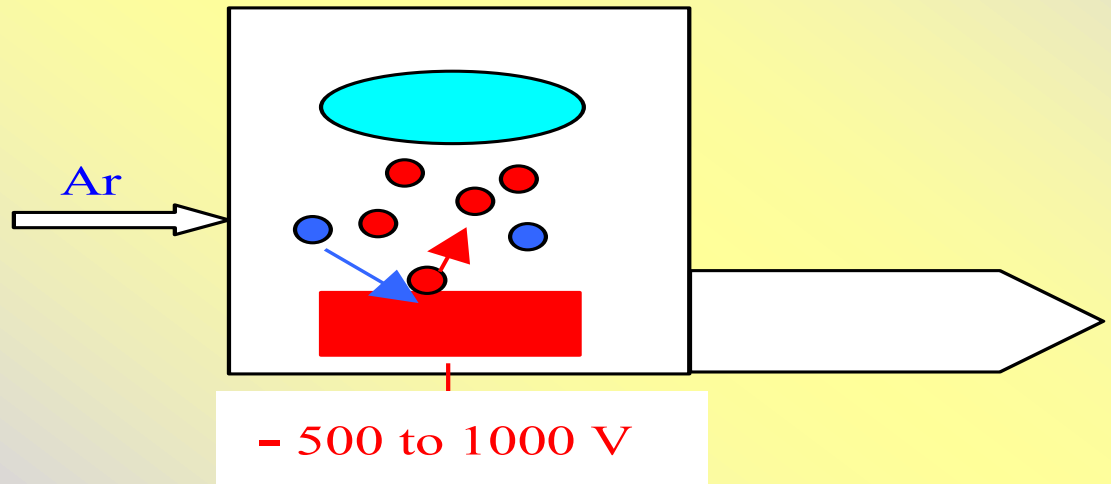
NAPAŘOVÁNÍ

teplo

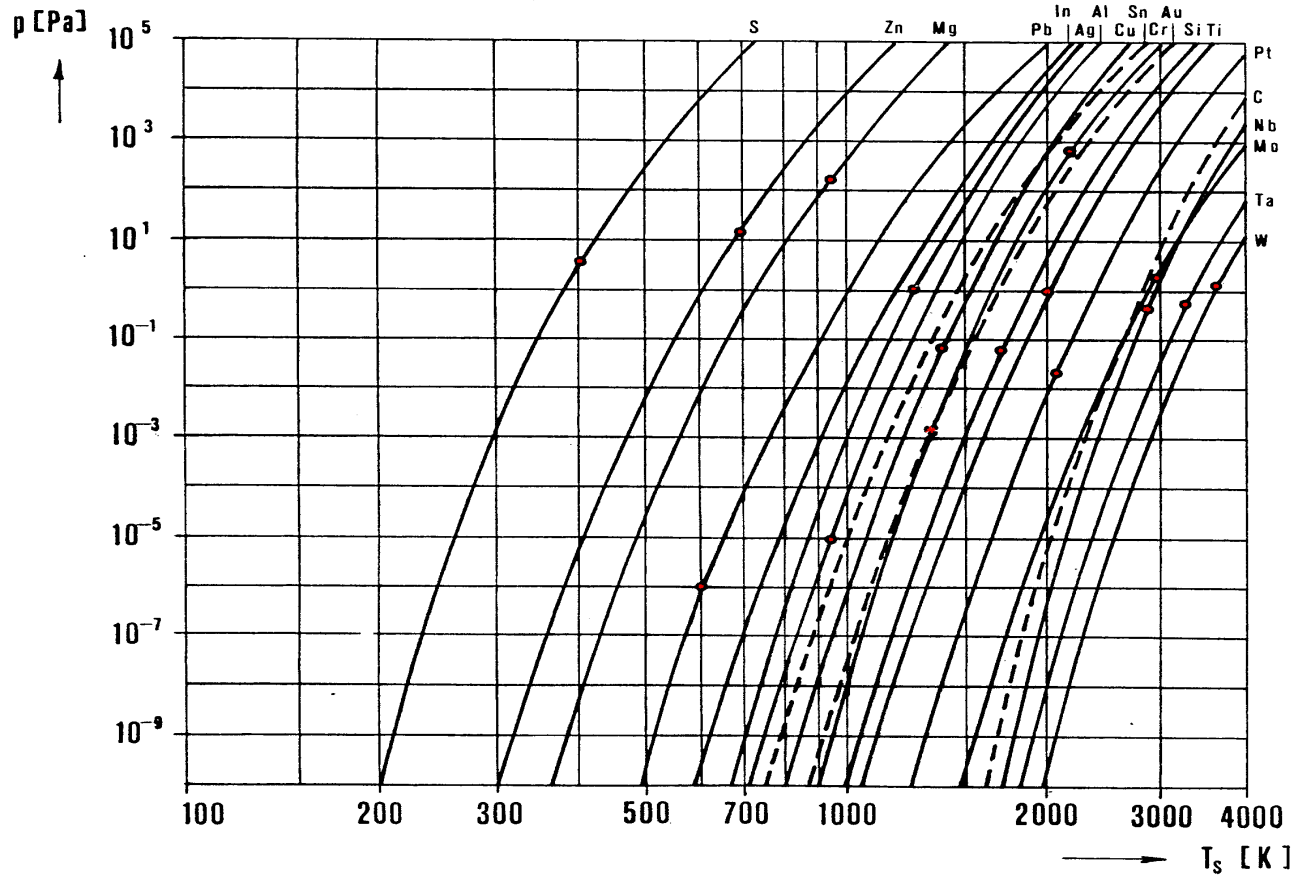


NAPRAŠOVÁNÍ

kinetická energie

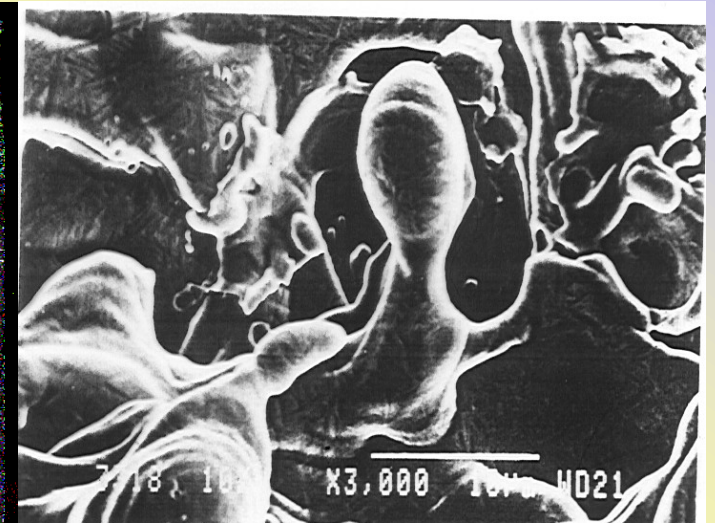
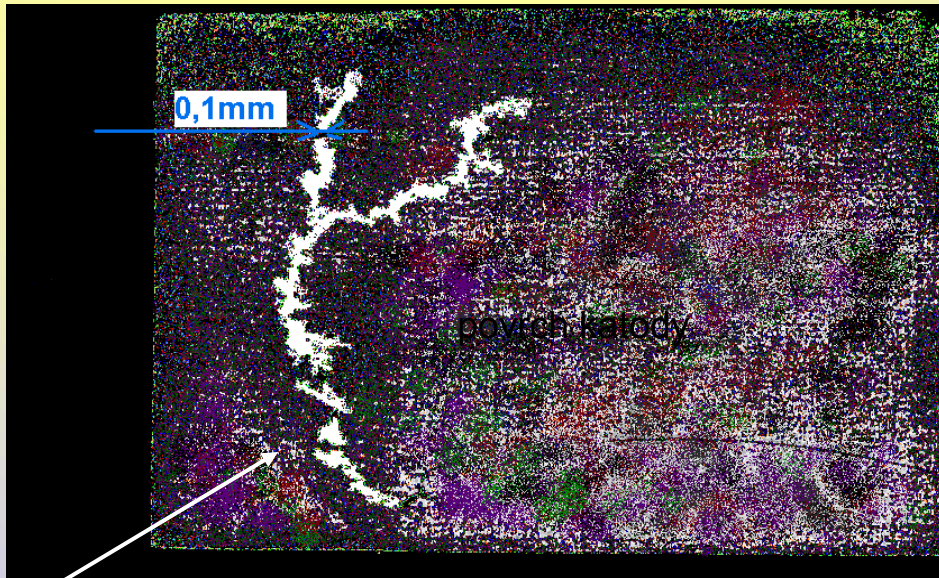


Napařování – tlak nasycených par



OBLOUKOVÉ NAPAŘOVÁNÍ

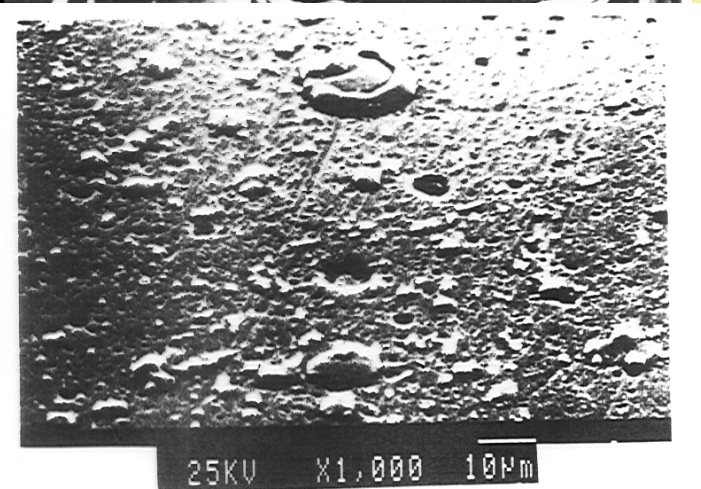
povrch katody



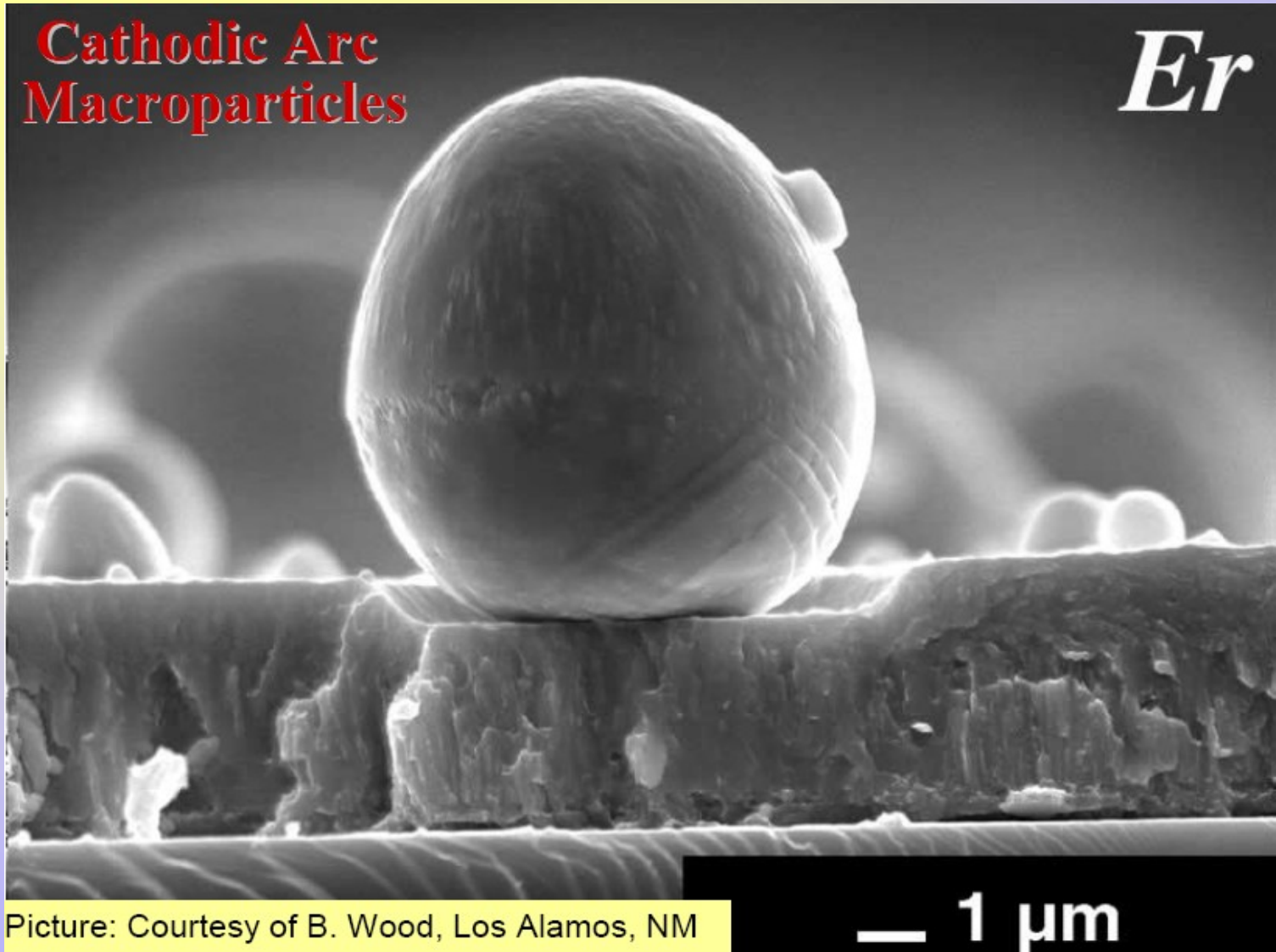
katodová skvrna

10^{10} W/m^2

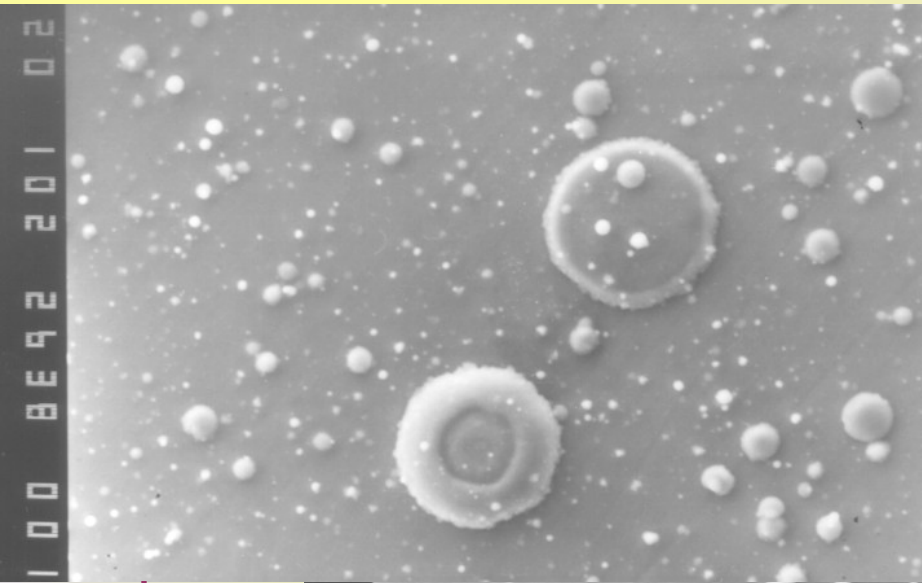
povrch vrstvy



MAKROČÁSTICE



ŘÍZENÍ OBLOUKU MAGNETICKÝM POLEM



Random arc

Controlled arc

Steered arc

Magnetické pole

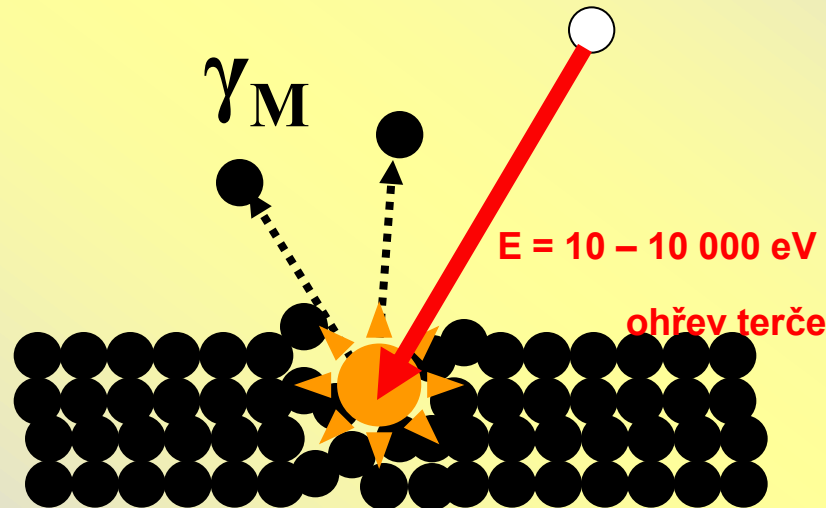
X1.00K...

PRINCIP ROZPRAŠOVÁNÍ

atom terče

dopadající iont / neutrál
(plasma, svazek)

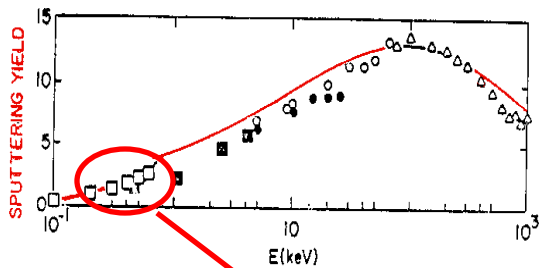
jev objeven
cca 1850



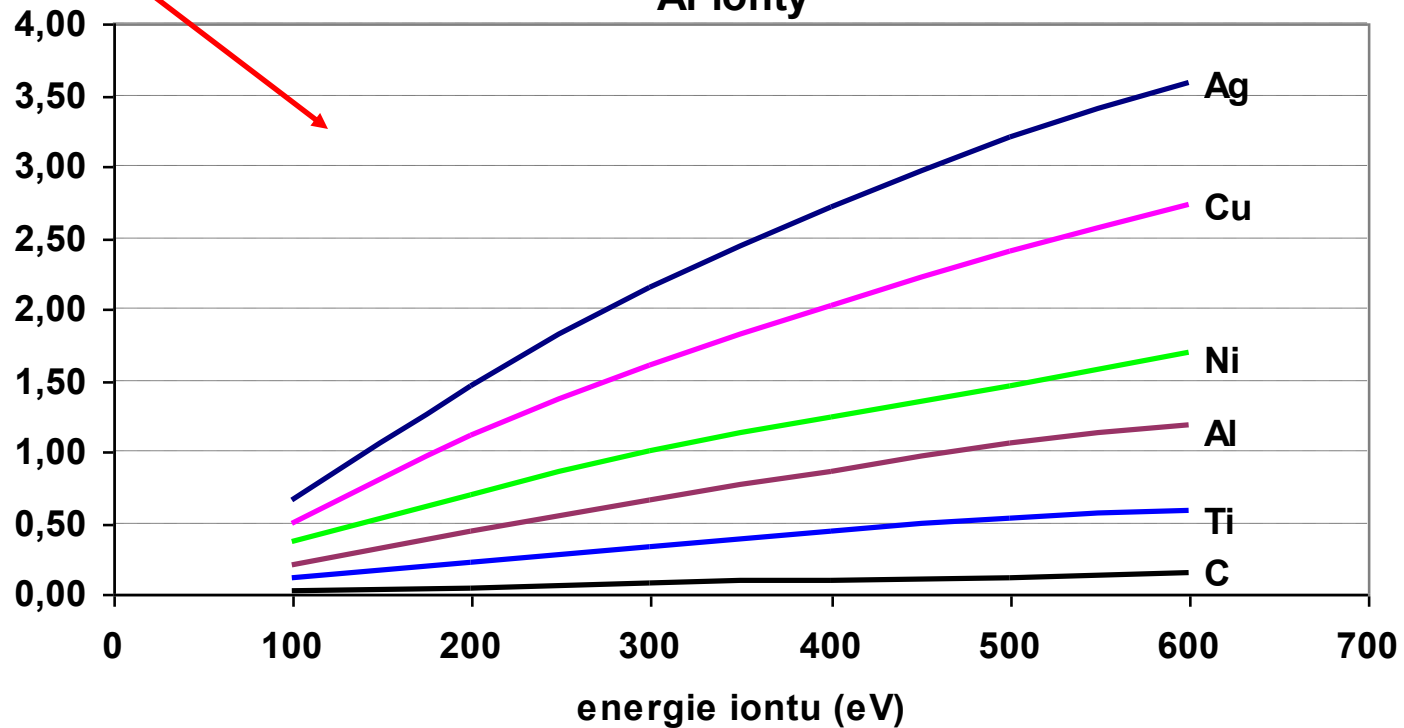
γ ... koeficient odprašování
(\rightarrow rychlost odprašování)

σ ... koeficient sekundární emise
(\rightarrow napětí výboje)

KOEFICIENT ROZPRAŠOVÁNÍ

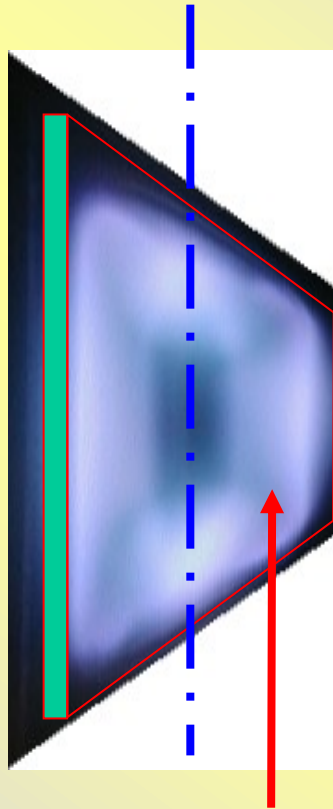
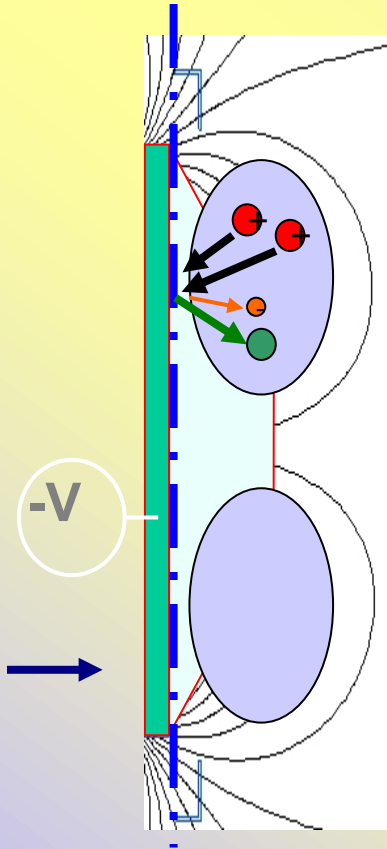


KOEFICIENT ROZPRAŠOVÁNÍ Ar ionty



MAGNETRONOVÉ NAPRAŠOVÁNÍ

Záporné napětí cca 500V

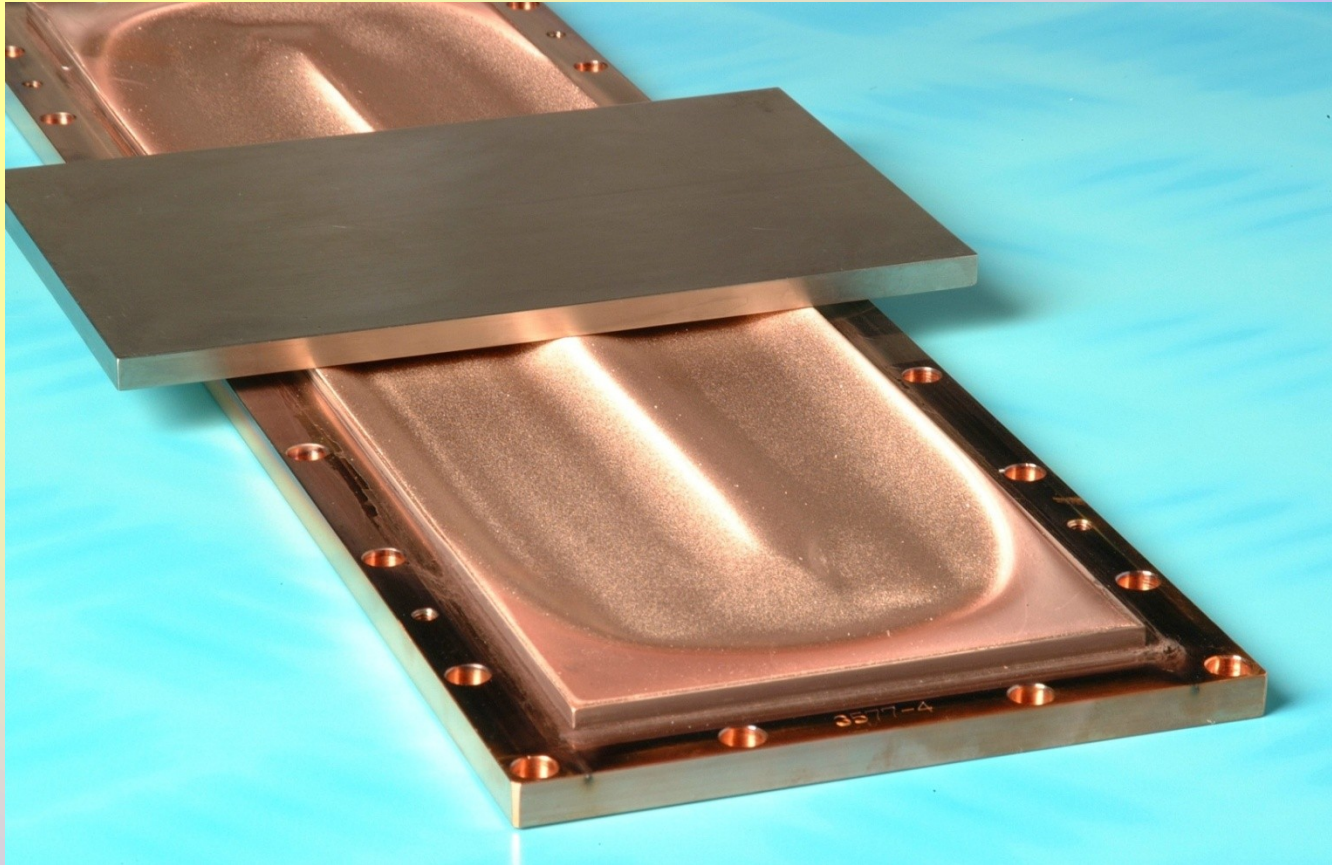


Výsledné
rozprašování
terče



plasma s vysokou hustotou
vytvořené a udržované v elektrickém
a magnetickém poli

ODPRAŠOVÁNÍ MATERIÁLU TERČE



typické využití materiálu 15 – 40% (planární terče)

MODELOVÁNÍ MAGNETICKÉHO POLE

FYZIKÁLNÍ PŘÍSTUP K ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ

NÁVRH MĚŘENÍ - EXPERIMENTU

cíl

metoda

zařízení

model

očekávaný výsledek

ANALÝZA MOŽNÝCH VAD A JEJICH NÁSLEDKŮ (FMEA)

možné vady výrobku

závažnost – výskyt – odhalitelnost

jak a čím vadu hodnotit nebo měřit



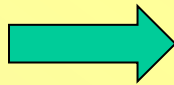
PLÁN KONTROL

NÁVRH EXPERIMENTU

STANOVENÍ CÍLE - PLÁNOVÁNÍ

jaké parametry budu sledovat

vstupní parametry



výstupní data

jak je budu měřit a s jakou přesností
jaká kriteria pro optimalizaci zvolím

MODEL – NÁVRH EXPERIMENTU

jak probíhá zkoumaný proces
jaký očekávám výsledek

NE !!!

chybný model
nesprávné měření

EXPERIMENT – PROVÁDĚNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ

správnost a úplnost měření
přesnost měření
výsledek

OVĚŘENÍ



ODPOVÍDÁ OČEKÁVÁNÍ ???

PLÁNOVÁNÍ EXPERIMENTU

vlastní plán založený na modelu a znalostech

„univerzální“ metoda plánování experimentu

např. Taguchiho metoda

*vstupní faktory A, B – minimálně 2 úrovně
4 experimenty A1B1, A1B2, A2B1, A2B2*

*tedy 3 faktory – 2 úrovně
15 faktorů – 2 úrovně*

speciální tabulky pro volbu experimentů

$$2^3 = 8$$

$$2^{15} = 32\,768$$

	A	B	C
exp. 1	1	1	1
exp. 2	1	2	2
exp. 3	2	1	2
exp. 4	2	2	1

kombinace metod pro snížení počtu faktorů

NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ - FMEA

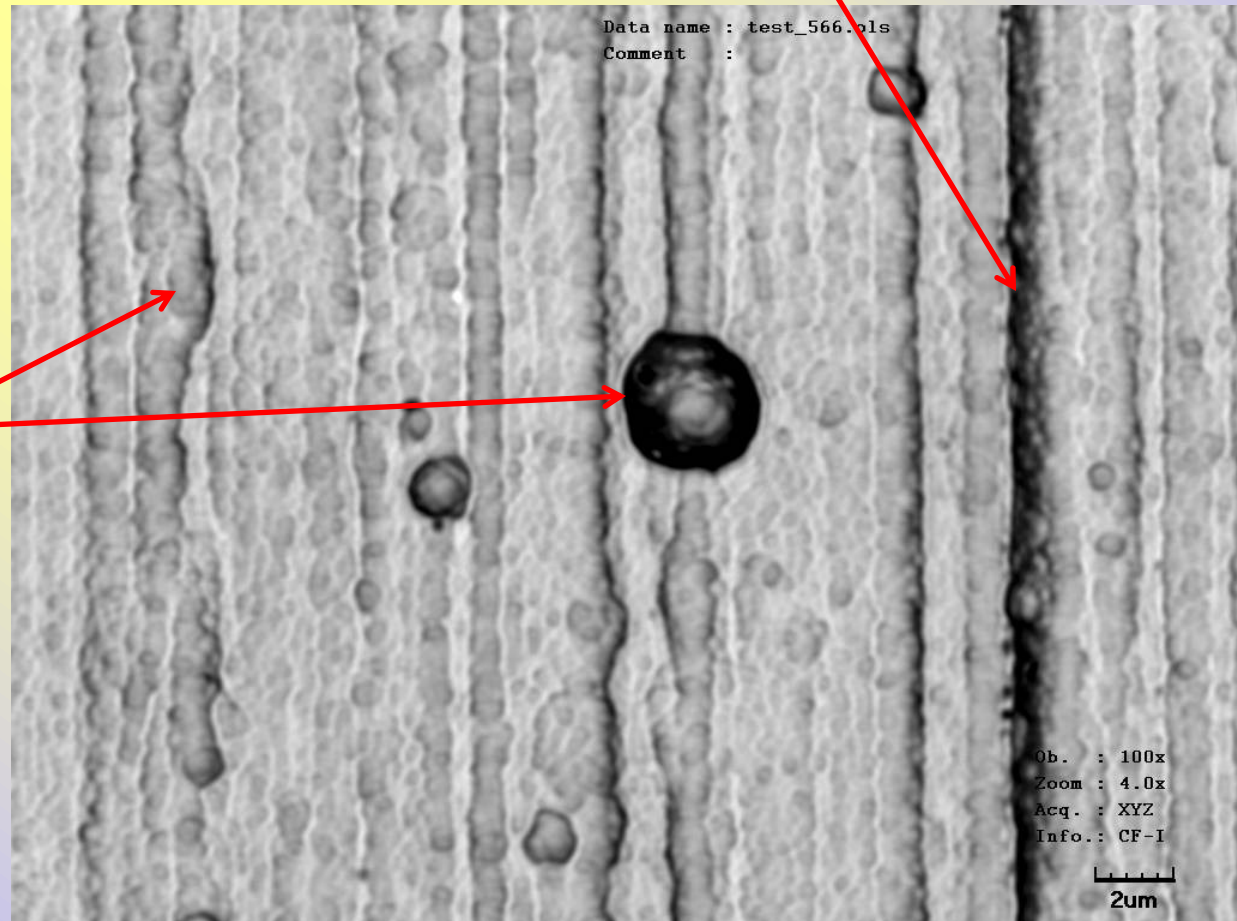
FMEA PROCESU STŘÍHÁNÍ PLECHU PRO VÝROBU SVAŘOVACÍCH DÍLŮ

Prvek ----- Funkce	Možná vada	Možné následky vady	Význam	Kritičnost	Možné příčiny (mechanismy vady)	Výskyt	Stávající opatření pro prevenci	Stávající řízení procesu,	Odhalitelnost	Rizikové číslo	Doporučená opatření	Odpovědnost ----- Termín realizace	Provedená opatření	Význam	Výskyt	Odhalitelnost	Rizikové číslo	
Stříhání plechu	Nesprávný rozměr	Nelze provádět další operace	8		Nesprávné nastavení dorazu	3	Žádné	Kontrola na počátku směny	6	144	Zavést kontrolu 1x za hodinu	Novák 22. 8. 2005	Kontrolní postup zaveden	8	3	3	72	
					Chybné měření	2	Žádné	Kontrola na počátku směny	6	96	Žádné							
	Deformace	Nejde svařovat	7		Špatné seřízení nůžek	3	Žádné	Kontrola rovinnosti 1x za hod.	4	84	Žádné							
					Otupení břitů	6	Žádné	Kontrola rovinnosti 1x za hod.	4	168	Použit jiný materiál břitů	Svoboda 30. 9. 2005	Použit materiál č.	7	2	4	56	
	Otřepty	Poranění obsluhy	Špatný vzhled	9		Špatné seřízení nůžek	3	Žádné	Vizuální kontrola	4	108	Žádné						
						Otupení břitů	6	Žádné	Vizuální kontrola	4	216	Použit jiný materiál břitů	Svoboda 30. 9. 2005	Použit materiál č.	9	2	4	72

MĚŘENÍ NA REÁLNÉM POVRCHU

STOPY BROUŠENÍ

RŮSTOVÉ
DEFEKTY

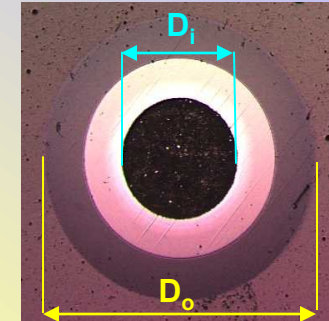
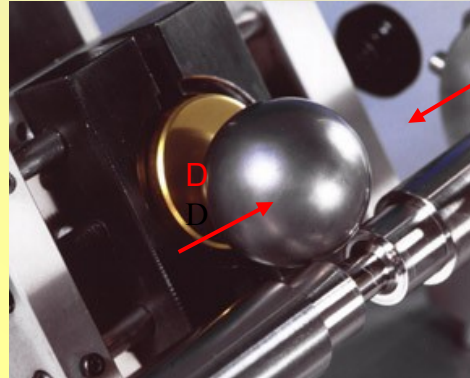


TLOUŠŤKA VRSTVY

PŘÍMÉ METODY

- **výbrus**

- ★ příčný
- ★ šikmý
- ★ kulový



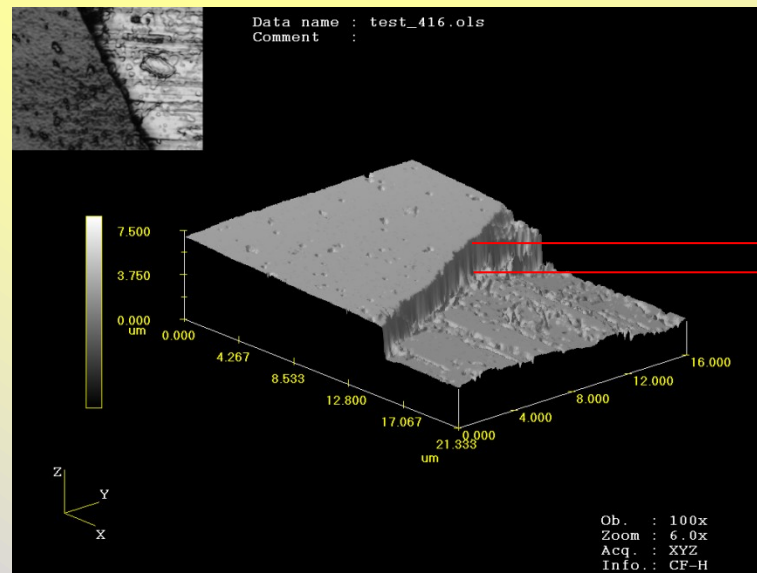
$$h_f = (D_o^2 - D_i^2) / (4 * D)$$

- **schod**

- ★ mikroskop
- ★ interferometricky
- ★ hrotem

drsnost

- ovlivňuje růst a měření



TLOUŠŤKA VRSTVY

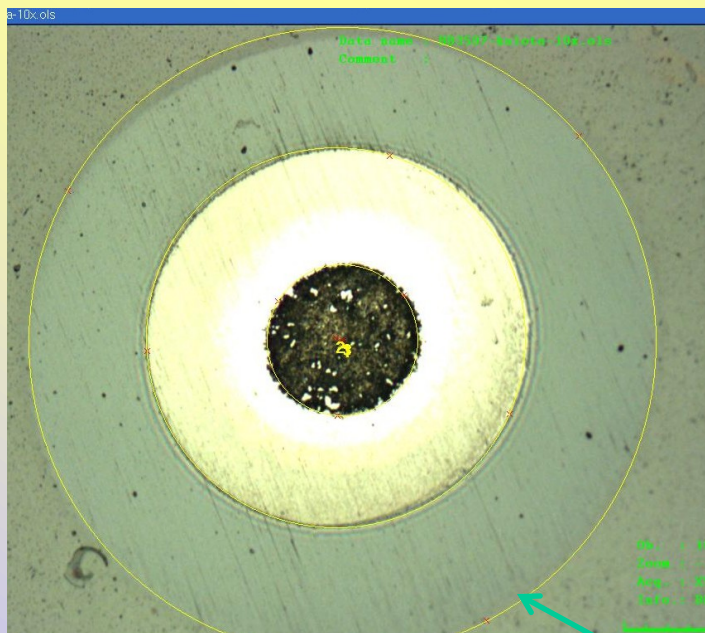
NEPŘÍMÉ METODY

nutná kalibrace pro danou vrstvu

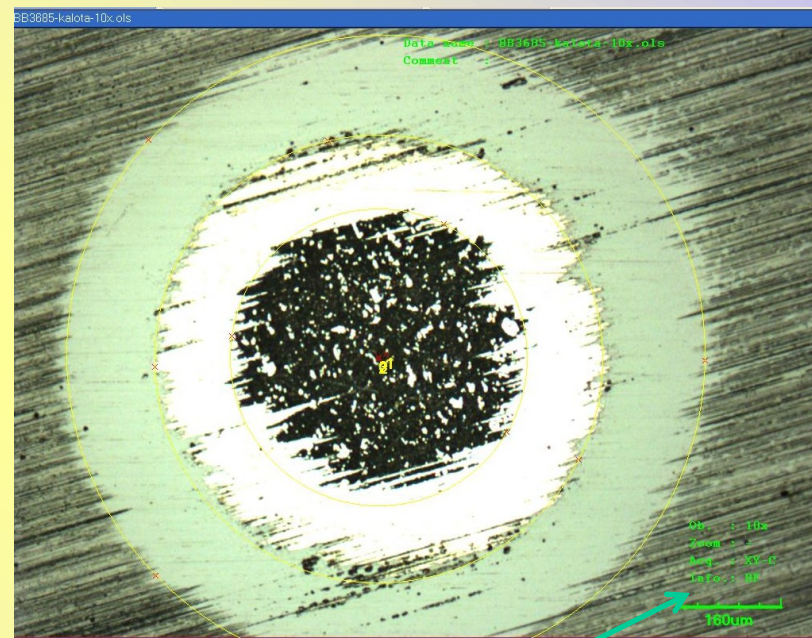
- **měření hmotnosti vrstvy**
 - ★ vážení (0,1-1mg/cm²)
 - ★ krystalový detektor
- **měření emise nebo absorpce při interakci s částicemi nebo zářením**
 - ★ rtg fluorescence nebo absorpce
 - ★ RBS
- **odprašování (odpařování) povrchu ve spojení s prvkovou analýzou**
 - ★ SIMS, AES, GDOES, LIBS

CALOTEST

Rz 0,1

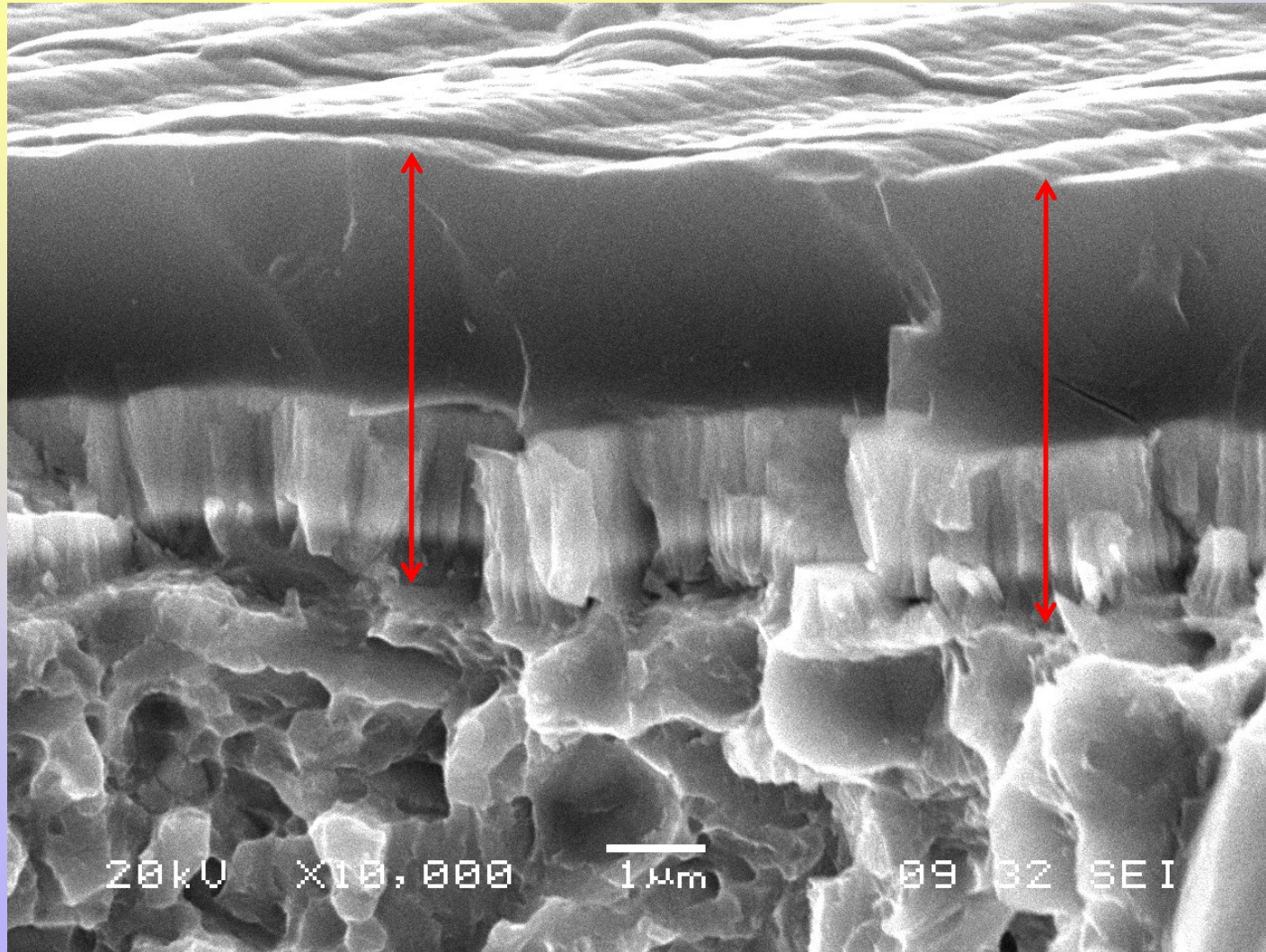


Rz 0,8



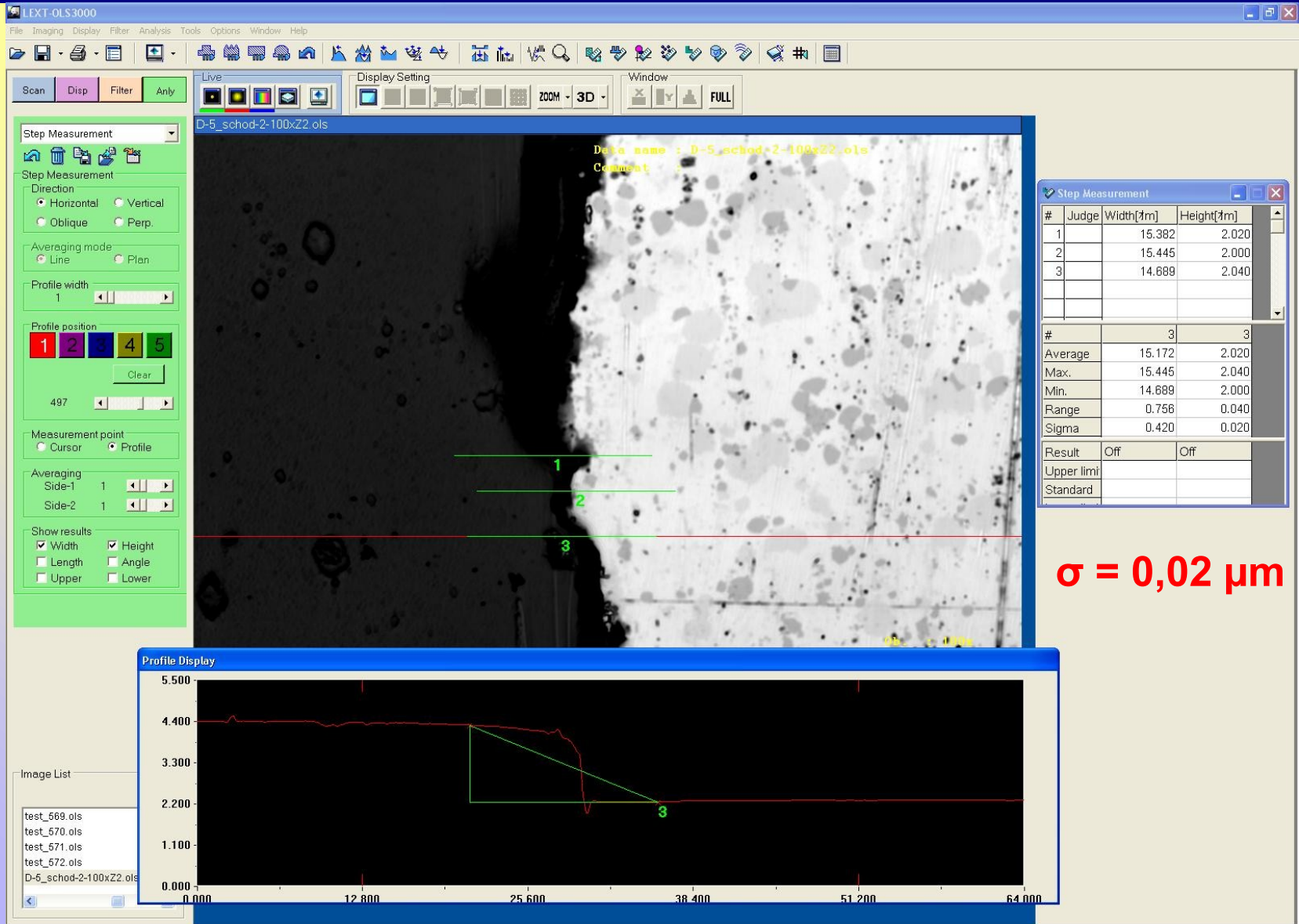
Přesnost měření μm	5	10	20
Chyba tloušťky $\pm \mu\text{m}$	0,08	0,16	0,32

PŘÍČNÝ LOM

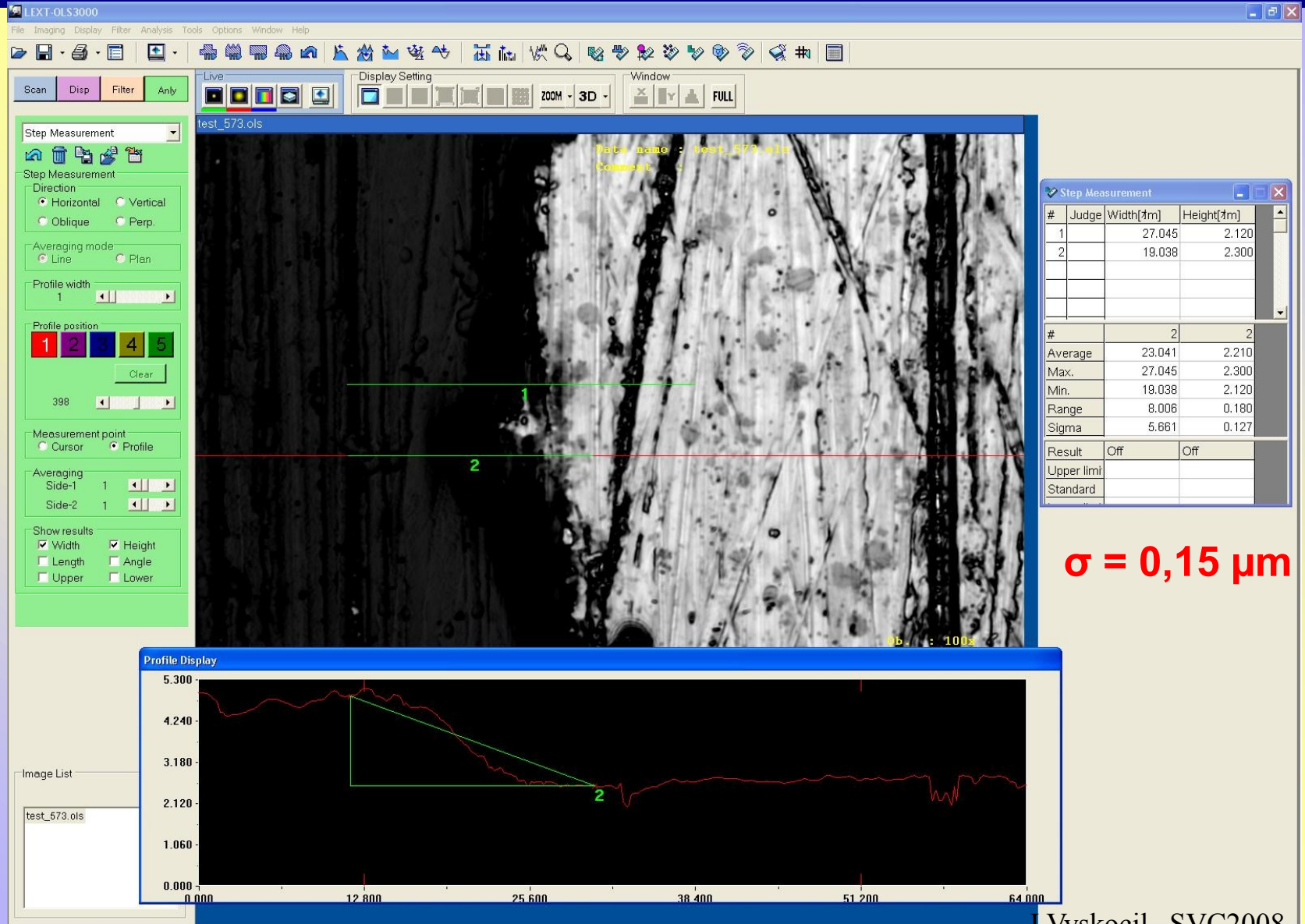


**HRANOVÝ
EFEKT**
 $\sigma = 0,1-0,2 \mu\text{m}$

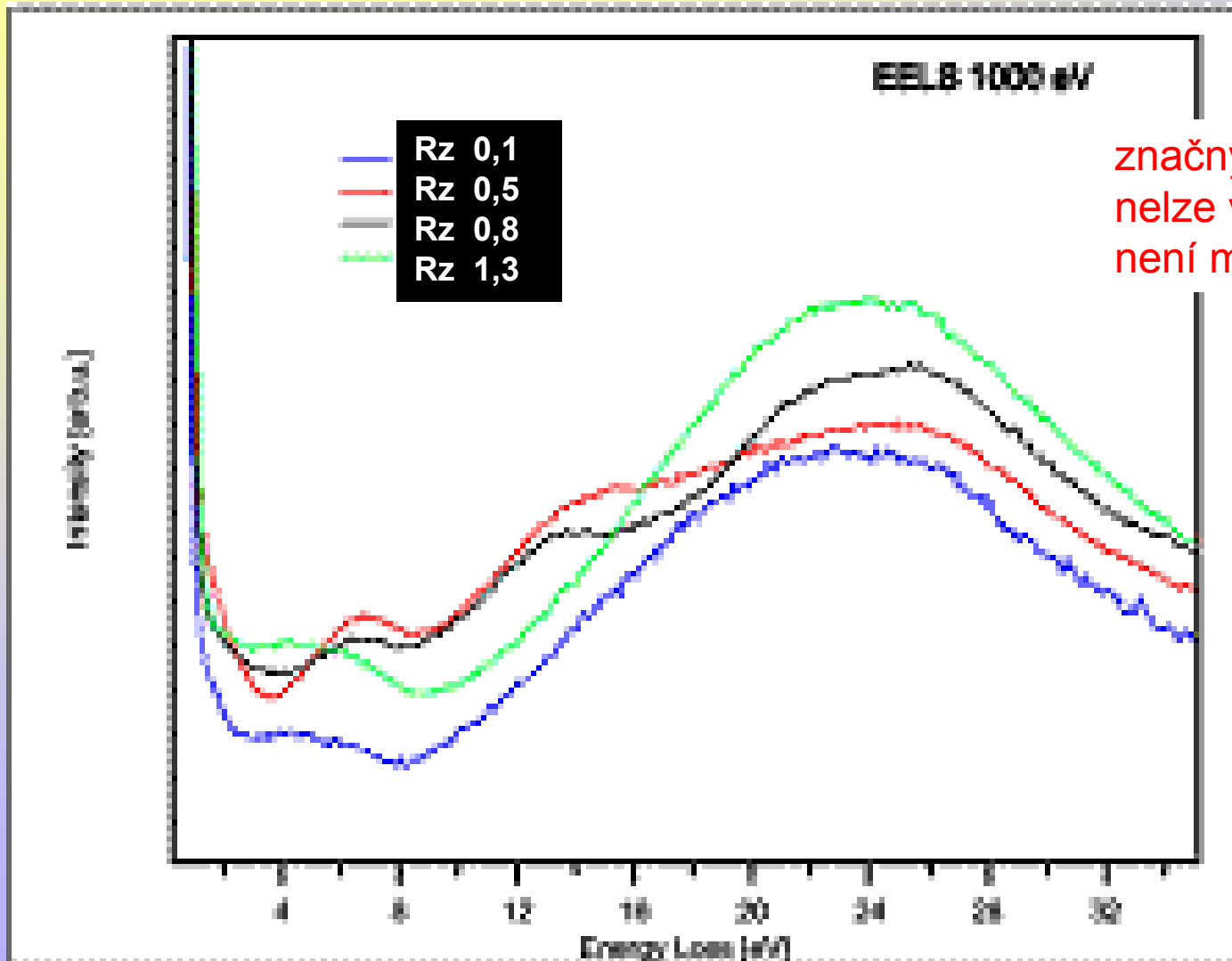
Rz 0,1



Rz 1,3



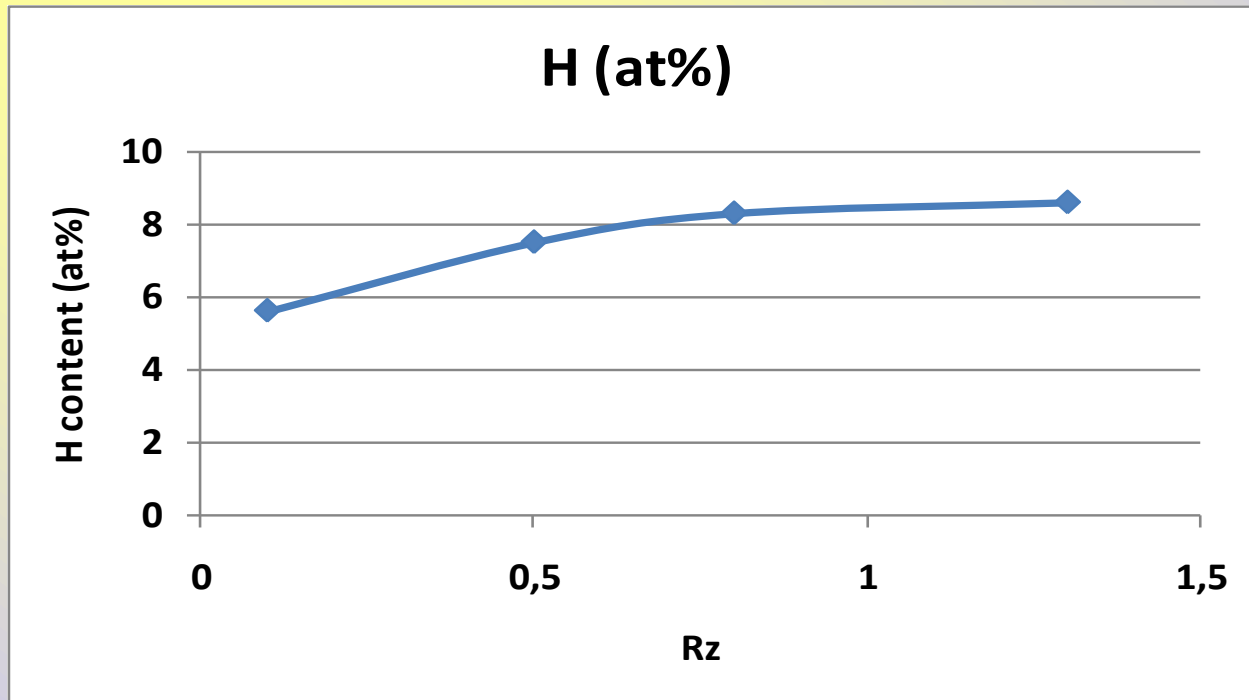
EELS PŘI NÍZKÝCH ENERGÍCH



značný vliv drsnosti
nelze vyhodnotit
není model

OBSAH VODÍKU

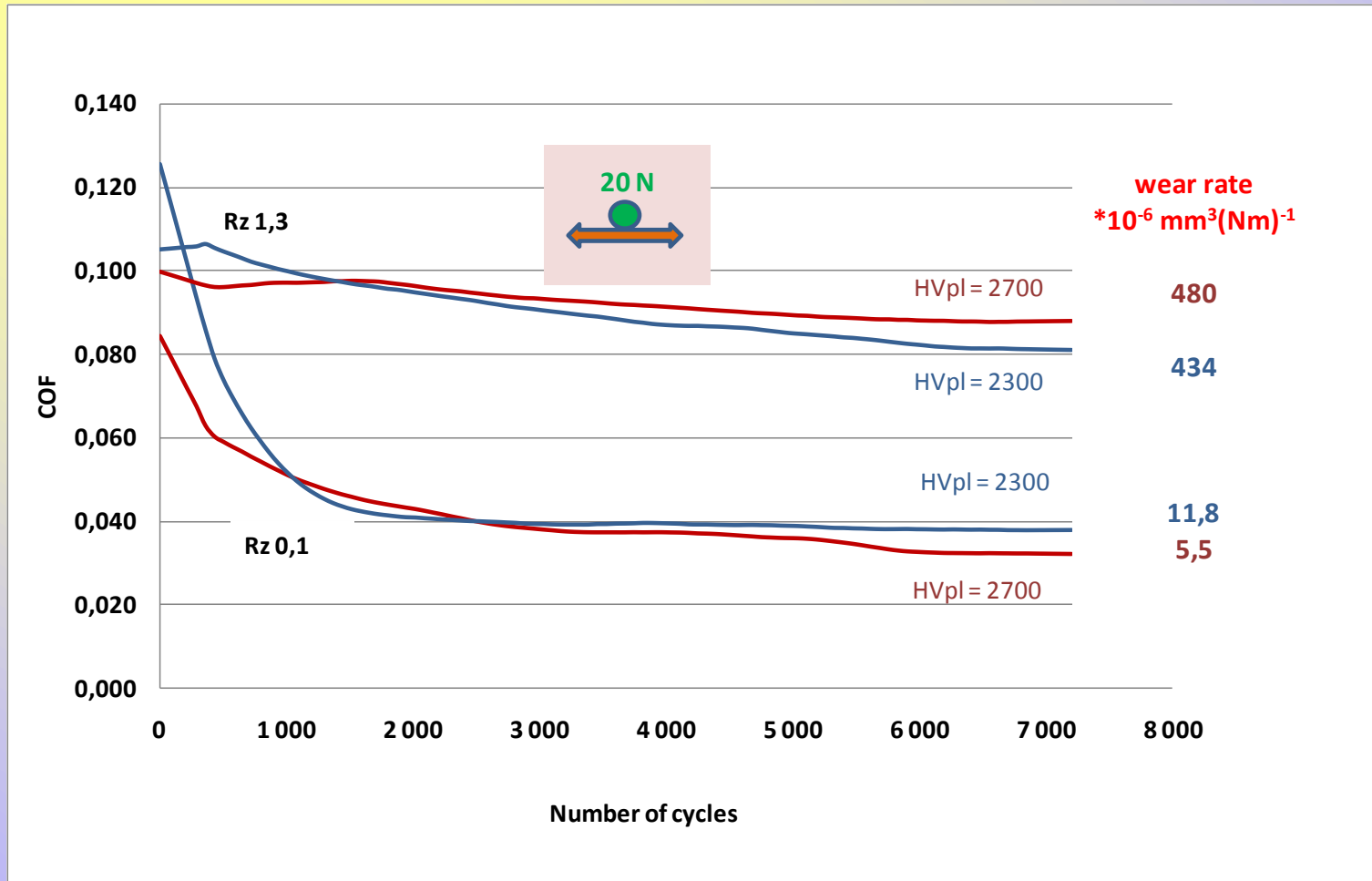
ERDA



Korekce na Rz ???

a-C:H TŘENÍ A OTĚR

Al₂O₃ kulička Ø 6mm
relativní vlhkost 30%



ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

fyzikální myšlení a přístup k řešení problémů:

základní metoda pro pochopení a vývoj
významná konkurenční výhoda
radost z objevování

korektnost experimentální práce

příprava a vyhodnocení experimentů
zahrnutí všech experimentálních dat
„opuštění“ modelu nebo představy

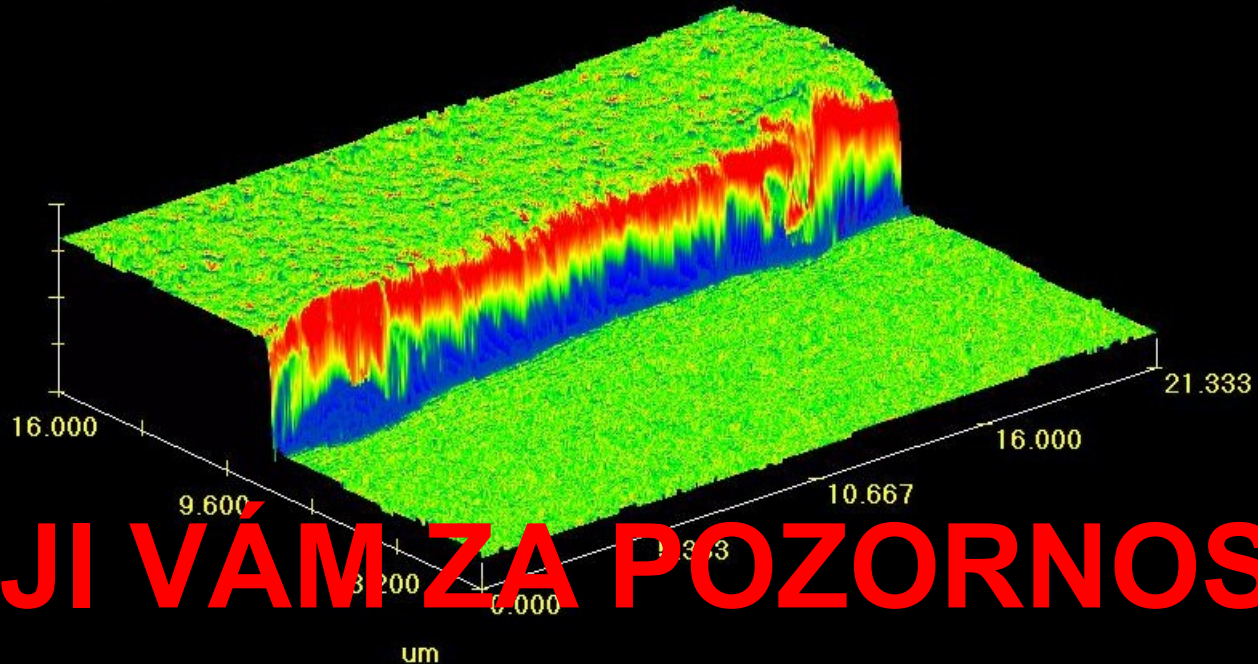
aplikace nových metod a poznatků

metody měření
modely
technologie

Data name : Cu&Si_12_07_03.ols
Comment :



0.940
0.470
0.000
um



DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST



jiri.vyskocil@hvm.cz

www.hvm.cz

Ob. : 100x
Zoom : 6.0x
Acq. : XYZ
Info. : CF-H