

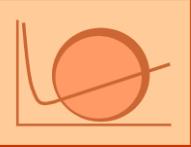
CTD

Od tribologije ... do nanotribologije in nanotehnologij

Mitjan KALIN

Center za tribologijo in tehnično diagnostiko
Univerza v Ljubljani

*5. nanotehnološki dan
Ljubljana, GR
8. april 2010*



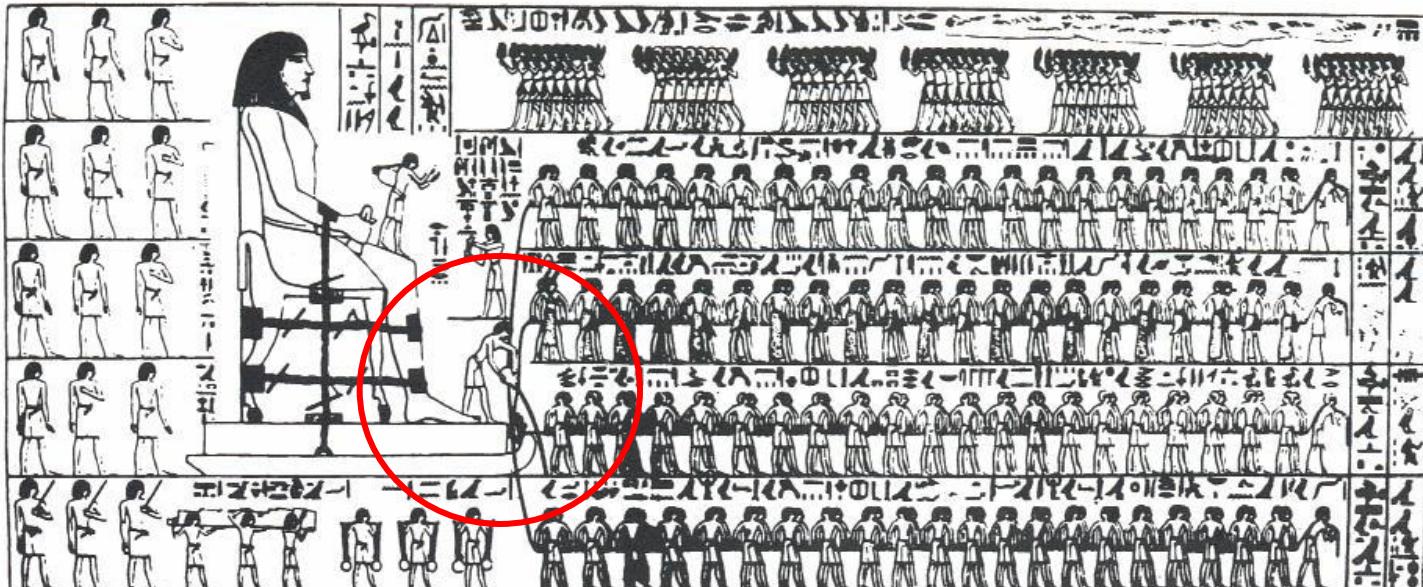
Vsebina

- **Tribologija**
 - Osnove
 - O dimenzijah
 - Mazanje
 - Obvladovanje kontaktov
- **Nanotribologija**
 - Nanomateriali
 - Analitske tehnike
 - Nanomehanika
 - Modeliranje
 - Mejno mazanje
- **Zaključek**



Trib... kaj ?

“Tribologija je znanost in tehnologija o trenju, obrabi in mazanju medsebojno gibajočih se elementov.“



1880 pr.n.š., grobnica Tehuti-Hetep iz El-Bersheh-a



Tribologija

Vsi premikajoči deli!!!

- tečaj na vratih,
- sklepi (kolki, kolena,...)
- zobje
- obdelovanec/orodje
- kotalni ležaj ..v rolkri.. ali turbini vesoljske ladje
- avtomobilski brisalec
- gume na cesti
- zavore
- olje!!

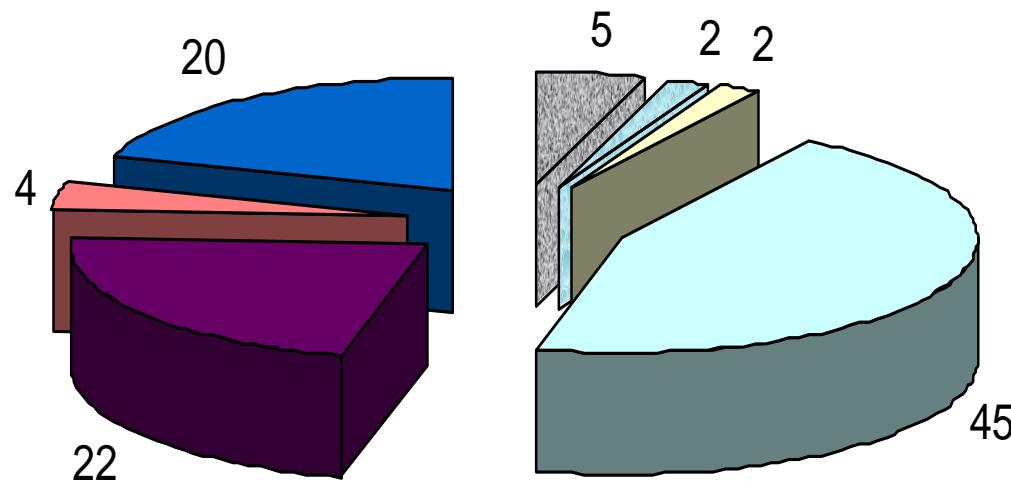




Kaj pa industrija, podjetja?

- Leta 1966 v VB – prva študija o vplivu tega področja: vladna komisija, ki jo je vodil P. Jost je izdelala študijo o potencialnih prihrankih, vplivih če bi se principi tribologije bolje upoštevali..
- Vsaj 1% BDP bi lahko prihranili le z minimalnimi dodatnimi vlaganji v razvoj in raziskave, 4-5 % BDP pa bi lahko prihranili z večjimi vlaganji.

Prihranki različnih virov



Energija - manjše trenje
Človeških virov
Stroški maziv
Vzdrževanje, zamenjave
Zastoji
Investicije (učinkovitost/razpoložljivost)
Investicije (trajnost strojev)



Širši pomen

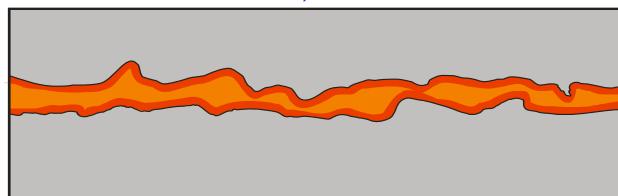
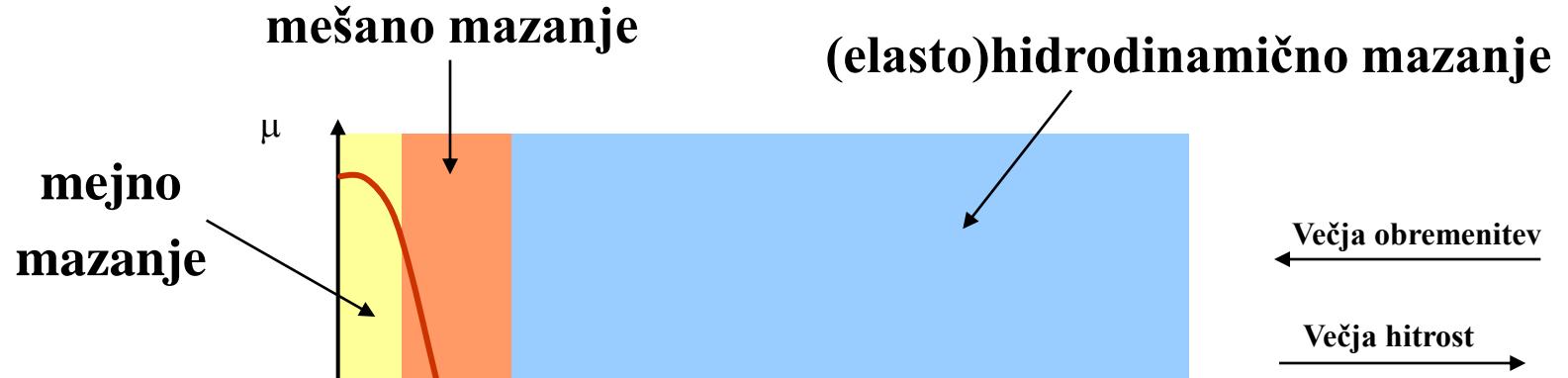
**Tribologija je torej več kot samo
”mazanje in trenje”, saj je**

.. to pa z izjemnimi finančnimi posledicami!

**poškodbami,
primernim vzdrževanjem...**

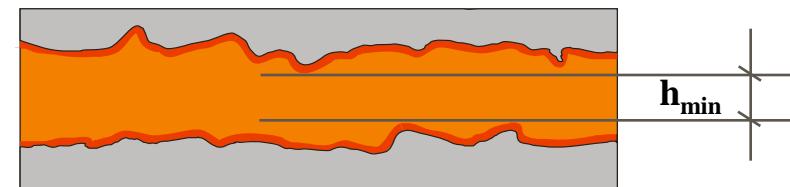


Režimi (“kvaliteta”) mazanja



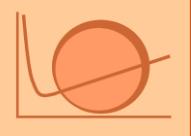
Mejni film

(adsorbitano mazivo, reakcijska plast aditiva...)-KEM



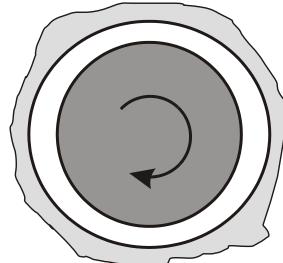
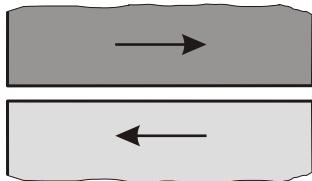
Popolni film

(maziva)-FI

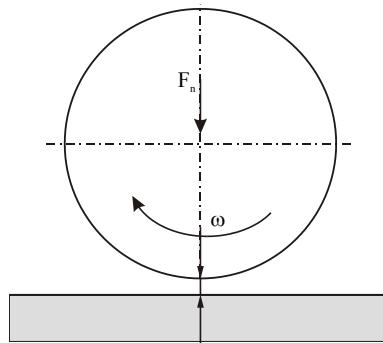


CTD

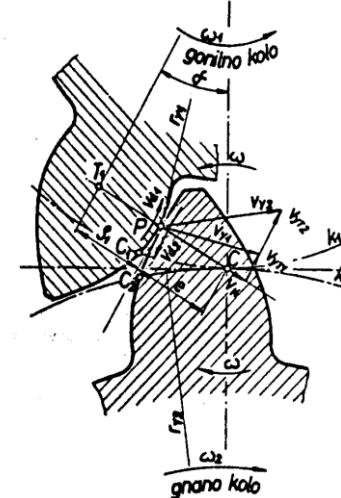
Popolni mazalni film: (E)HD



Prilegajoči-se kontakti



Ne-prilegajoči-se kontakti
(koncentrirane obremenitve)

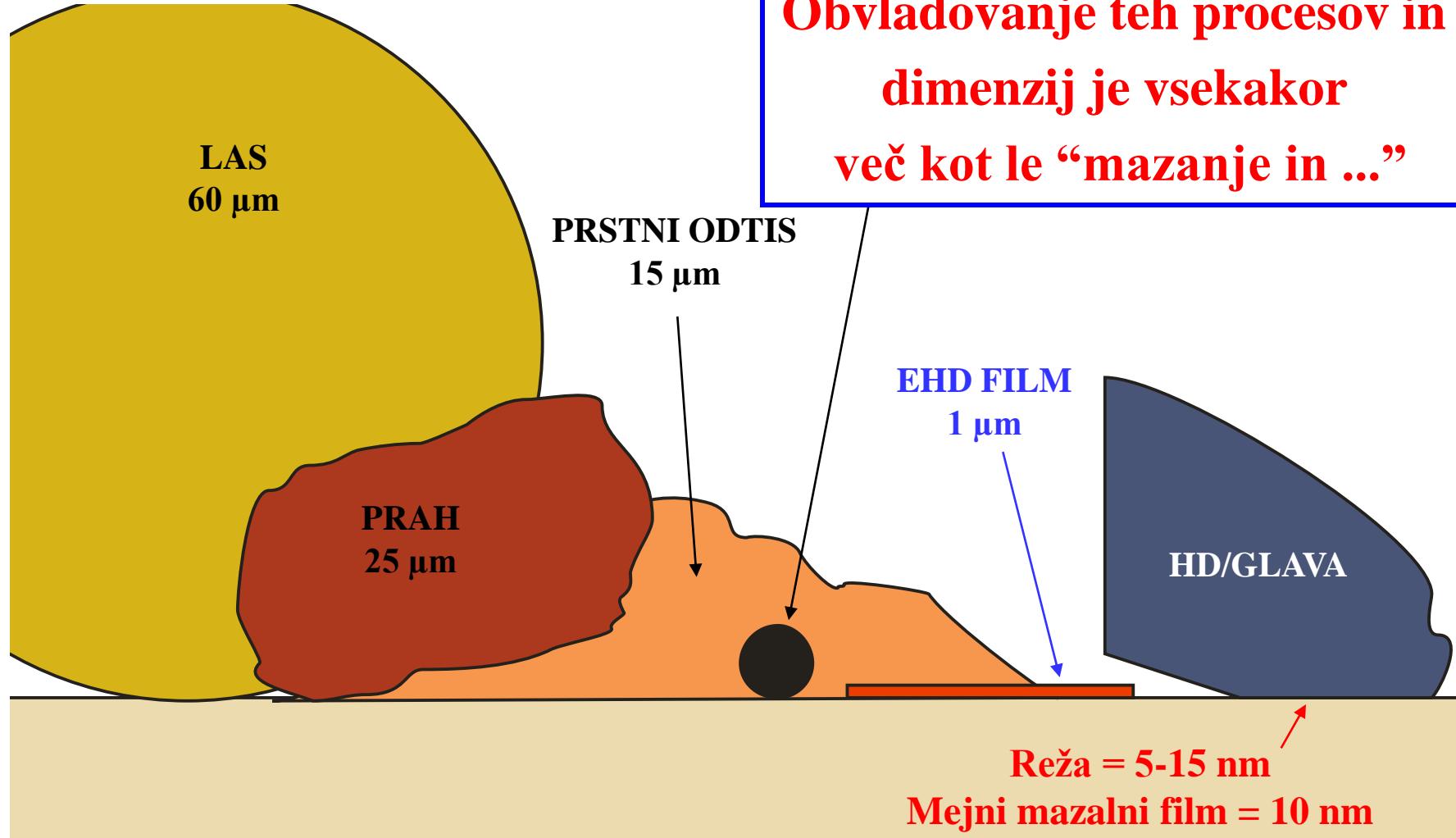


Koliko je filma?



CTD

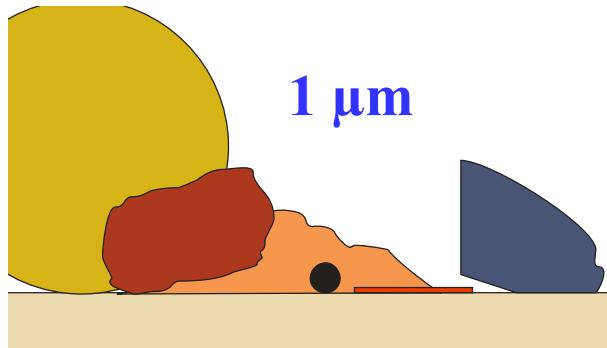
Debelina filma .. ?



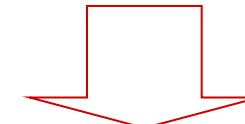


CTD

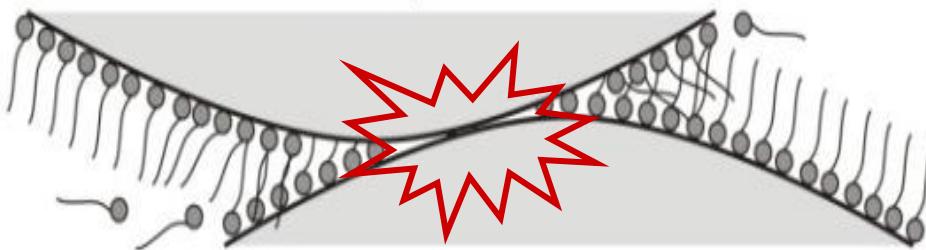
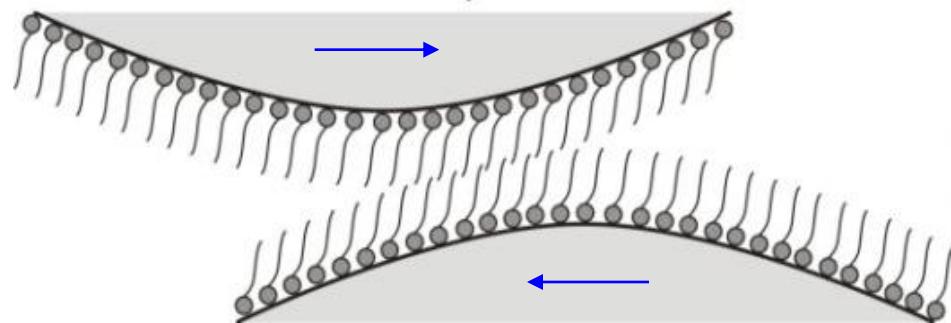
“Idealno” mazanje EHD kontaktov



Vse, kar **ni** idalno je:
..”od mikro navzdol”...



Mešano in mejno mazanje



Porušitev filma:
adhezija, trenje, obraba..

**Trden, nizko-strižni
mazalni film**



CTD

Tribološki kontakti

Vsa moč strojev in naprav
se prenaša preko nosilnih mikro-kontaktov!

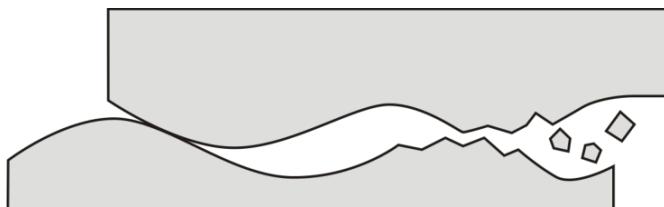
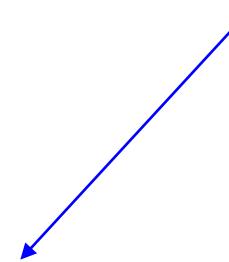
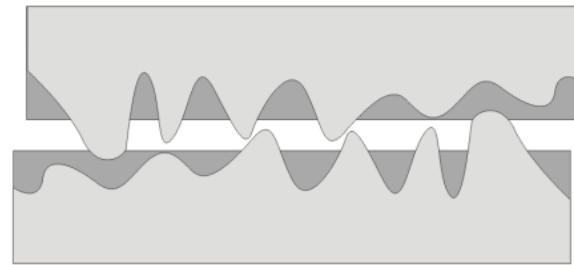
Z vsakodnevnim povečevanjem "zahtev" za stroje in naprave
so kontakti vse bolj obremenjeni
in vse več jih deluje
v področju mešanega in mejnega mazanja!



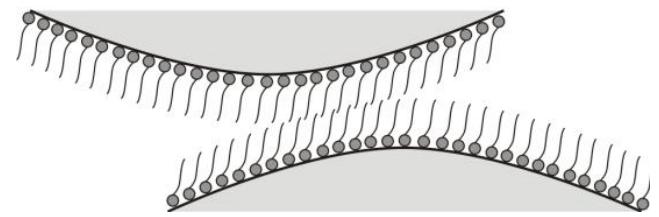
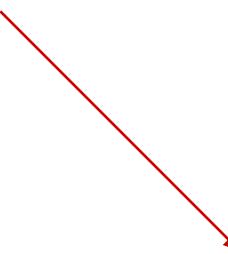
CTD

Kako vplivati na kritične kontakte ?

(od katerih zavisi delovanje "high-tech" produktov)



Materiali, prevleke, trdni tribo-filmi ..



Olja, aditivi, oljni filmi..



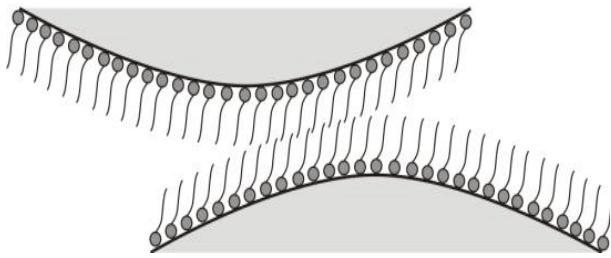
Poznati in obvladovati površine ..



- **Inženiring površin :**
 - osnovni material
 - prevleke
 - kemo-termična obdelava
- **Mehanske lastnosti:**
 - elastičnost, togost
 - trdota
 - notranje napetosti
 - topografija, hrapavost
- **Kemijske lastnosti (površin, osnove):**
 - kemijska zgradba
 - vezi
 - mikro-struktura
 - oksidi, adsorbati,..



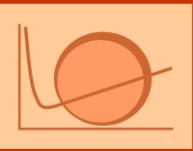
Poznati in obvladovati maziva ..



- **Fizikalne lastnosti:**
 - viskoznost
 - koeficient temperatura-viskoznost
 - koeficient tlak-viskoznost
 - strižno razmerje
 - reološke
 - termične

- **Kemikske lastnosti:**
 - sestava
 - molekulska zgradba, razvejanost..
 - polarnost
 - nasičenost
 - reaktivnost

- **Aditivi:**
 - spremenijo vse!
 - kemija, sinergistične last., reakcije (tekoč., površ.)..



Poznati in obvladati kontakte v Meš.&Mej.

Združiti znanje o površinah in mazivih ter jih povezati s kontaktnimi pogoji...

Materiali, maziva:

- ### Osnova površine

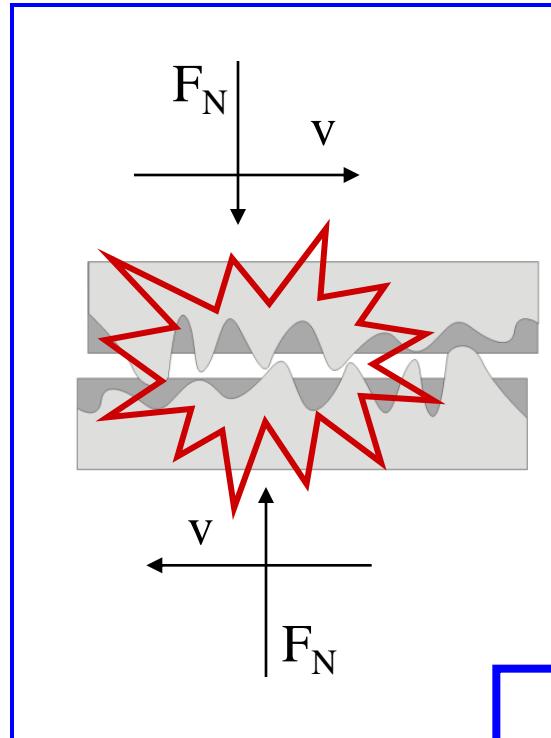
Fizika mejnih filmov in površin

Površinska kemija, kemija

Analitska orodja in tehnike

Trik
las

- Tr
 - O
 - Obrabni delci
 - Mehanika kontaktov
 - Režimi mazanja
 - Toplota in temperature



Okolica:

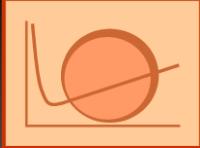
- Mazivo, suho, voda

Potrebno
RAZUMETI
“*in-situ*” nastanek
mejnih filmov
in
tribokemijske reakcije
med
mazivi, aditivi,
površinami in okolico

S1

Učinkovitost, trenje/E

Obraba, trajnost



CTD

Poznati in obvladati kontakte v Meš.&Mej.

Združiti znanje o površinah in mazivih ter jih povezati s kontaktnimi pogoji...

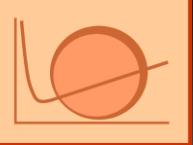
Za dosego tega cilja
pa moramo preko “klasične tribologije” in
makro razumevanja trenja, mazanja in obrabe ..
do
nanotribologije in nanotehnologij !



Nanotehnologije

Nanotehnologije obsegajo danes že veliko področij:

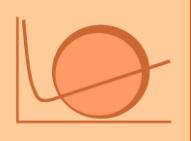
- Aktuatorji in senzorji
- Energija (shranjevanje energije, baterije, nanogeneratorji, gorivne celice..)
- Instrumenti (AFM, SFA, holografija, ... natančnost..)
- Proizvodnja/izdelava (LIGA, litografija, strukturiranje, samo-urejevanje ..)
- Materiali (funkcionalizacija, strukturiranje, kameleon/pametni mat, kompoziti, ..)
- **Nanotribologija/nanomehanika** (kontakti, površine, interakcije, meh. lastnosti...)
- Medicina
- MEMS, NEMS ("Micro/Nano Electro Mechanical Systems)
- Nano biotehnologija (sistemi za razvode, senzorji...)
- Nanoelektornika (čipi, HD, LCD, ..)
- Optika
- Simulacije in modeliranje



CTD

Nanotribologija

**Neslutene priložnosti in možnosti -
“a tla znajo biti (na začetku) spolzka”!**



Nanotribologija

● Nano(strukturni) materiali

Velikost zrn (prahov) je **nm (< 100 nm)**:

- Ni makro-defektov
- Drugačne mehanske lastnosti
- Veliko več je mej med zrni, ...
- Površinske sile so precej bolj pomembne kot pri "makro" materialih
- Drugačne površinske lastnosti
- Drugačne fizikalno-kemijske značilnosti
- Drugačne **TRIBOLOŠKE** lastnosti

- nanožičke
- nanocevke
(ogljikove, MoS₂, ...)

**NOVI, BOLJŠI MATERIALI
ZA TRIBOLOŠKE APLIKACIJE!**

**Kakšne so tribološke lastnosti ?
Mehanske lastnosti ? Vplivni faktorji ?
(kako merimo?)**

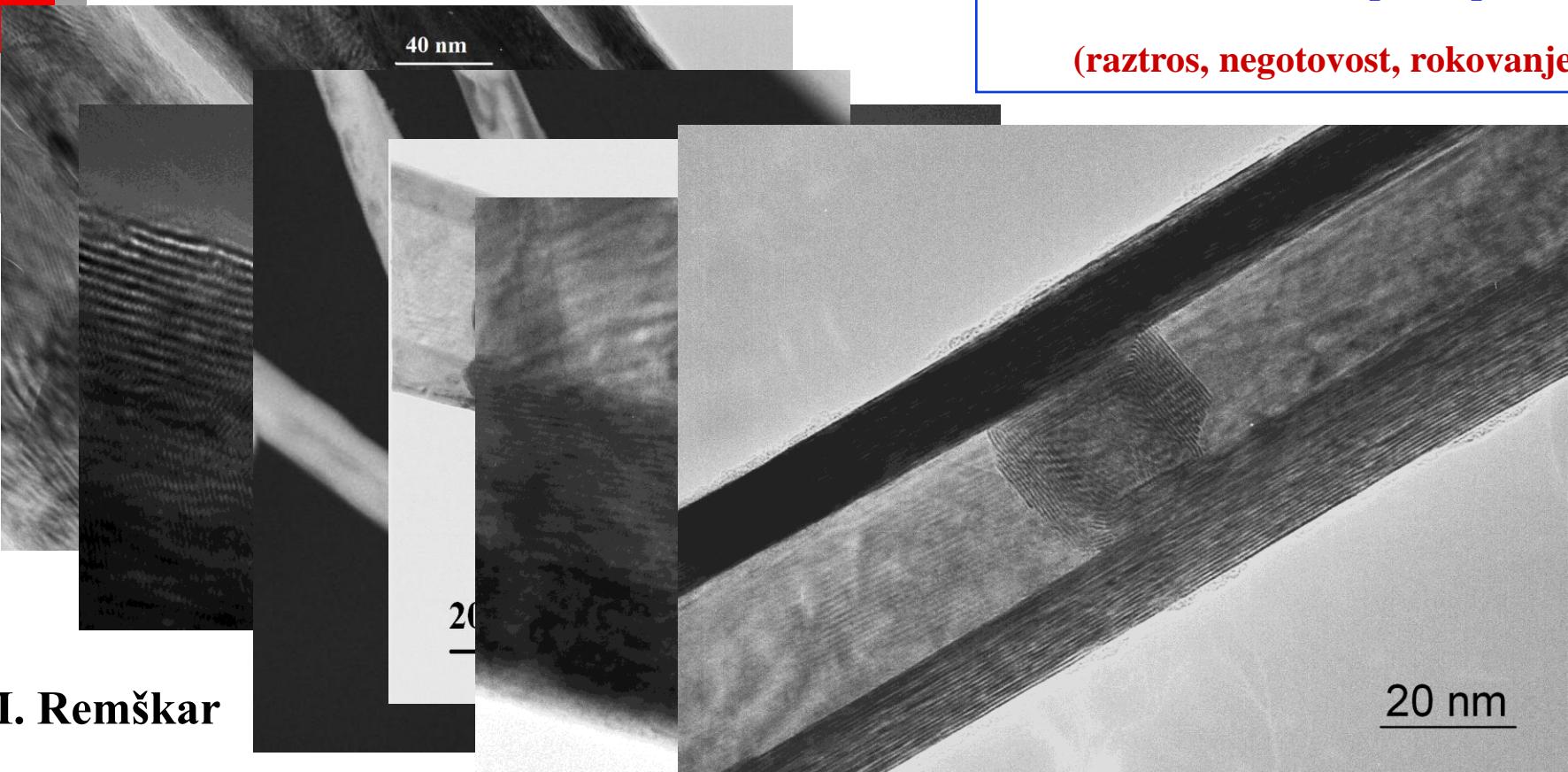


CTD

Nanotribologija

- nanožičke
- nanocevke
- fulereni

Nanodelci



NOVE APLIKACIJE:

Kakšne so tribološke lastnosti ?
Mehanske lastnosti ? Vplivni parametri ?

(raztros, negotovost, rokovanie)

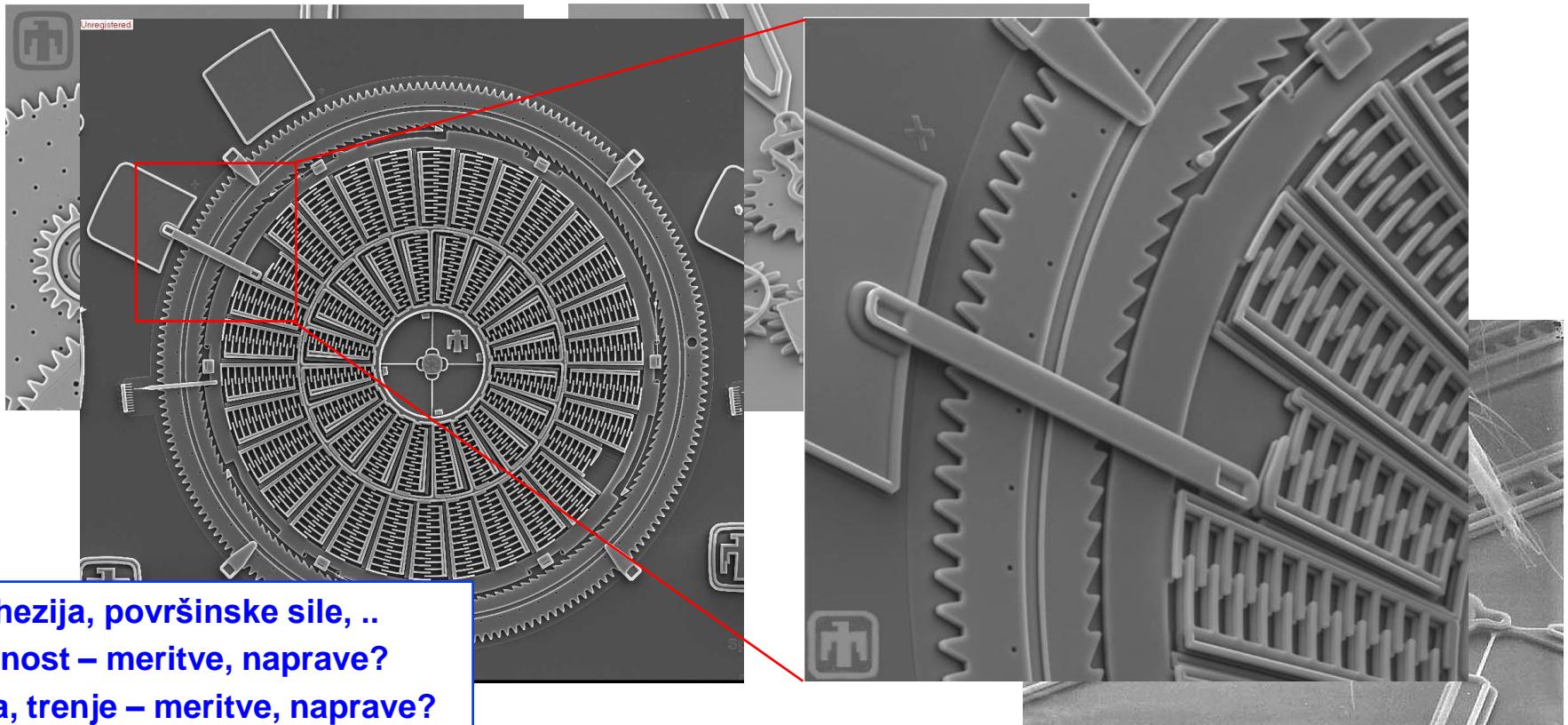


CTD

Nanotribologija

● Mikro/nano naprave (MEMS, NEMS..)

Micro/Nano Electro Mechanical Systems



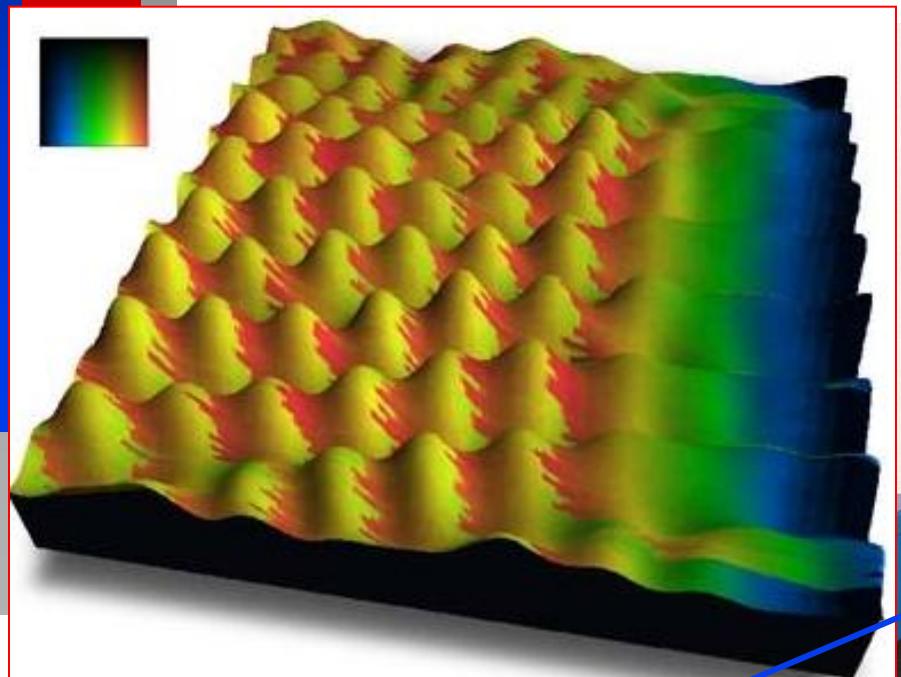
- Adhezija, površinske sile, ..
- Trajnost – meritve, naprave?
- Obraba, trenje – meritve, naprave?
- Korelacija z dejanskim delovanjem?



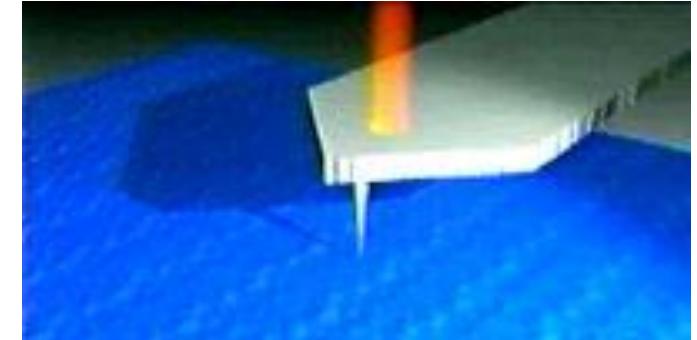
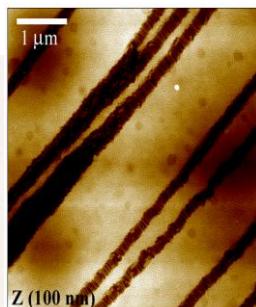
CTD

Nanotribologija

- Analitske tehnike (AFM, SFA, ...)



2,5 x 2,5 nm
Izbokline so atomi orientiranega ogljika
Barva predstavlja tang. silo (trenje)



- 100x100 μm scan size X-Y (res. 0,1 nm)
- 7,5 μm vertical Z-range (res: 0.007 nm)

Resolucija, natančnost, “videti”..

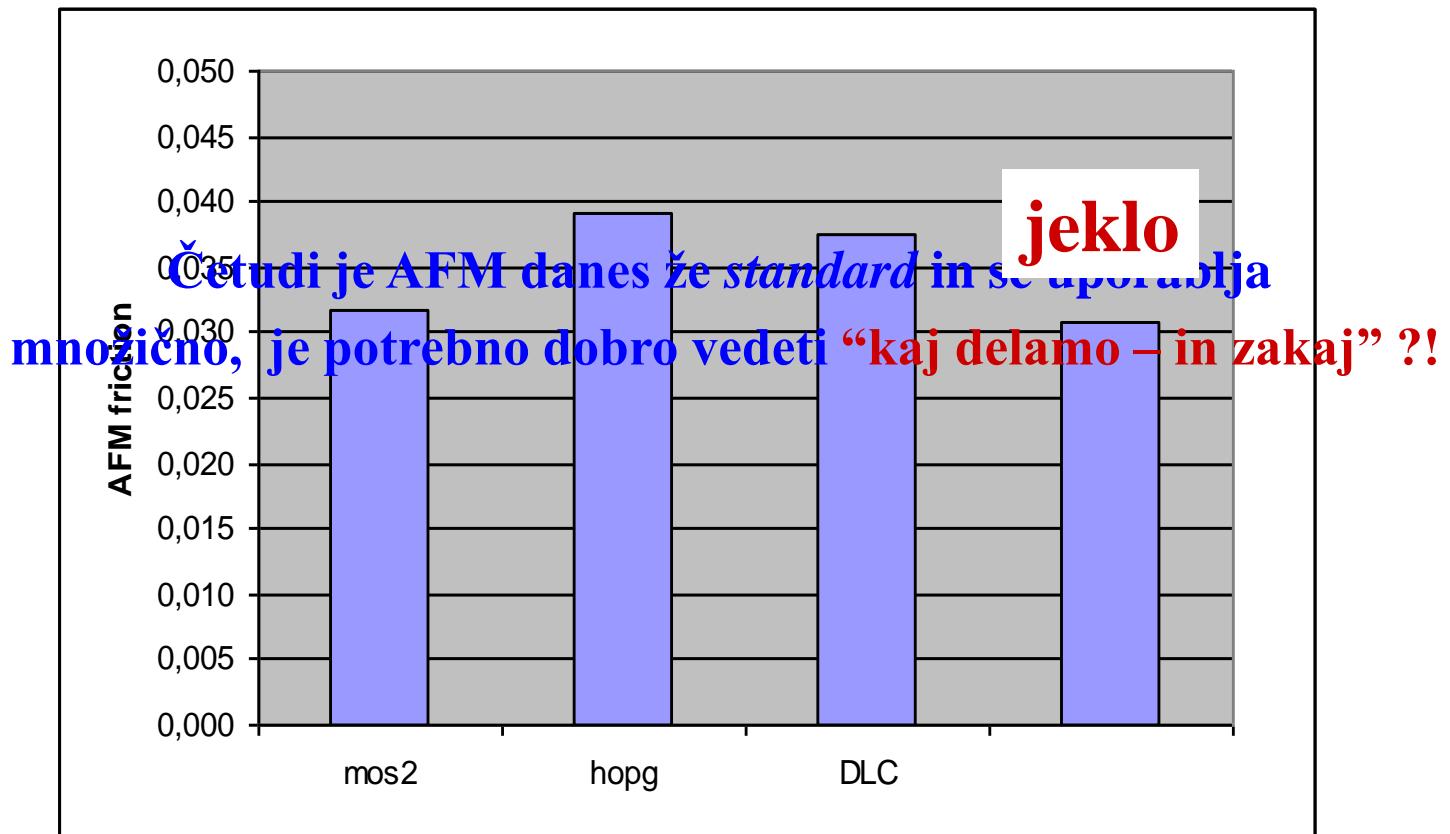
Kalibracija!! “Obraba, napake”!!
Upravljanje, rokovanje... !!



CTD

Nanotribologija

- Analitske tehnike (AFM, SFA, ...)



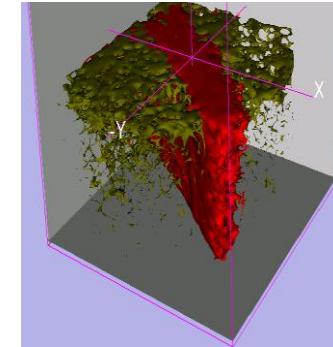


CTD

Nanotribologija

Analitične metode za **kemijo površin**:

AES, XPS, TOFF-SIMS: **0,5 nm**

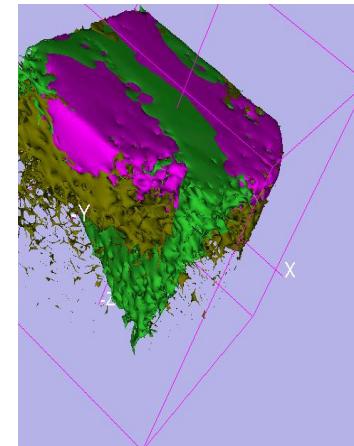


Analitične metode za **topografijo in morfologijo**:

AFM, SFA: **0,01-0,03 nm**

Tipala/konice (stylus-tip): **0,5 nm**

TEM: << / **0,2 nm**



Analitične metode za **kristalografijo in strukturo**:

LEED: **0,4 nm**

**Razpoznavanje kemijskih dogodkov,
Nastanek tribo-filmov, spojin,
kinetike procesov, ...
Triboloških mehanizmov!!!**

Cena, dosegljivost, povezovanje..



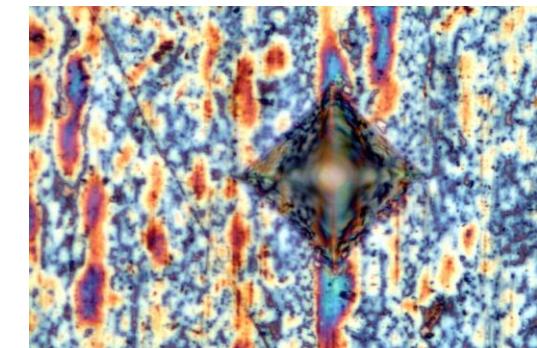
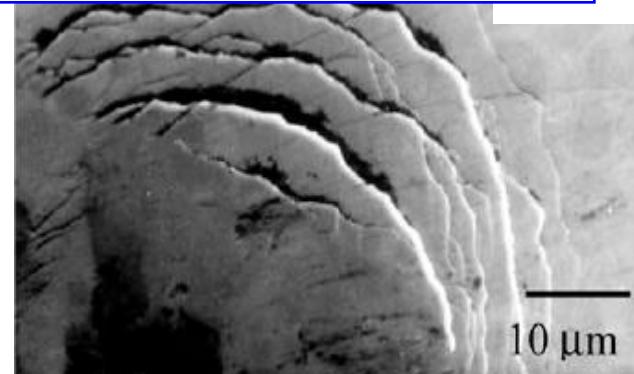
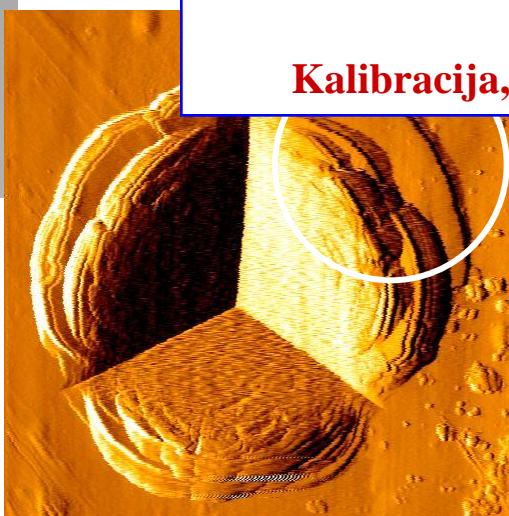
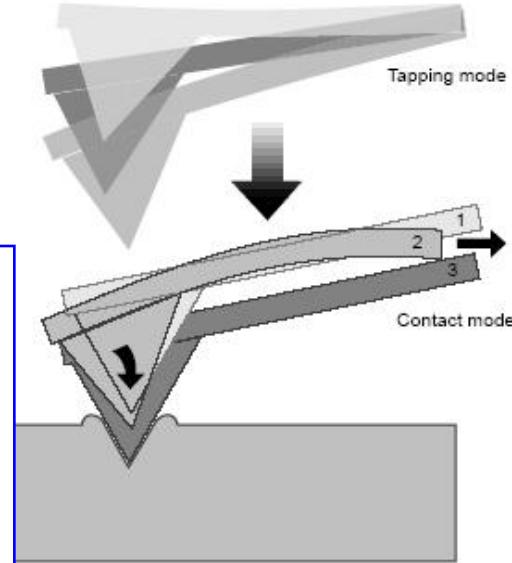
CTD

Nanotribologija

- Nano-mehanika (nanotrdota, nanohrapavost, “adhezija” ...)



Lastnosti kontaktov, znižanje trenja,
optimiranje površin,
lastnosti in delovnaje mejnih filmov!



MoDTC



CTD

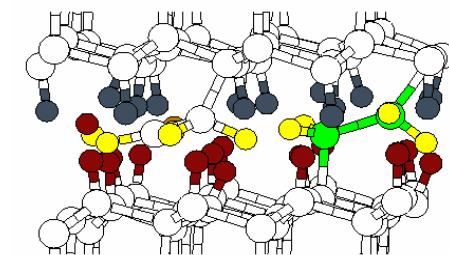
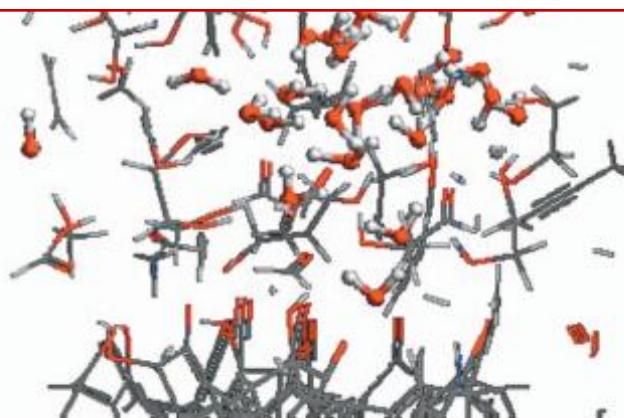
Nanotribologija

- Modeliranje, simulacije (kontinuum-mezo-molek-atom...)

Sila

Neslutene možnosti razumevanja procesov !

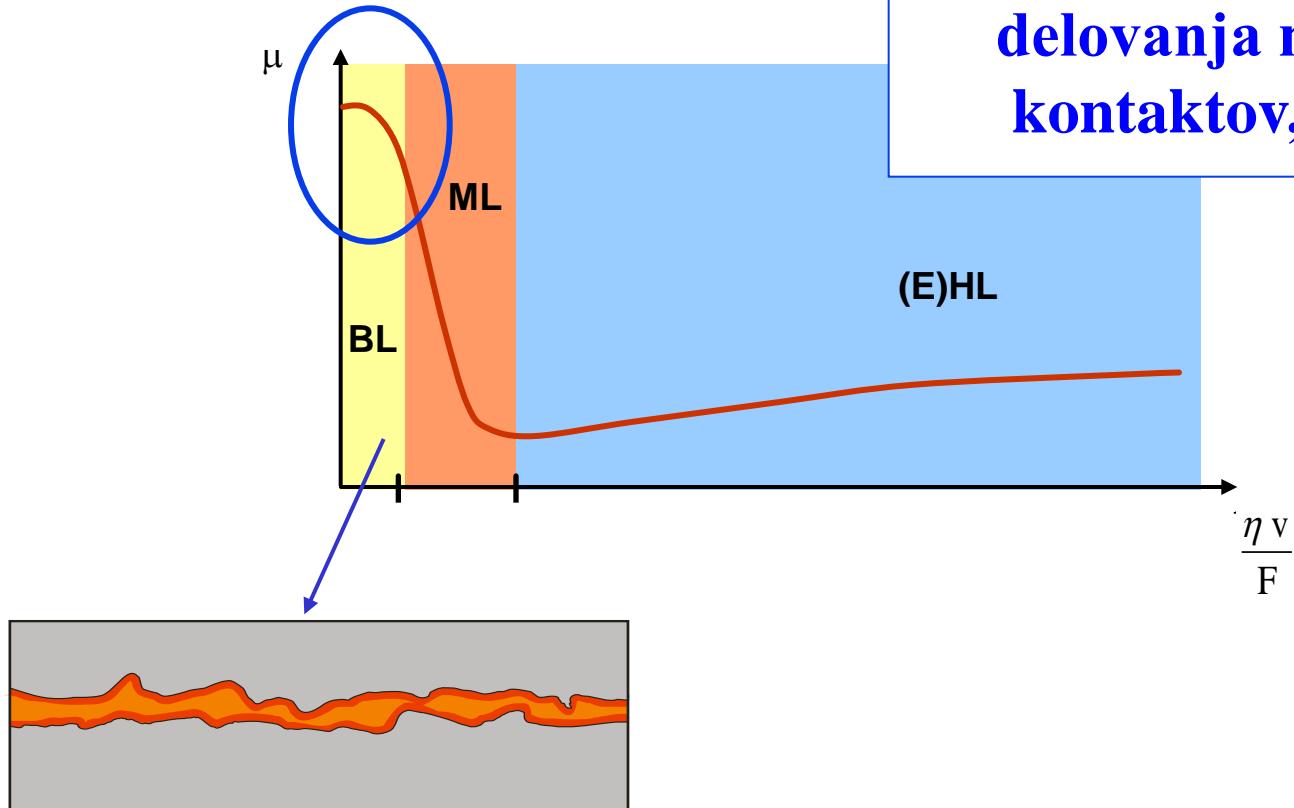
(hitrosti, potenciali,
tribokemijske reakcije in
številni drugi učinki zanemarjeni..)





Nanotribologija

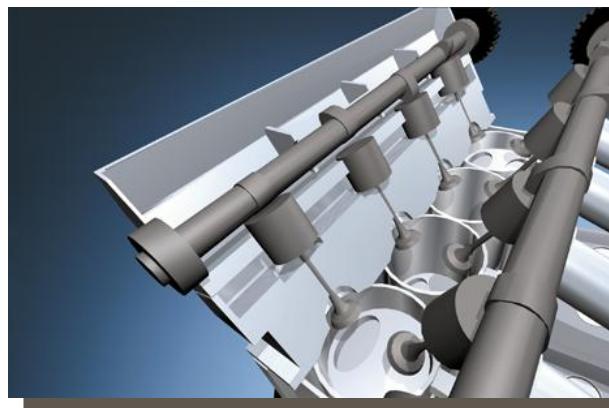
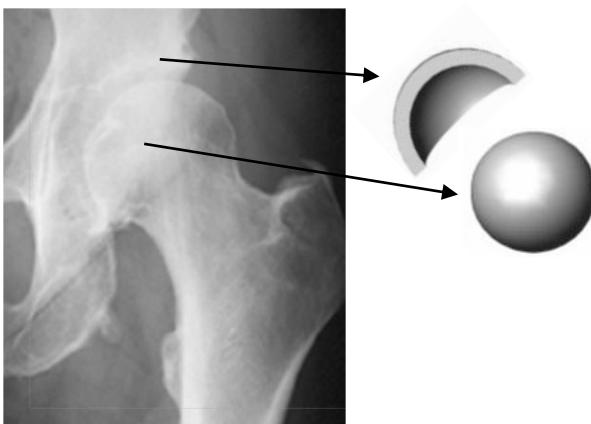
- Mejni površinski filmi in mejno mazanje – additivi





CTD

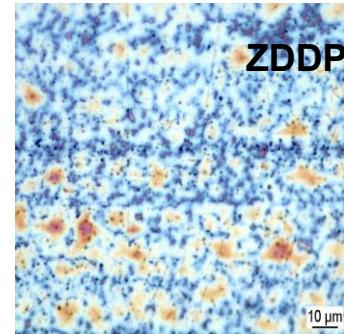
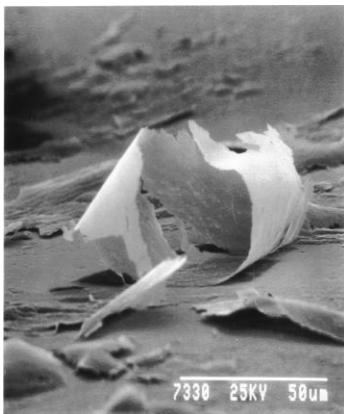
Mejno mazanje in mejni filmi ...



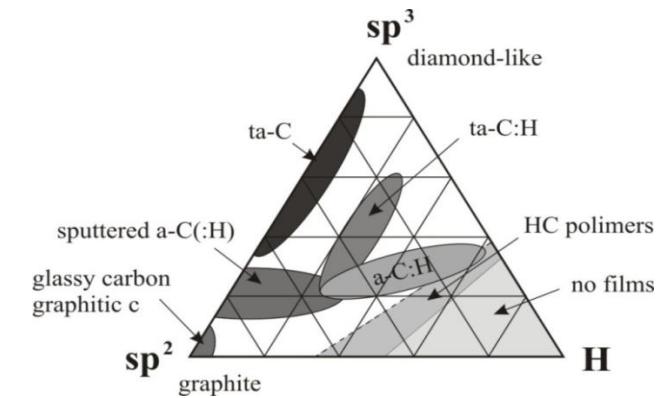
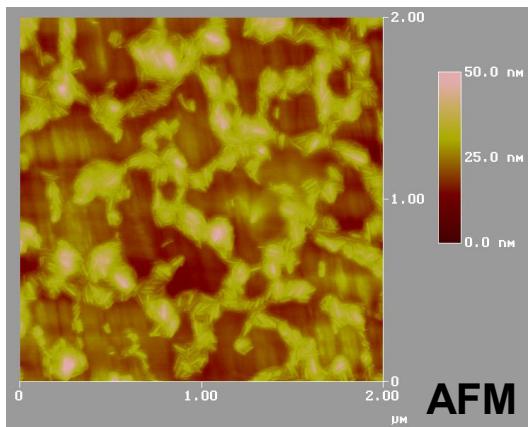
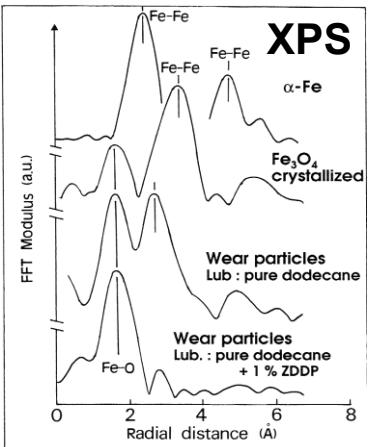


CTD

Nanotribologija in Nanotehnologije

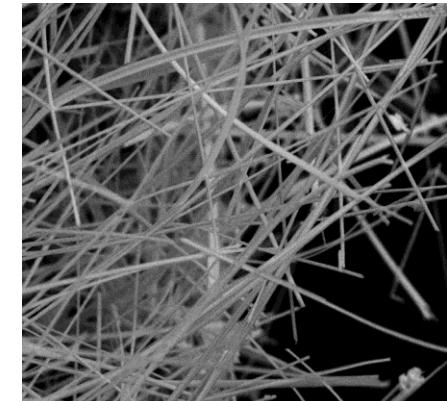


Tribokemijski filmi



Površinske prevleke

Nanodelci



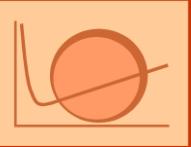


Zaključki

	2007-2009	ARRS J2-9631	<i>Mechanisms and formation of tribological nanolayers during boundary lubrication of DLC coatings</i>
1	2009-2011	EU, Collaborative research	<i>2020 Interface - Nanoscale Tailoring of Tribological Interfaces for Clean and Energy-Efficient Diesel and Gasoline Power Trains (Volvo, Lubrizol, SKF,..)</i>
2	2009-2012	EU, Marie Curie	<i>Minilubes - Mechanisms of interactions in nano-scale of novel ionic lubricants with functional surfaces</i>
3	2009-2011	ARRS	<i>Nanoparticles as additives in lubricants and low-friction materials</i>
4	2009-2012	ARRS (IJS)	<i>Hybrid nanomaterials for self-lubricating composites for energy transformation</i>
	2010 V prijavi	EU, Marie Curie	<i>Engineering Tribiochemistry and Interfaces with a Focus on the Internal Combustion Engine (Mercedes, Total, SKF,..)</i>

- Trenutno v naši skupini delujemo na 2 ARRS in 2 EU projektih neposredno na nanotriboloških raziskavah

- Na Fakulteti za strojništvo UL v naslednjem št. letu začnemo z novim (boljško prenovljenim) predmetom: **Nanotehnologije**



CTD

Izr. prof. dr. Mitjan Kalin

Prodekan za znanstveno raziskovalno delo

Fakulteta za strojništvo, UL

Aškerčeva 6, Ljubljana

mitjan.kalin@ctd.uni-lj.si