



Absorpční zachytávání uhlíku po spalování a jeho intensifikace

(Post-combustion Carbon Capture by chemical absorption and its intensification)

- Miroslav Jícha, Jakub Elcner, Ondřej Hájek, Milan Malý, Patrik Bouchal, Ondřej Cejpek, Jiří Hájek, Jan Jedelský, – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, ČR
- Michał Blatkiewicz, Maciej Jaskulski, Dawid Zawadzki, Politechnika Lodź, Poland
- Andrzej Górak, TU Dortmund, Germany

Nejprve trochu „politiky“ z pohledu EU

Zachycování a ukládání uhlíku (CCS) bylo identifikováno jako životně důležitá technologie pro zmírňování změny klimatu. Mnoho organizací souhlasí s tím, že cíle pro emise skleníkových plynů stanovené v Pařížské dohodě z roku 2015 nelze splnit bez CCS.– **jak ukáži dále, už to asi nebude zcela platit**

Special report No. 24/2018 of EUROPEAN COURT OF AUDITORS (Evropský účetní dvůr):

„Demonstrating carbon capture and storage and innovative renewables at commercial scale in the EU“

!!!Intended progress not achieved in Europe in the past decade

➤ Situace se dokonce zhoršila do roku 2020

Pozice EC v roce 2022

Stanovisko reprezentanta EU uvedené na „ACCSESS Open Oslo Event, Sept. 22, 2022“.

„If Europe wants to reach carbon neutrality by 2050, there is no way to do it without CCS/CCU. CCUS will need to be developed and tested at scale in this decade“, *European Commission*

Motivace pro CCS – postupná změna pohledu >>> CCUS

- Cíl EU do 2050 – klimatická neutralita
- Nástroj – emisní povolenky??
- Únor 2023 – cena přes 100 €



Prognóza: dva scénáře pro oteplení do 1,5 °C:

- International Energy Agency - Net Zero Emissions (NZE) – cílená politická opatření - v roce 2030 asi 170 USD/t CO₂, do 2050 asi 250 USD/t CO₂
- Network for Greening the Financial System - do roku 2050 v Evropě cena překročí 1 000 USD/t CO₂ (nebezpečný scénář bank pro poskytování úvěrů)

Zaměření na energeticky náročná průmyslová odvětví („Energy Intensive Industries“) jako cementárny, metalurgie, rafinerie, papírny, spalovny. Méně na energetický sektor.

Bohužel pohled EU se neustále mění

V květnu 2023 se země G7 dohodly na urychlení **odchodu od fosilních paliv bez zachytávání emisí uhlíku, aby se dosáhlo klimatické neutrality nejpozději v roce 2050.**

Technologie zachytávání a uskladňování uhlíku (CCS) jsou předmětem diskuzí v sektoru a dělí ho na dva tábory.

- Zastánci: uhlík by se měl zachytávat
- Aktivisté a progresivní státy naopak říkají, že se jedná pouze o způsob, jak se fosilní byznys snaží udržet své podnikání.

Podobný názor jako druhá skupina má podle vyjádření Timmermanse zřejmě i Evropská komise a bude ho prosazovat na Konferenci OSN o změně klimatu COP28 v Dubaji (11/2023)

EU by na COP28 měla prosazovat odchod od fosilních paliv bez CCS dlouho před rokem 2050.“
 uvedl Frans Timmermans, místopředseda Evropské komise a komisař pro Zelenou dohodu pro Evropu.

- V současné době je výzkum v oblasti CCUS roztržštěn do více méně izolovaných pracovišť - VŠCHT, VŠB, ČVUT a VUT. A většinou o sobě moc neví.
- Proto vznikla platforma CO2Czech Solution group, z.s. <https://co2cz.com/cs/> pod Svazem Chemického Průmyslu ČR.

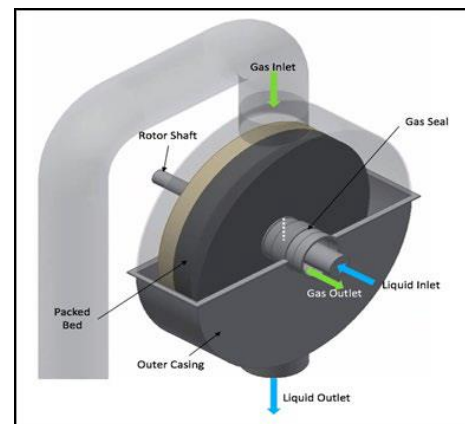
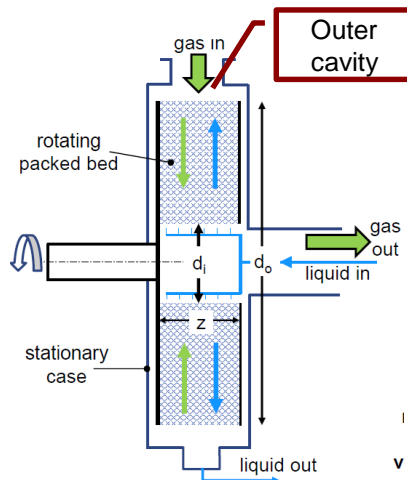
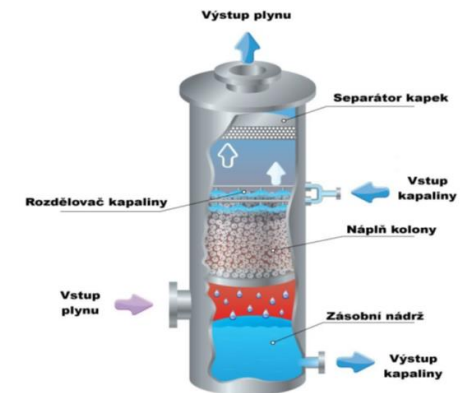
Definice problému zachytávání uhlíku v režimu „post-combustion“

- Častá otázka: jaká metoda zachycení je nejlepší v režimu „post-combustion“? Špatná otázka
- Správná otázka: Jaká technologie je v současné době aplikovatelná v průmyslovém měřítku?
- Ze současných poznatků je to v režimu „post-combustion“ nejpravděpodobněji chemická absorpce – nejvíce dospělá (mature) technologie schopná zachytit velká množství CO₂
- Nejčastější konstrukce jsou statické kolony – nicméně....

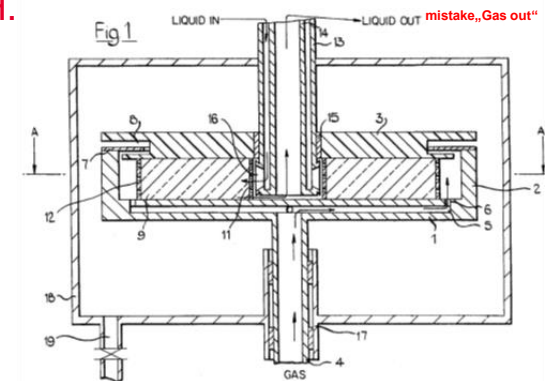
Gravitační síla je limitující faktor – gravitaci neošidíme

- **Řešení - PI-Process Intensification - použití odstředivé síly**

RPB - Rotating Packed Bed také HiGee (high gravitation)



Starý patent z roku 1981
(Ramshaw, C.; Mallinson, R. H.
Mass Transfer Process. U.S.
Patent 4,283,255). Rotating
cage filled with glass beads.

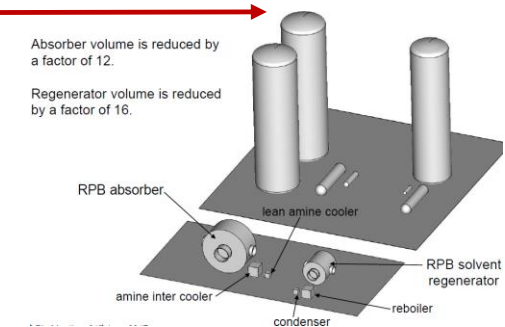


Definice problému zachytávání uhlíku v režimu „post-combustion“

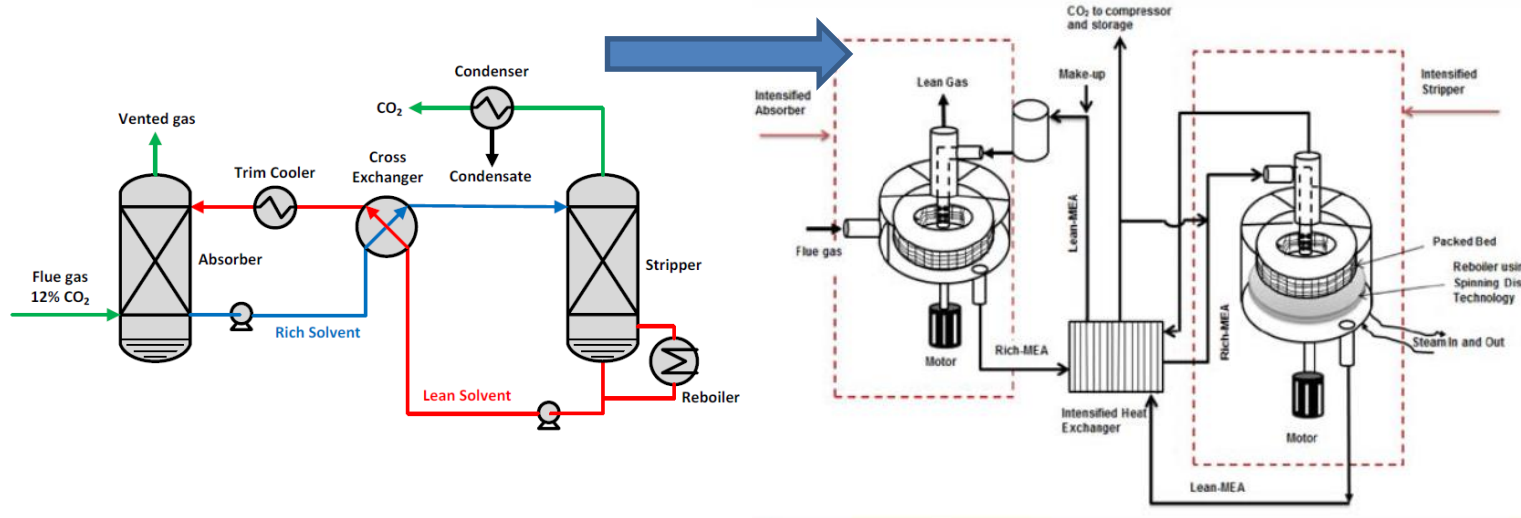
Pozitiva rotační technologie

- ❖ Výrazné snížení CapEx v porovnání se statickou kolonou - cca 10x redukce velikosti, až 70% redukce OpEx
- ❖ 250 MWe Combined Cycle Gas Turbine Power Plant, 2020 – PACT –

Pilot Scale Advanced Capture Technology Sheffield



Definice problému zachytávání uhlíku v režimu „post-combustion“



Carbon Capture systém a komponenty

- Absorbér – CO₂ je zachyceno v chemickém solventu (lean solvent)
- Desorbér (stripper) – rich solvent - CO₂ je uvolněn zahřátím na cca 120°C
- Kotel/reboiler (generátor páry pro stripper)
- Kondenzátor (pára ze stripperu se vrací do kotle)
- Tepelný výměník na zpětné získání tepla (rich/lean solvent)
- Kompresor (nízký parciální tlak CO₂ před transportem)

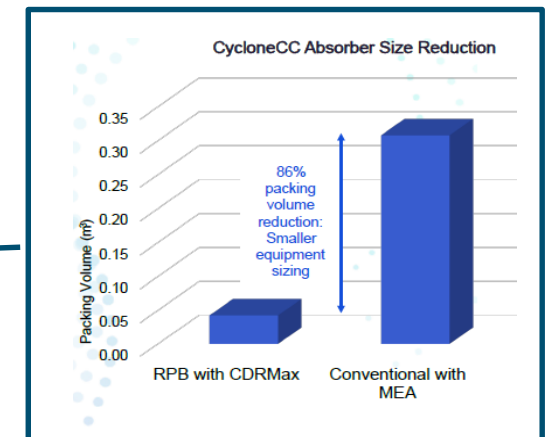
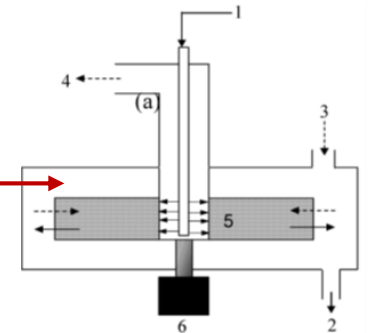
Kritickým elementem je účinné zachycení CO₂, tj. absorbér a desorbér (stripper).

Tým na VUT v Brně se zabývá zlepšením účinnosti zachycení CO₂ v rotačním absorbéru

RPB – pokrokové řešení, nicméně40 roků po patentu zůstává celá řada nejasností a nejistot

Hlavní otázky a neznámé

- ❖ Jaký je rozstřík solventu uvnitř packingu a na jeho vnějším obvodu (v tzv. vnější kavitě)?
- ❖ Jaká je role typu vnitřního packingu (rotující vestavby) při rozstříku?
 - *nestrukturovaná drátěná mříž, zigzag minikanály, kovová pěna atd.*
- ❖ Jakou roli hraje typ solventu při rozstříku?
 - *Amoniak,*
 - *Monoethanol amin MEA (dnes referenční solvent),*
 - *Methyldiethanol amin MDEA, enzymy, potaš...* a jejich vlastnosti (viskozita, povrchové napětí) nebo
 - **intenzifikovaný solvent s akcelerátorem reakce CO₂**
(velmi stabilní molekula a rychlý proces v RPB - (např. CDRMax od CarbonClean, UK., NAS Non-aqueous solvent) >> RPB size



VÝZKUM RPB NA VUT V BRNĚ

Komplexní řešení RPB = numerické simulace + validace vlastními experimenty

Krok 1: Počáteční studie – ověření správnosti simulací na publikované geometrii a okrajových podmínkách – rozstřík uvnitř rotující vestavby a výpočet „liquid holdup“

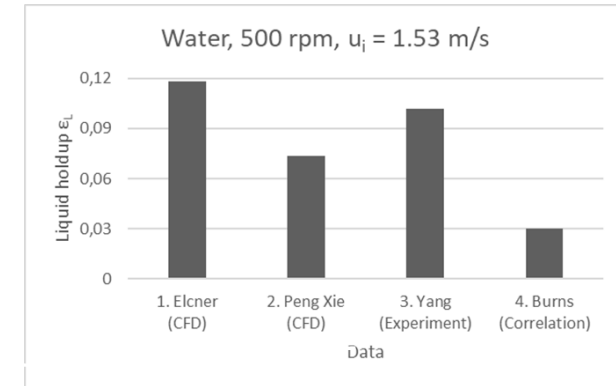
Krok 2: Stavba „Labscale“ RPB - *2D přístup k simulacím – rozstřík uvnitř a na vnějším povrchu RPB + validace*

Krok 3: „Úprava Labscale“ RPB - *3D simulace – „Moving Particle Simulations“ - ParticleWorks*

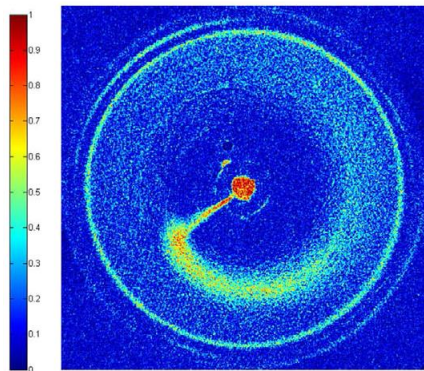
Krok 1 – ověření přístupu k simulacím

Numerické simulace CFD (CCM+)

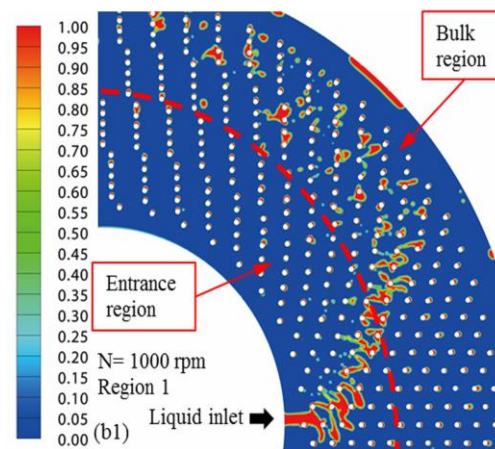
- ❖ Ověření výsledků na publ. datech – Sheffield Uni – ID/OD/Z - 42/82/20 mm
- ❖ Komplexní problém:
 - Multiphase flow - Liquid breakup (VOF)
 - Liquid film - Unsteady problem
- ❖ Porovnání rozstříku a „liquid holdup“



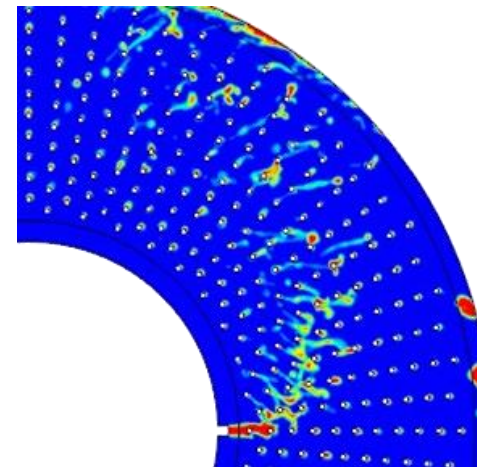
X-ray Yang



Sheffield

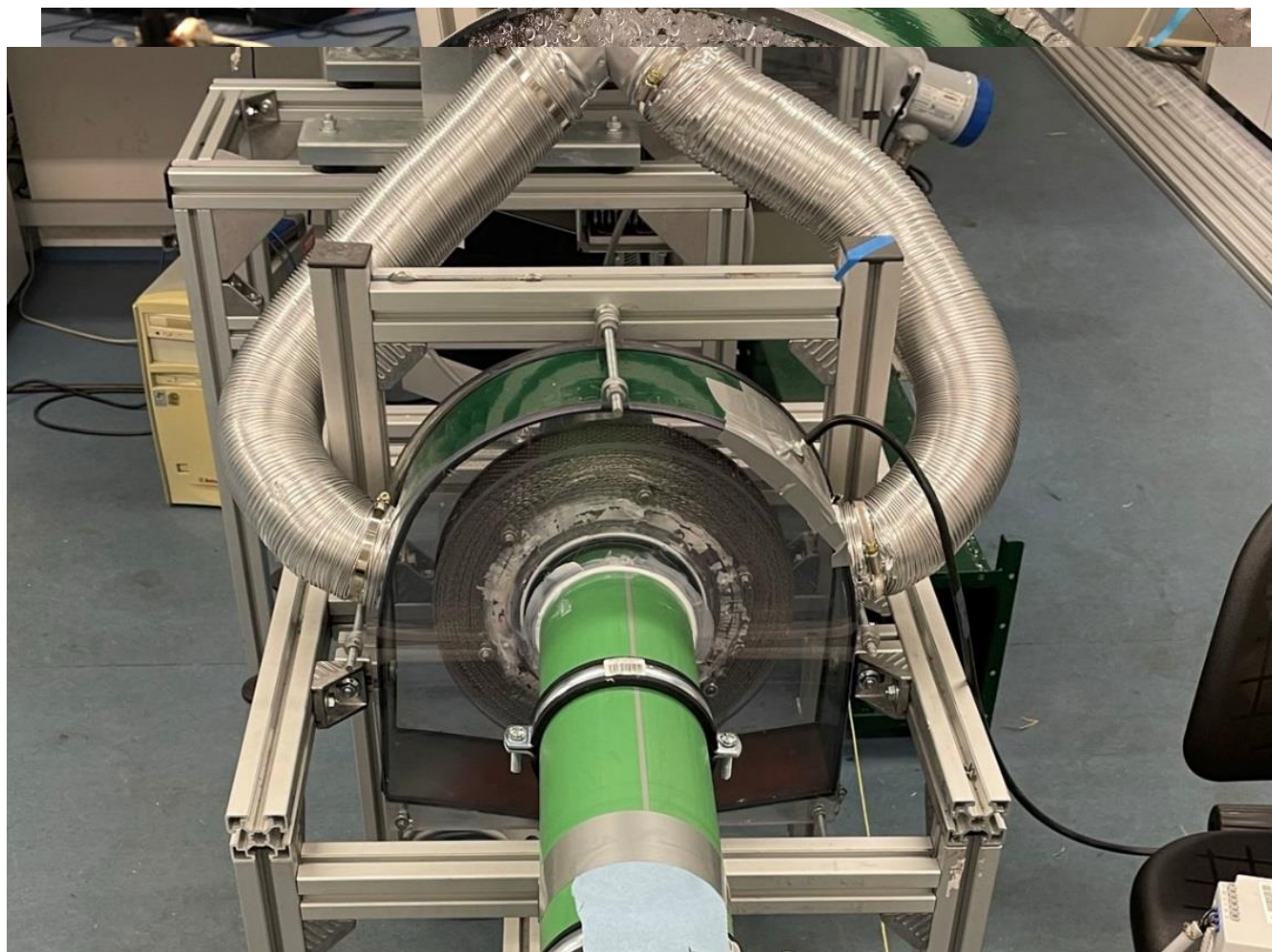
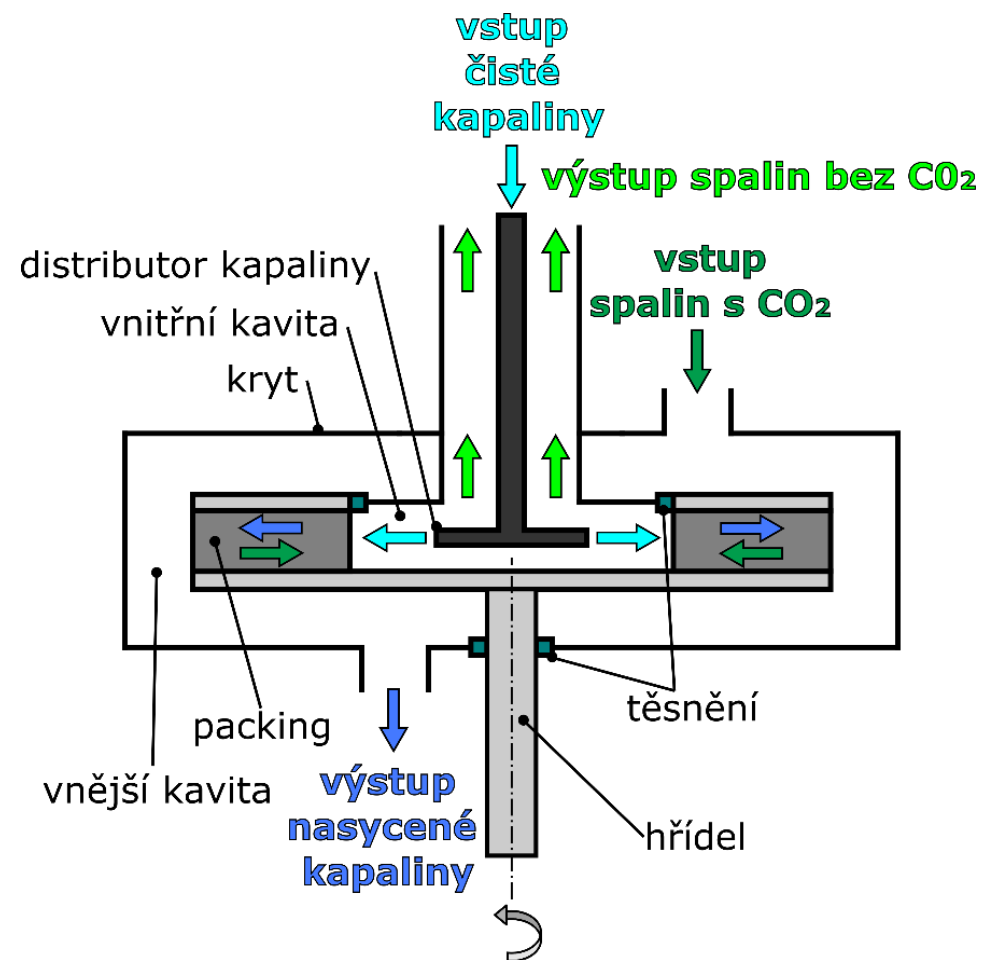


VUT



**Krok 2 – návrh a stavba lab scale RPB –
experimenty rozstříku rychlou kamerou +
2D simulace rozstříku na vnějším povrchu**

ROTAČNÍ ABSORBÉR (RPB)

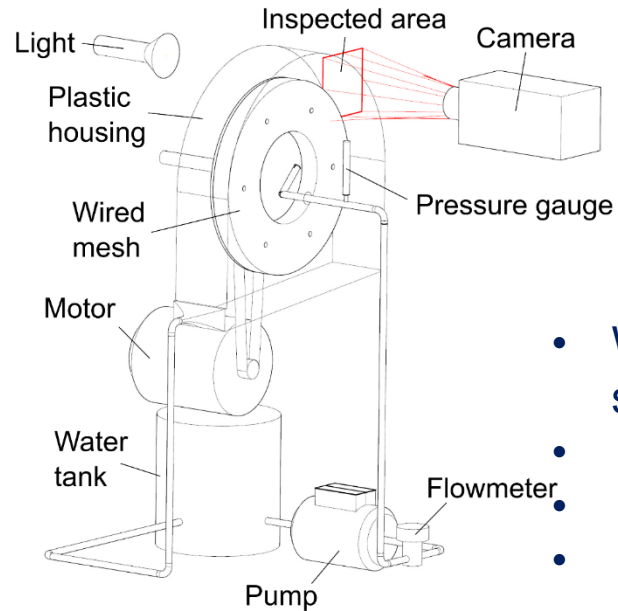


ROTUJÍCÍ LOŽE (RPB)

- Packing – kovová pěna, namotaná síť, drátový, ...

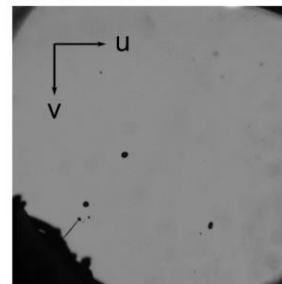
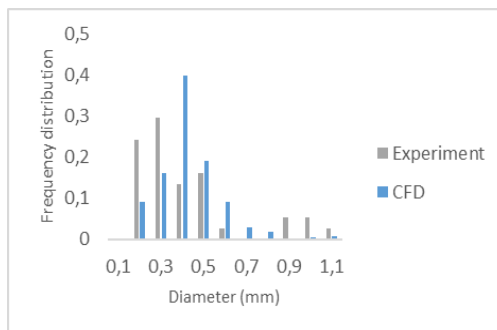
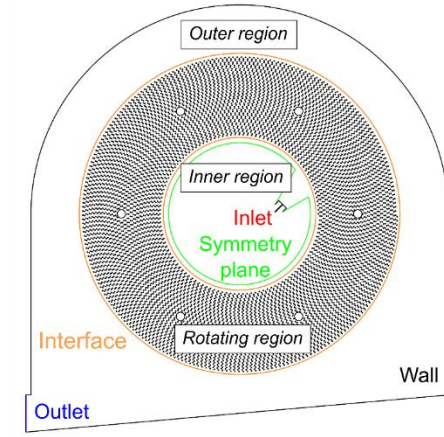


POČÍTAČOVÉ SIMULACE 2D

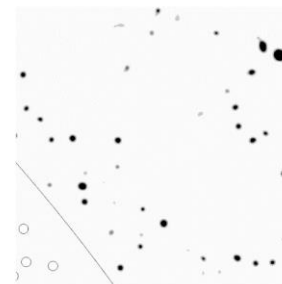


- Housing **400 x 405 x 100 mm**
- Rotation **409 rpm**
- Flowrate **3.8 kg/h**
- Jet diameter **0.54 mm**
- Jet angle **45 deg**

- Wire mesh Expamet – identické pro simulace a experimenty
- ID/OD/Z **150/300/30 mm**
- Diameter of single wire **0.8 mm**
- Distance between wires **3.95 mm**



a.) Experiment



b.) CFD

- 1000 obr. z EXP a CFD v 0.05s
- Rozdílné statistické vzorky - **2D a 3D** Exp 37, CFD 347
- Rozdílné množství kapaliny uvnitř domény

Závěr

3D simulace – týdny??

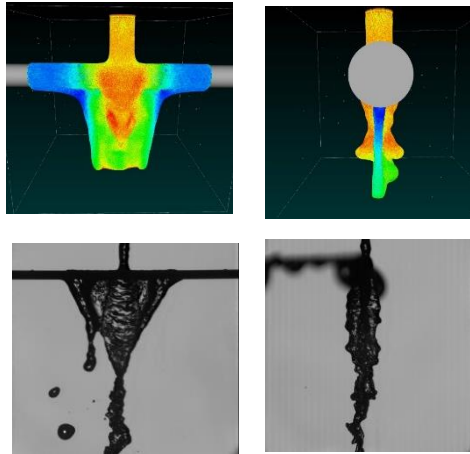
KROK 3:

- Experimenty - úprava Labscale“ RPB – zlepšení optického přístupu – cca 8000 drátů

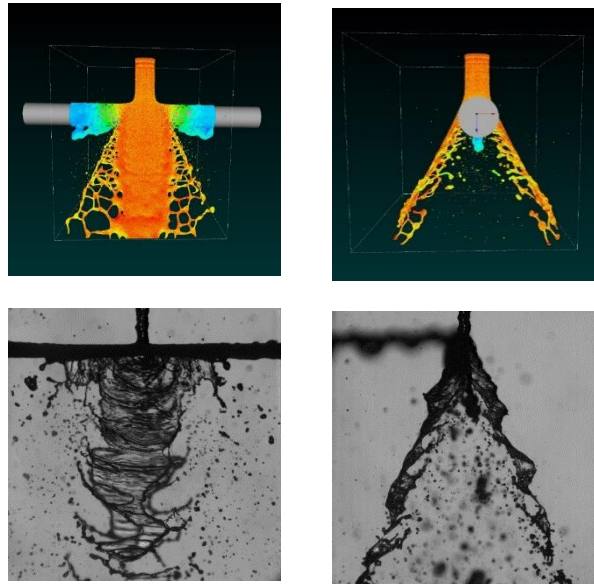


- 3D simulace – bezsít'ová metoda – „Moving Particle - ParticleWorks code“ – krok po kroku – pět scénářů

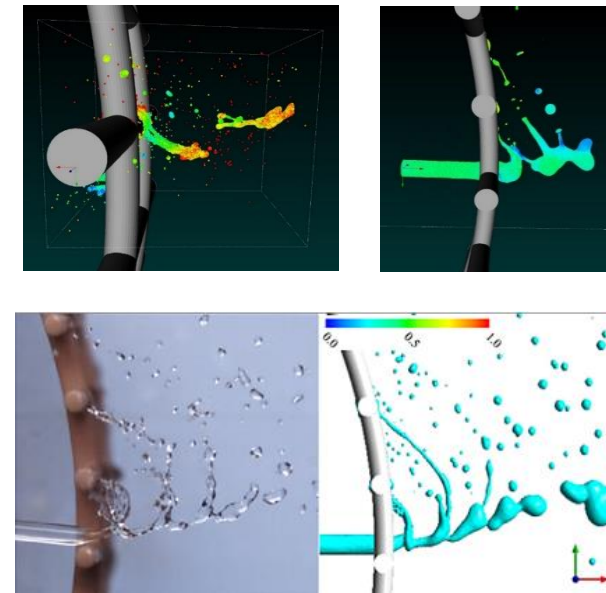
Case 1: *Liquid jet
impaction on single
wire – **steady**, 5 m/s,
particle size 20 μm*



Case 2: *Liquid jet
impaction on single
wire – **steady** 10 m/s,
particle size 20 μm*



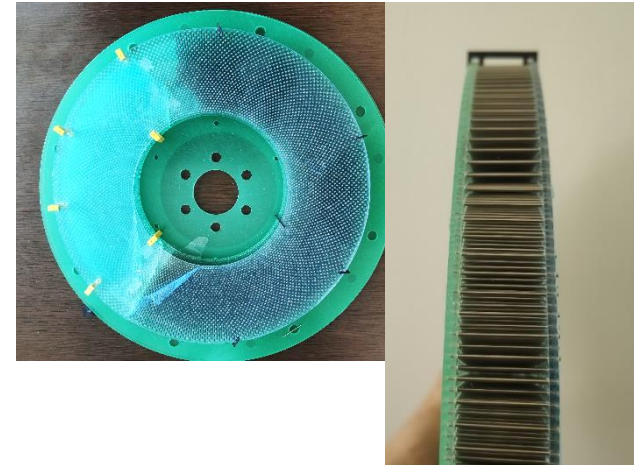
Case 3: *Liquid jet
impaction on **rotating**
single layer wire mesh -
Particle size = 50/25 μm
1500 rpm*



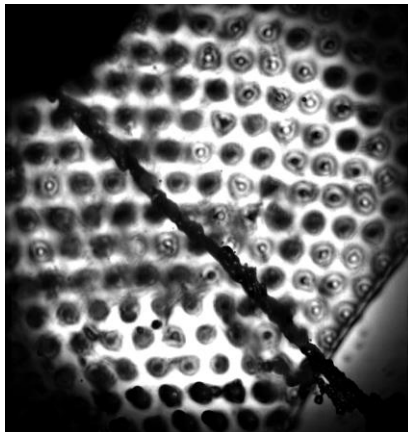
Dílčí závěr: korektní řešení detailů >>> korektní řešení celého RPB

**Case 4: Rotace a rozstřík v celém RPB – 3D simulace + validace -
proprietary 2nd generation packing – unikátní, umožňuje vizualizaci uvnitř
packingu - identické simulace a experimenty**

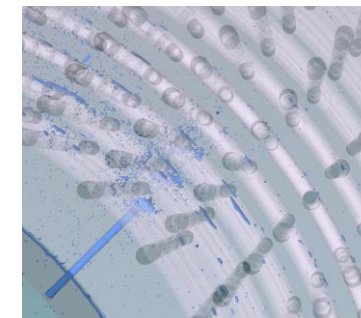
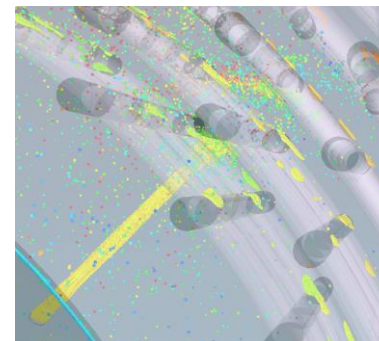
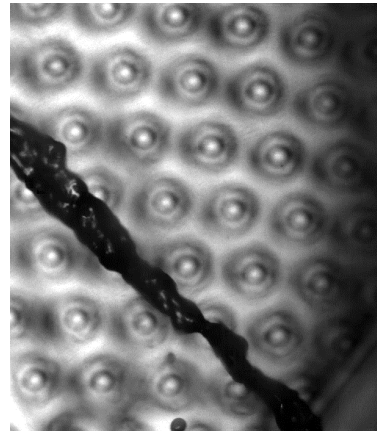
- *Nozzle diameter = 2 mm*
- *8000 wires, Wire diameter = 3 mm*
- *Contact angle = 60°*
- *Particle size = 0,3 mm (to reduce comput. time)*
- *Liquid velocity = 5 m/s*



400 rpm

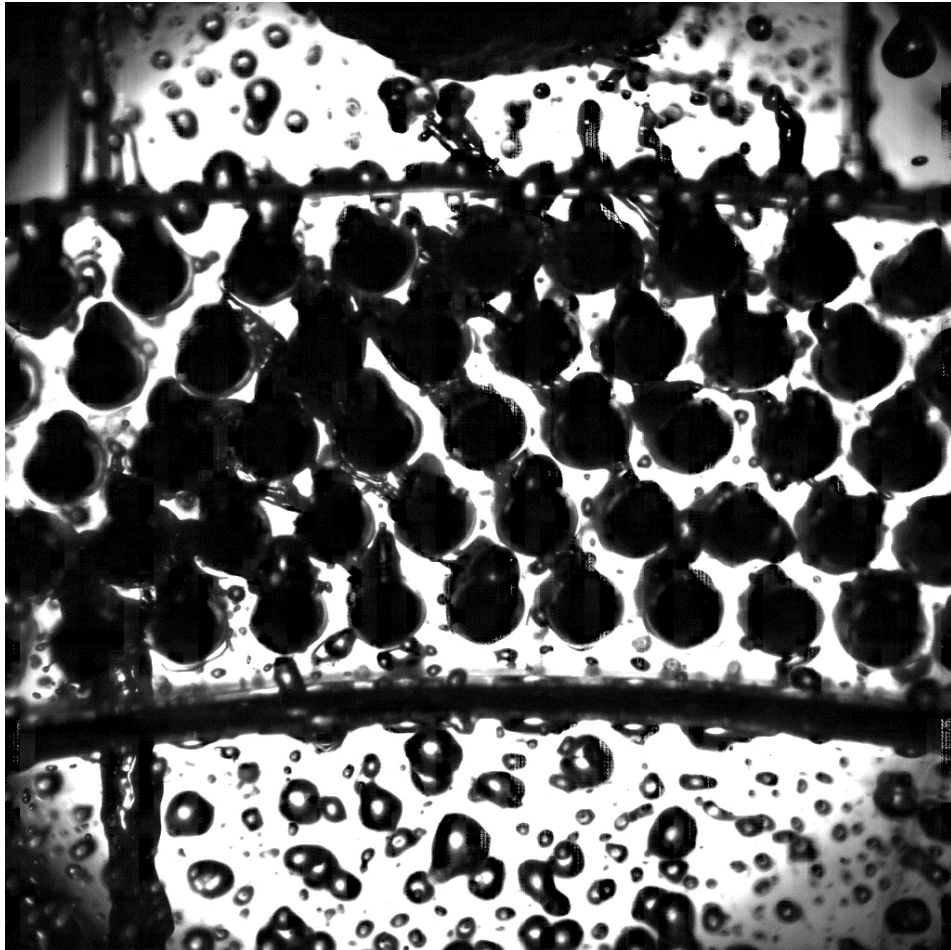


1400 rpm

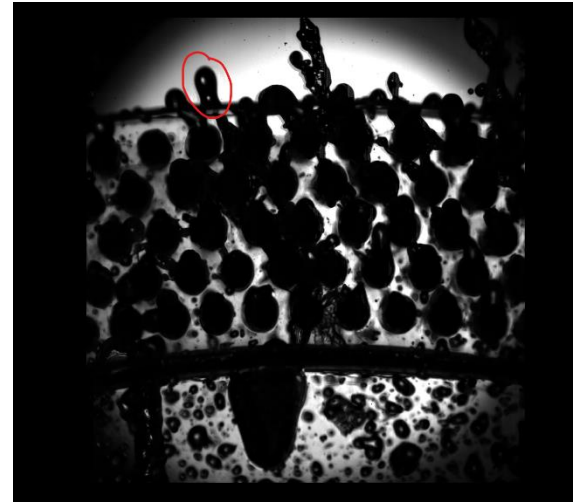


Case 5: Zpřesnění modelů a dosažení lepší shody experimentů a simulací

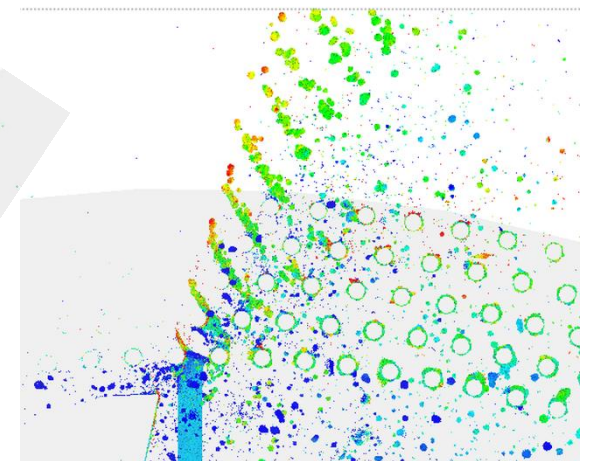
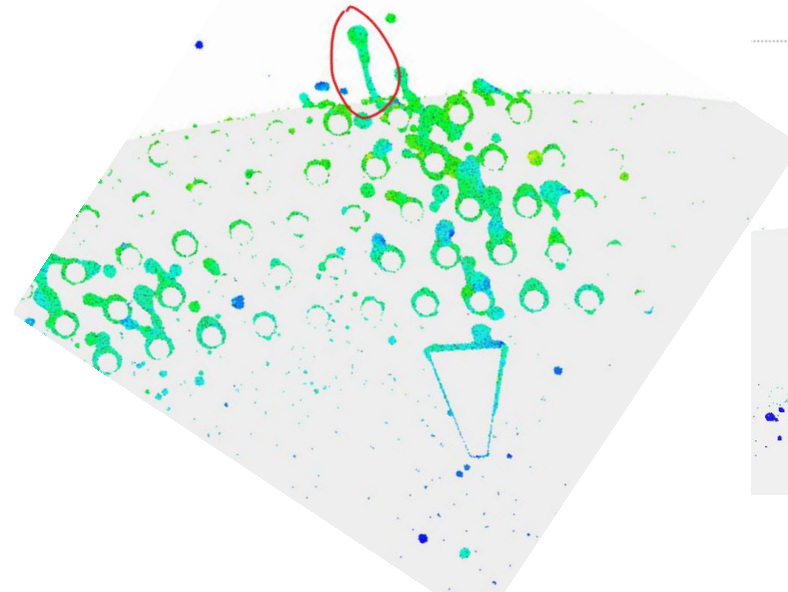
Model s pěti řadami rotující drátěné vestavby

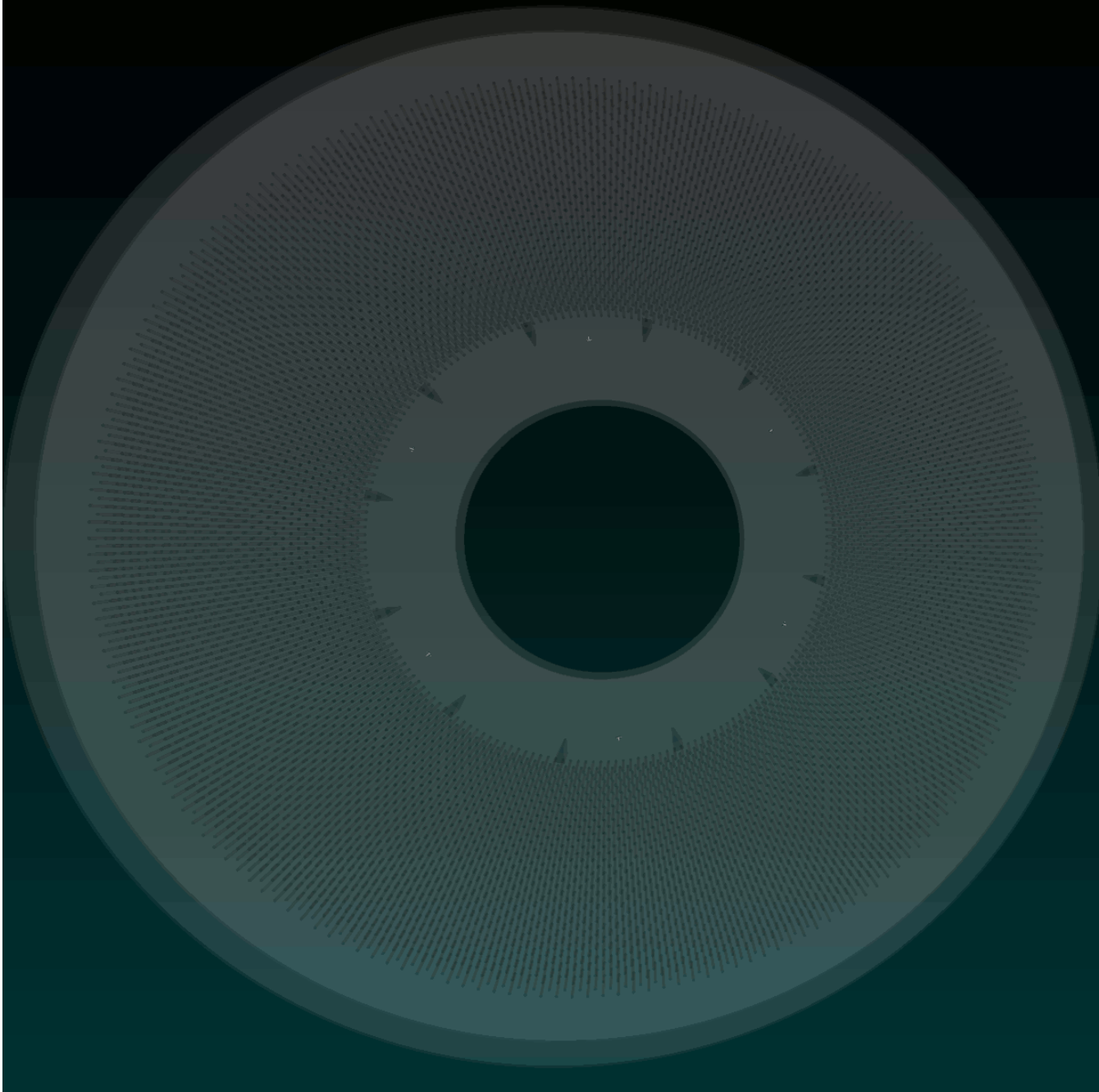


400 rpm



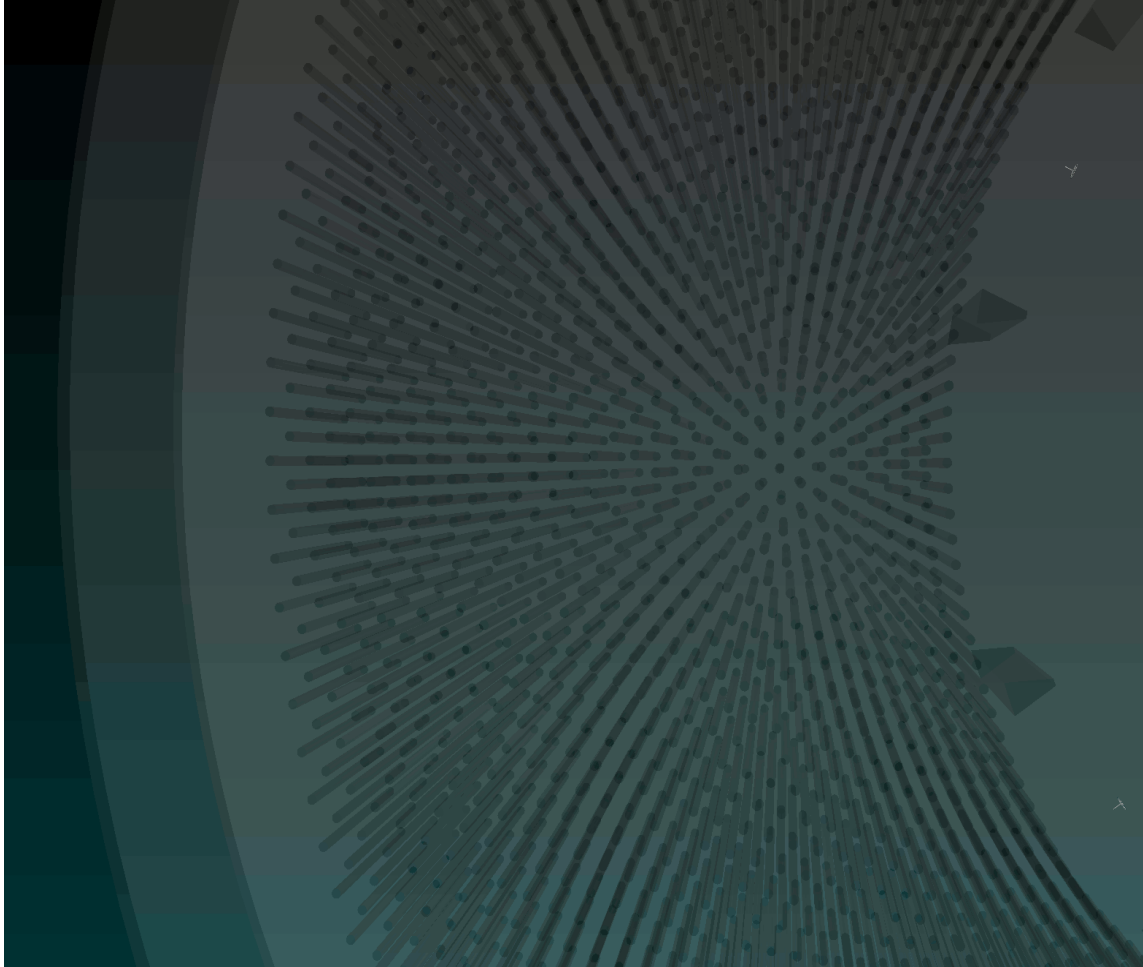
1400 rpm





Different colours represent droplets velocities

One segment



Different colours represent droplets velocities

Poděkování

- „**Holistic approach to Rotating Packed Bed (RPB) absorption process with the use of 3D CFD, visual studies, and mass transfer experiments**“, Czech Grant Agency and National Science Centre (Poland) - Lead Agency Program – společný projekt VUT v Brně (Energetický ústav) a Politechnika Lodž, GA 21-45227L, 2022 – 2024.
- “**The effect of ambient airflow on the quality of liquid dispersion on the wire mesh**”, PhD Quality Internal Grants of Brno University of Technology (KInG BUT). CZ.02.2.69/0.0/0.0/19_073/0016948 financováno MŠMT ČR, 2021-2022.
- **Výpočtové simulace pro efektivní nízkoemisní energetiku**, WP2, CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_026/0008392, financováno MŠMT ČR, 2019 – 2022
- Národní centrum pro energetiku II (TN02000025), financováno MŠMT ČR, 2023 - 2025

Děkuji za pozornost a....

rotujte



Kontakt: jicha@fme.vutbr.cz