

SNIŽOVÁNÍ TŘENÍ POMOCÍ MAZIV S NANOČÁSTICEMI

Lukáš Daněk, Ing.

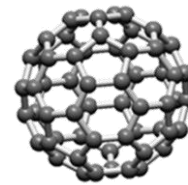
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ
Fakulta strojního inženýrství
VUT v Brně

Brno, 13.1. 2026

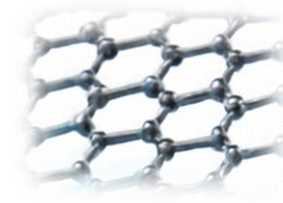


STRUKTURA

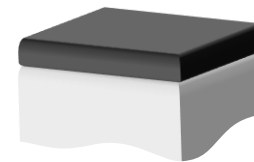
- Úvod
- Motivace
- Současný stav poznání
- Cíle disertační práce
- Vědecké otázky a pracovní hypotézy
- Způsob řešení a použité metody
- Aktuální stav řešení
- Závěr



MoS₂



h-BN



Povlak

ÚVOD

SUPERLUBRICITA

Režim pohybu s téměř „nulovým třením,, (definovaný jako součinitel tření pod 0,01)

- Výrazné snížení energetické náročnosti
- Prodloužení životnosti komponent

CÍLE UDRŽITELNÉHO ROZVOJE

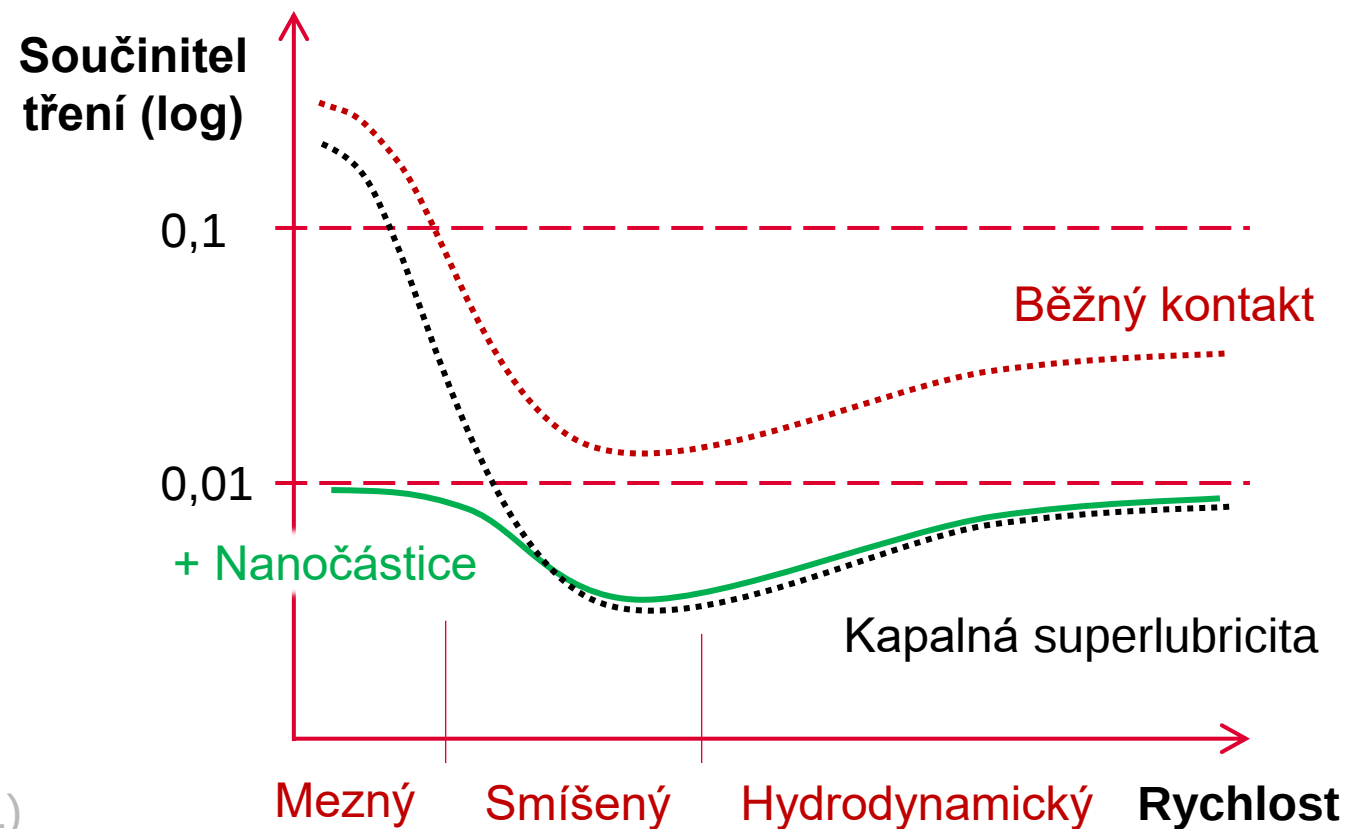
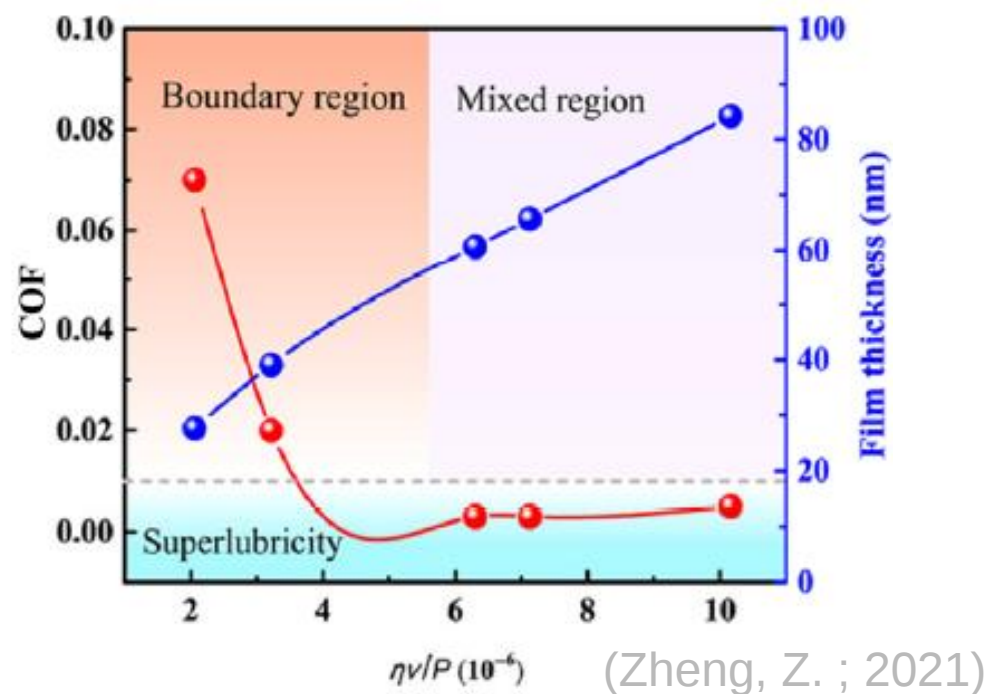
- ↓ Tření = **20 %** energie ↓
(8–9 % globálního HDP)
- ↓ Opotřebení → výroba nových komponent ↓
(3 % globální energetické spotřeby)



MOTIVACE

KAPALNÁ SUPERLUBRICITA

Nízká viskozita + nízká drsnost

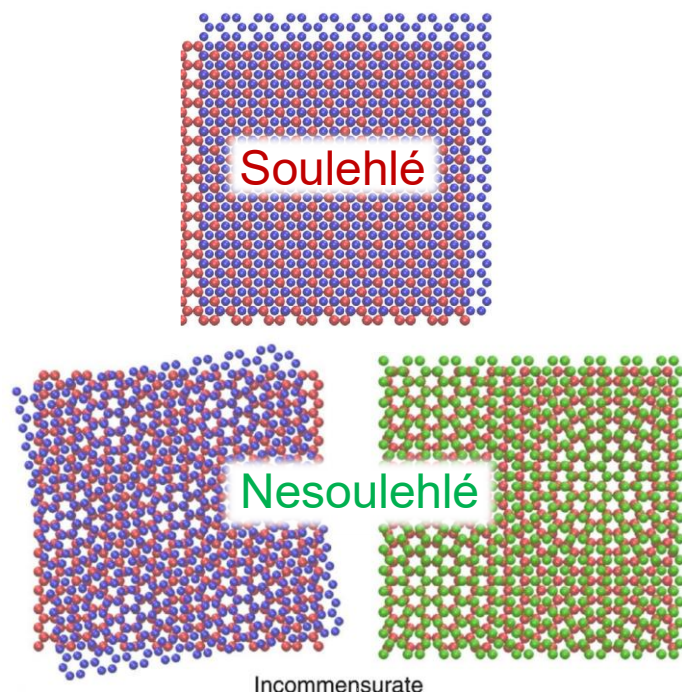


SNÍŽOVÁNÍ TŘENÍ POMOCÍ MAZIV S NANOČÁSTICEMI

SHRnutí SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

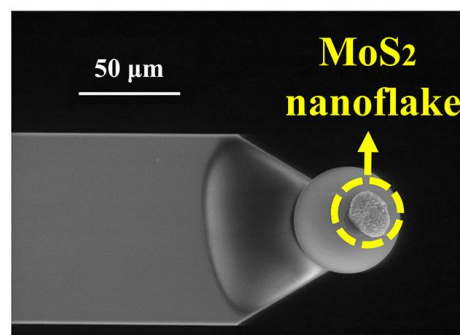
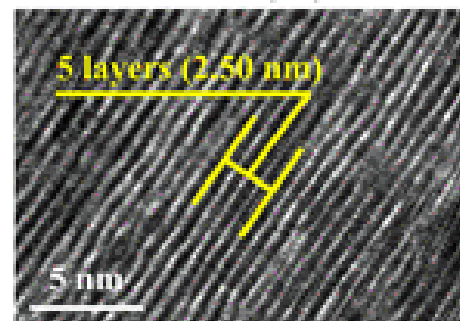
SUPERLUBRICITA: NANOČÁSTICE

Princip vzniku **pevné** superlubricity



(Ramezani, M.; 2023)

Přenositelnost z **nano** do **makro** úrovně



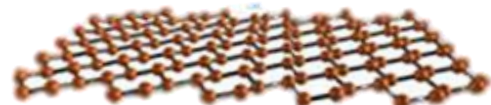
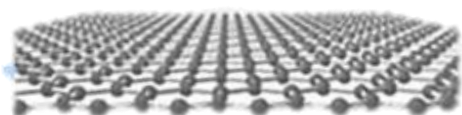
(Li J.; 2024)

SHRNUTÍ SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

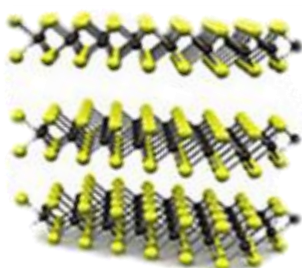
SUPERLUBRICITA: NANOČÁSTICE

Vliv: **Mechanické vlastnosti, chemické složení**

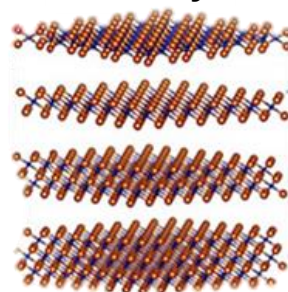
Samostatné prvky



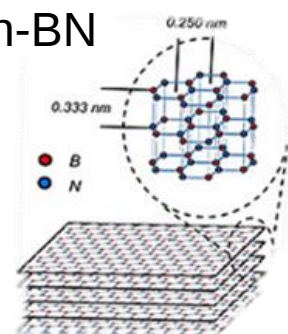
TMDs (MoS_2)



MXeny

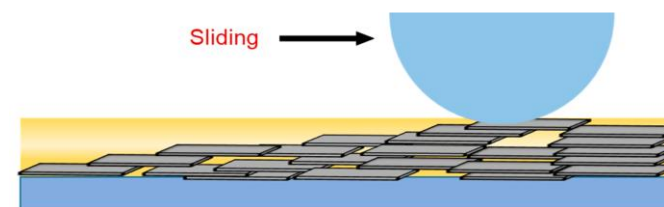
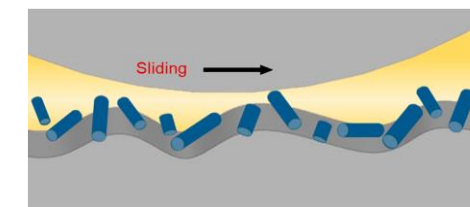
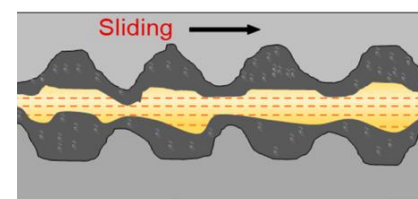
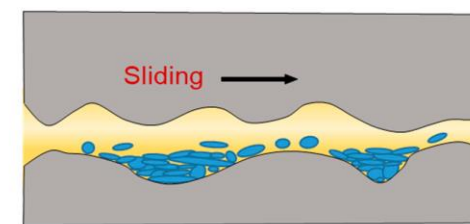
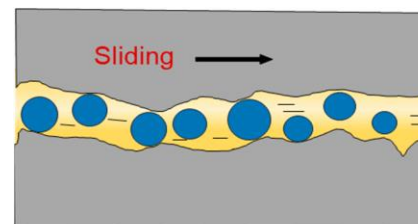


h-BN

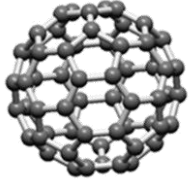


(Wang R.; 2023)

Vliv: **Velikost, tvar, morfologie**

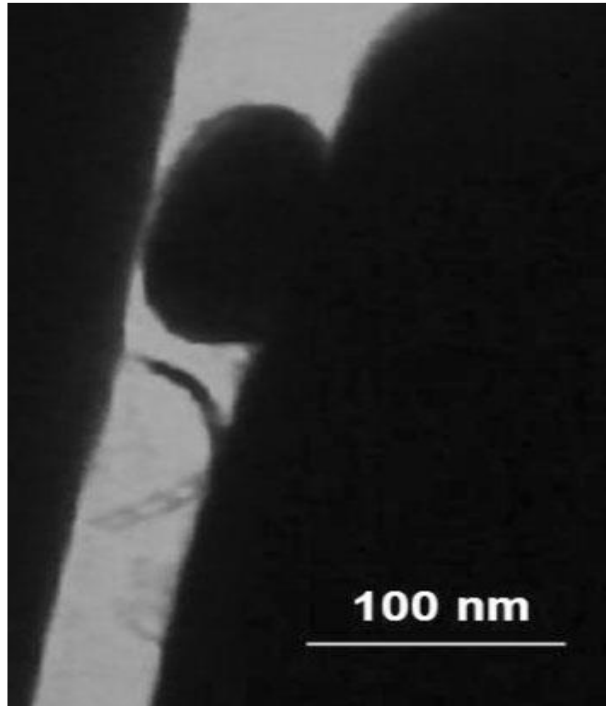


ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

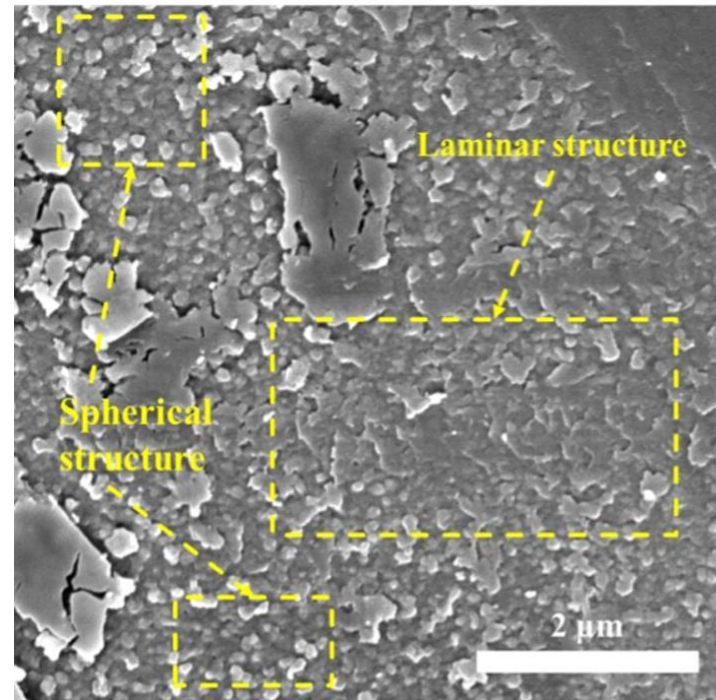


MoS₂ NANOČÁSTICE

Odvalování, exfoliace, tribofilm, růst tloušťky filmu

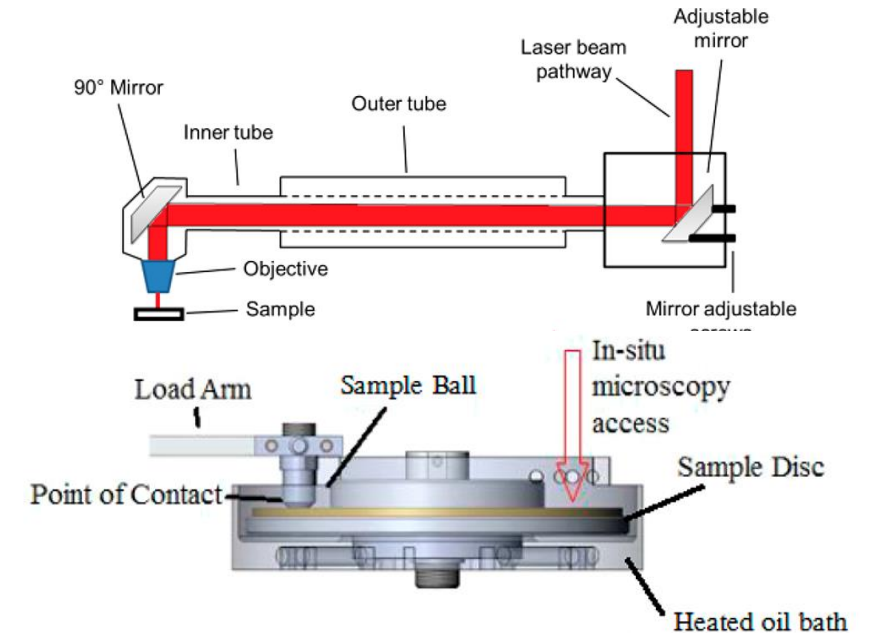


(Lahouij, I.; 2011)



(Dong, Y.; 2025)

Ramanova spektroskopie



(Xu, D.; 2018)

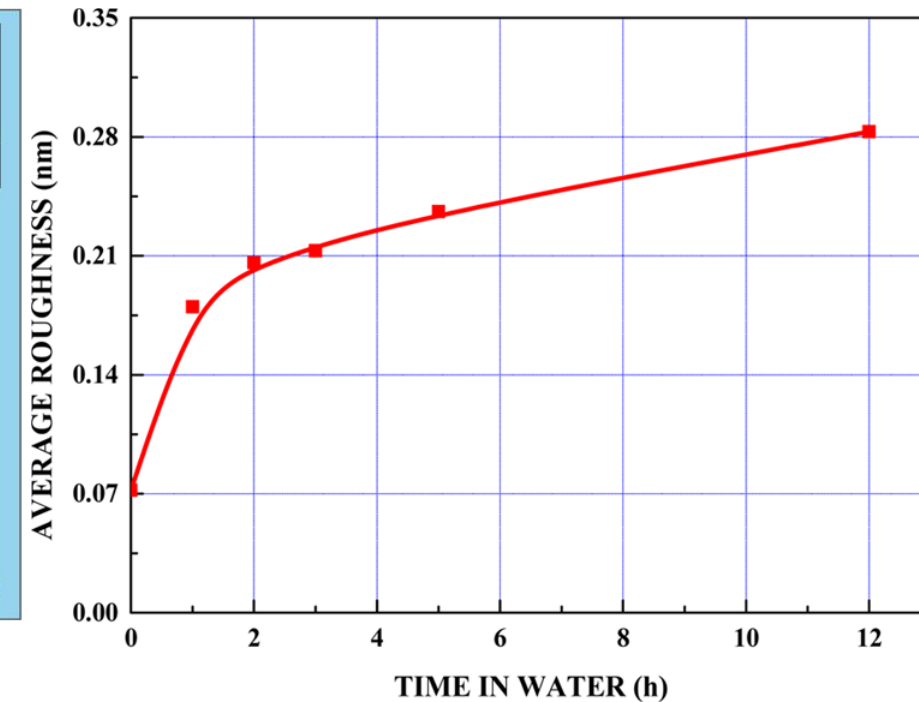
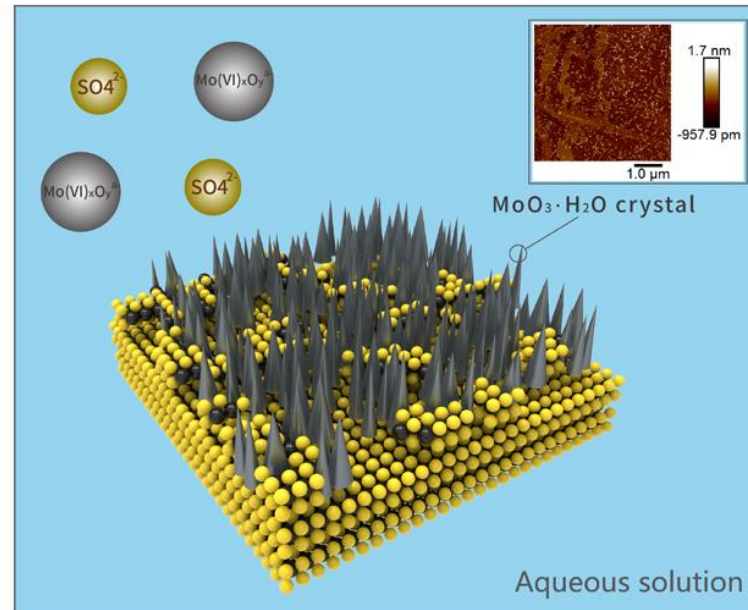
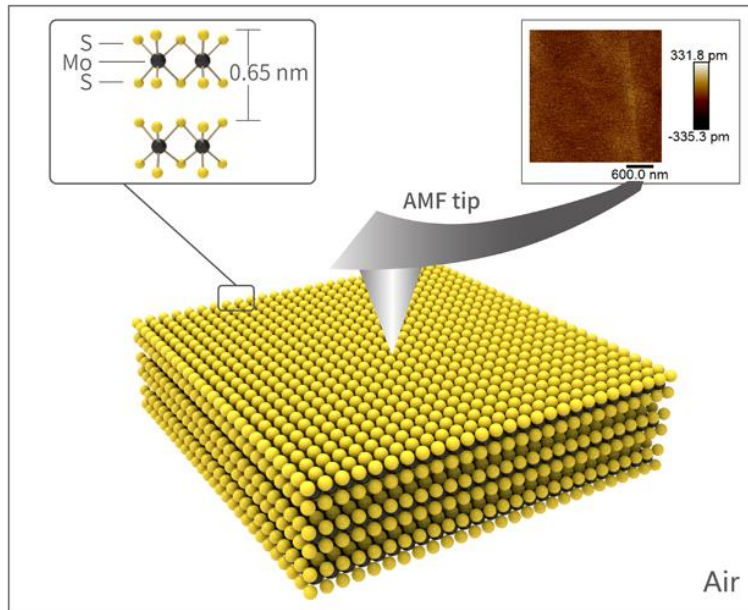
ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ



OXIDACE MoS₂

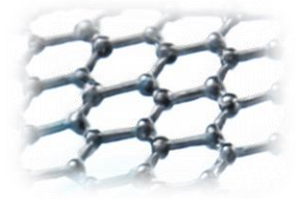
Rekrystalizace vlivem oxidace, **zvýšení drsnosti**

Změna součinitele tření => 0,06



(Zhang, X.; 2024)

ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ



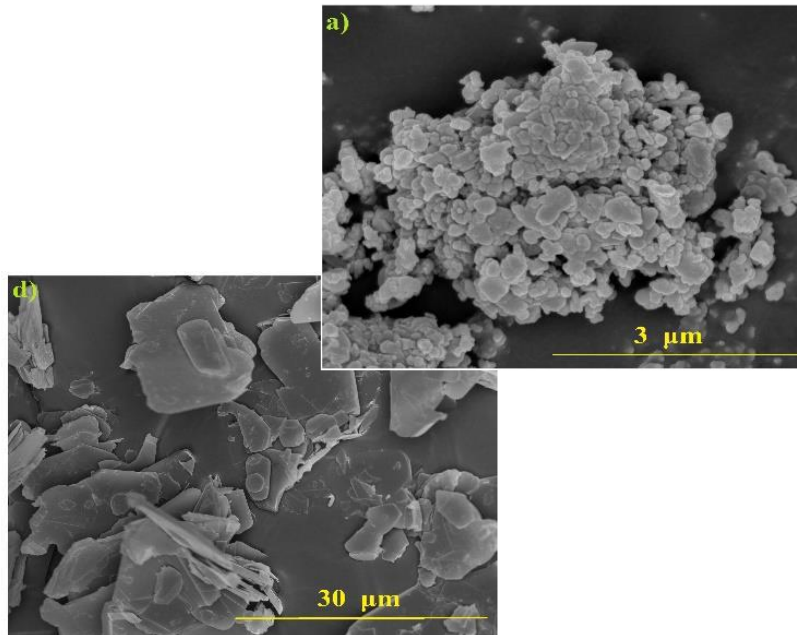
2D h-BN NANOČÁSTICE

Ekologický materiál, pro ekologická polární maziva

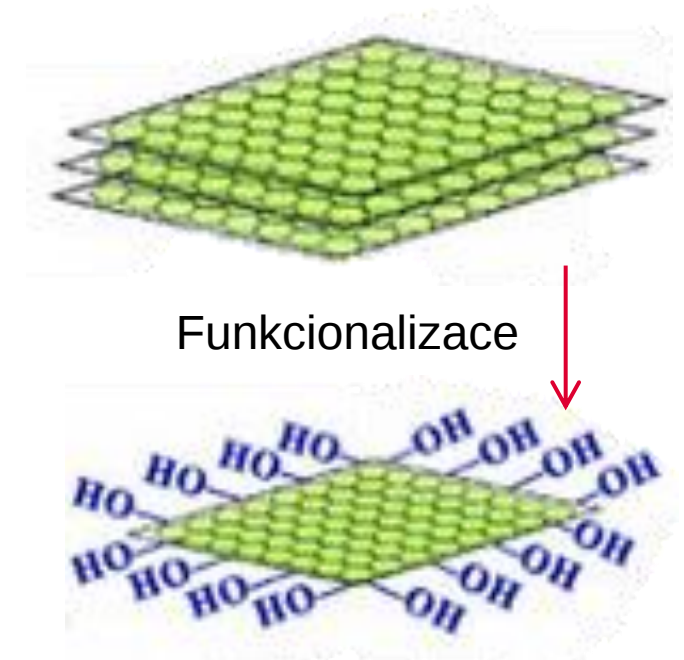
Sedimentace



(Liu, R.; 2023)



(Senyk, S.; 2023)

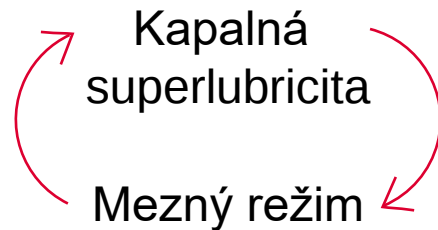


(Angizi, S.; 2020)

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

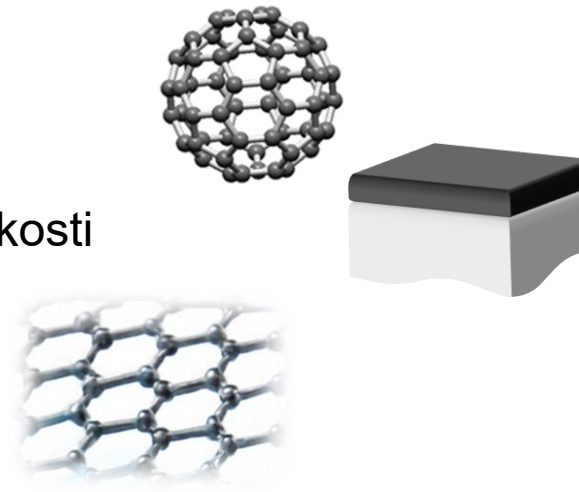
HLAVNÍ CÍL

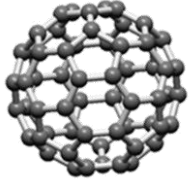
Hlavní cílem je objasnit roli nanočástic v mezném režimu mazání na stabilitu a udržitelnost kapalinové superlubricity nekonformních makrokontaktů i po působení kritických provozních podmínek.



DÍLČÍ CÍLE

- Ochrana povrchu pomocí tribofilmu MoS_2 nanočástic
 - Stabilita MoS_2 povlaku za působení vzdušné vlhkosti
- Využití h-BN jako pevného maziva (third-bodies)



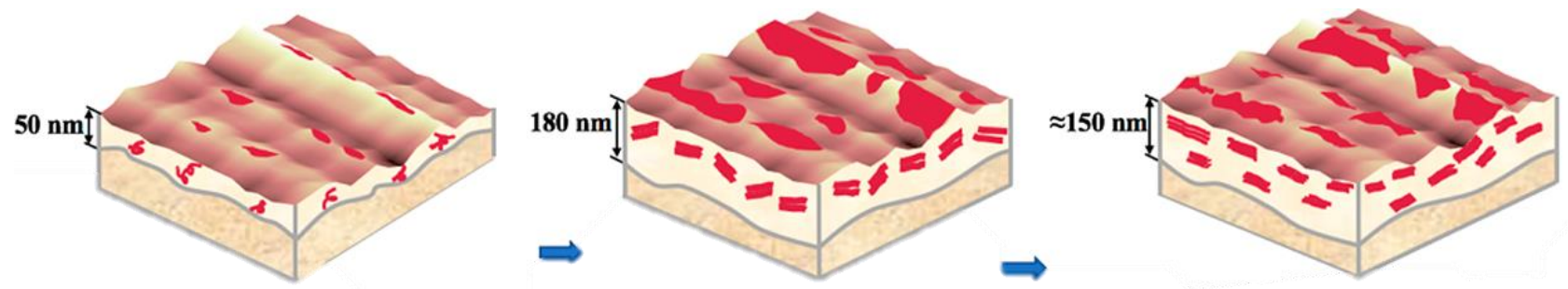


VĚDECKÁ OTÁZKA 1

Jaký je vliv provozního režimu nakonformmního makrokontaktu (mezný, smíšený a elastohydrodynamický) na tvorbu pevné mazací vrstvy ze sférických **MoS₂** nanočástic.

PRACOVNÍ HYPOTÉZY

- Mezný režim: exfoliace nanočástic / tvorba tribofilmu
- Smíšený režim: exfoliace / valení / skluz vrstev
- Elastohydrodynamický režim: pouze změna reologie



(Xu, D.; 2018)

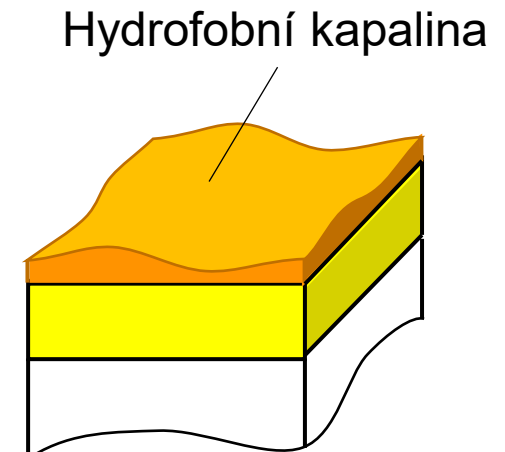
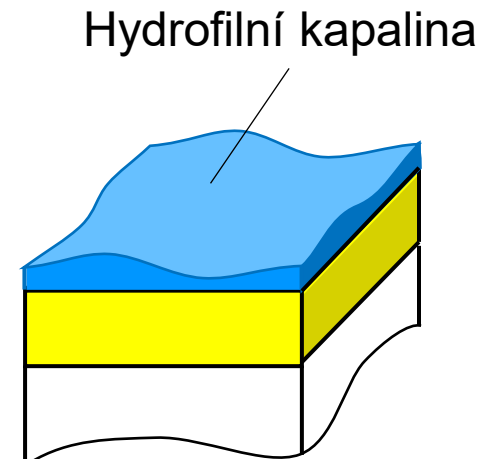
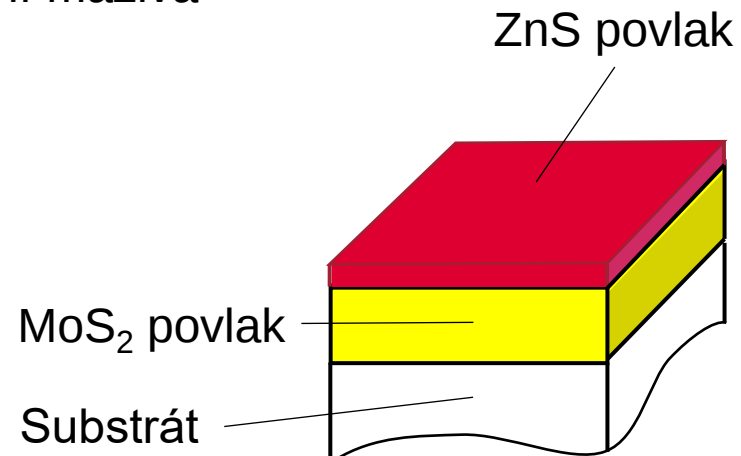


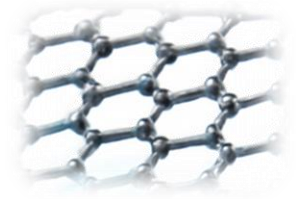
VĚDECKÁ OTÁZKA 2

Jaký vliv mají pevné a kapalné krycí vrstvy na míru povrchové oxidace MoS_2 povlaků a velikost tření a opotřebení?

PRACOVNÍ HYPOTÉZY

- Hydrofilní a hydrofobní maziva
- Krycí vrstva ZnS



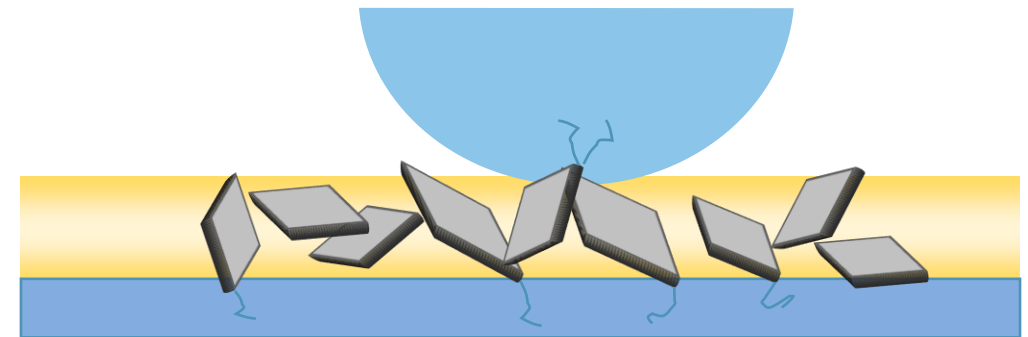
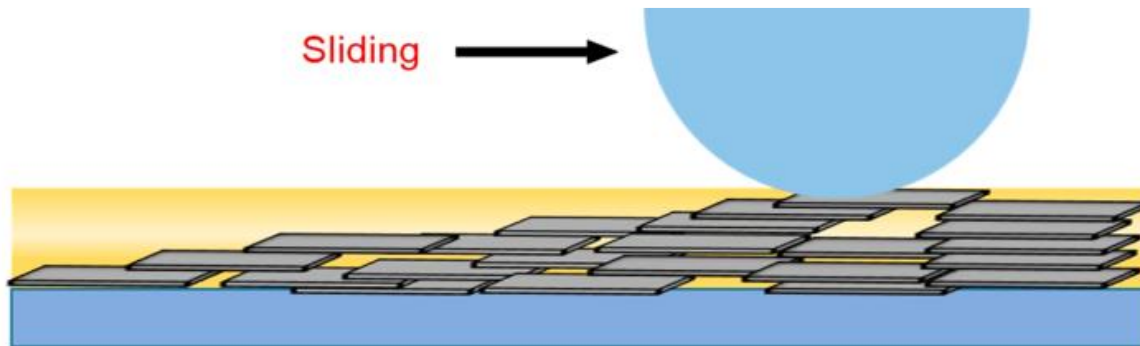


VĚDECKÁ OTÁZKA 3

- Jaký je vliv velikosti nanočástic **h-BN** dispergovaných v polyethylenglykolech na součinitel tření a utváření mazací vrstvy zejména ve smíšeném a mezném režimu mazání u nekomformních kontaktů?

PRACOVNÍ HYPOTÉZY

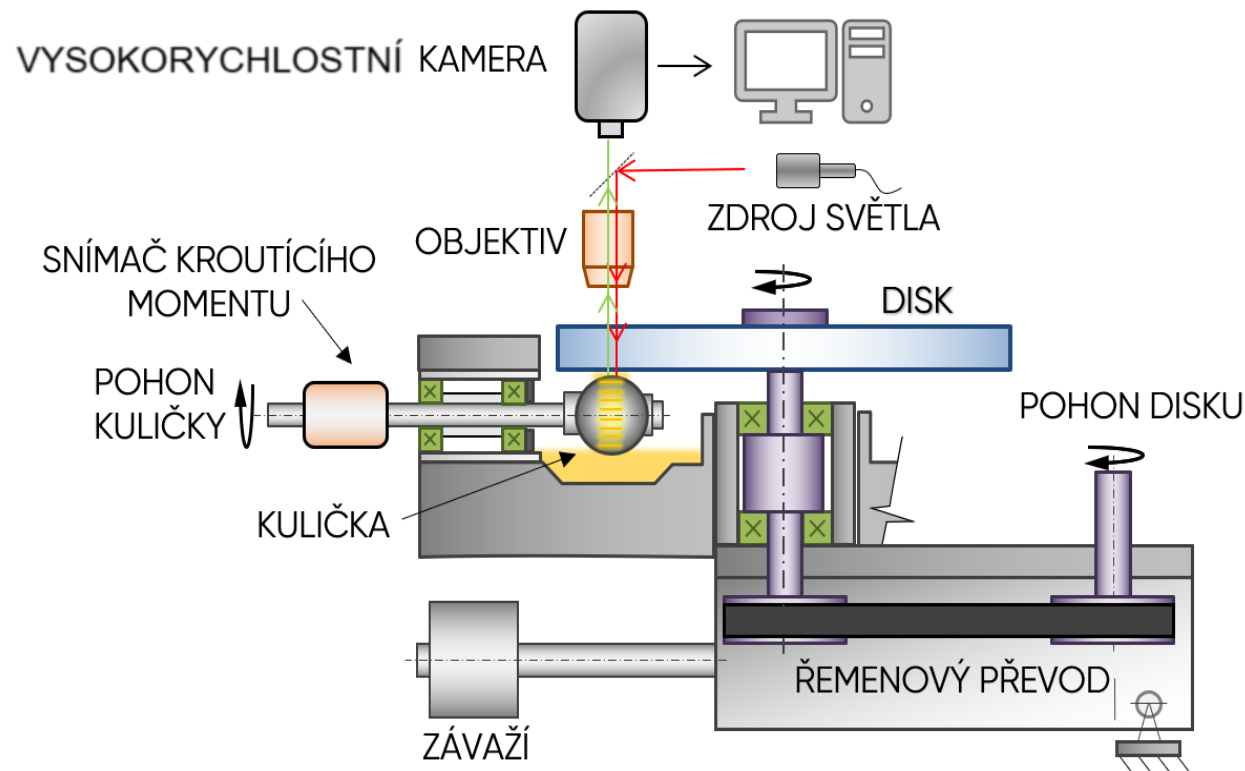
- Smýkání jednotlivých lamel po sobě a rozkládání tlaku
- Abrazivní chování



ZPŮSOB ŘEŠENÍ A POUŽITÉ METODY

Experimentální zařízení a použité technologie

- Optický Tribometr (ball-on-disk), vysokorychlostní kamera a kolorimetrická interferometrie



Obsah není veřejně dostupný

ZPŮSOB ŘEŠENÍ A POUŽITÉ METODY

Experimentální postupy, materiály a vyhodnocení dat



Nanočástice

MoS₂

- 220 nm

Obsah není
veřejně
dostupný

h-BN

- 100 nm
- 500 nm
- 6600 nm

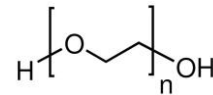
Obsah není
veřejně
dostupný



Kapaliny

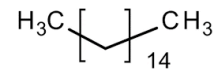
PEG (200-1000)

- Hydrofilní



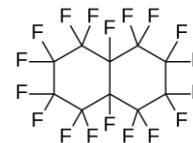
Hexadekan

- Hydrofobní



Perfluorodekalin

- Silně hydrofobní



Hodnocení tření

Obsah není veřejně dostupný

ZPŮSOB ŘEŠENÍ A POUŽITÉ METODY

Charakterizace povrchu a chemické analýzy



Topografie povrchu

Obsah není veřejně dostupný

Optický profilometr



Chemické změny

Obsah není veřejně dostupný

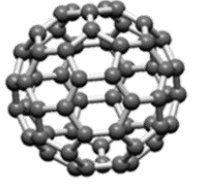
Skenovací elektronová
mikroskopie



Kvantifikace

Obsah není veřejně
dostupný

Rentgenová fotoelektronová
spektroskopie



SFÉRICKÉ MoS₂ NANOČÁSTICE

- Vznik tribofilmu pouze v **mezném režimu** za **čistého valení**
- **Zvýšení viskozity, snížení tření**

Obsah není veřejně dostupný

AKTUÁLNÍ STAV ŘEŠENÍ



OXIDACE MoS₂ POVLAKŮ

- Životnost povlaku: ↑ **Hydrofóbní** chování, Krycí vrstva **ZnS** ↑

Obsah není veřejně dostupný

PEG (200-1000)

- Hydrofilní

Hexadekan

- Hydrofobní

Perfluorodekalin

- Silně hydrofobní

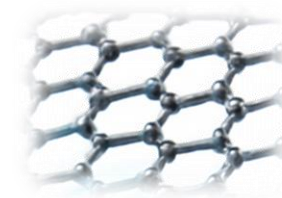
Obsah
není
veřejně
dostupný

h=392 μm

h=558 μm

h=17 μm

Obsah není
veřejně dostupný



2D h-BN NANOČÁSTICE

Funkcionalizace zvyšuje tření

Obsah není veřejně dostupný

ZÁVĚR

Zhodnocení dosaženého pokroku a hlavních výsledků

1. Otázka MoS₂



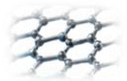
- Vznik tribofilmu pouze v **mezném režimu** za **čistého valení**
- Vliv valení a vliv tribofilmu

2. Otázka oxidace



- **Hydrofóbní** prostředí a **ZnS** zvyšuje životnost povlaku
- ZnS v suchém prostředí

3. Otázka h-BN



- **Vetší částice snižují tření**
- Rozložení zatížení, vstup do kontaktu

Obsah není veřejně dostupný

ZÁVĚR

Plán výstupů:

h-BN:

- Effect of particle size and surface modification of hexagonal boron nitride on tribological properties of polyethylene glycol-based lubricant – v recenzním řízení 
- In-situ Observation of h-BN Third-Body Film Formation by Colorimetric Interferometry 

MoS₂:

- Synthesis of Non-Sedimenting Spherical Porous MoS₂ Particles for Water-Based Lubricants 
- In-situ Observation of MoS₂ Tribofilm Evolution under Various Slip-to-Roll Ratios 
- Effect of ZnS Overlayer on the Tribological Performance of MoS₂-Based Tribofilms  / 

Stáž TU Wien (1. – 30. 6. 2026)



Názvy článků jsou pouze informační

World Tribology Congress 2026 (20. – 26. 9. 2026)



SNIŽOVÁNÍ TŘENÍ POMOCÍ MAZIV S NANOČÁSTICEMI

21/##



DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

Lukáš Daněk, Ing.

Lukas.Danek2@vut.cz



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

www.ustavkonstruovani.cz