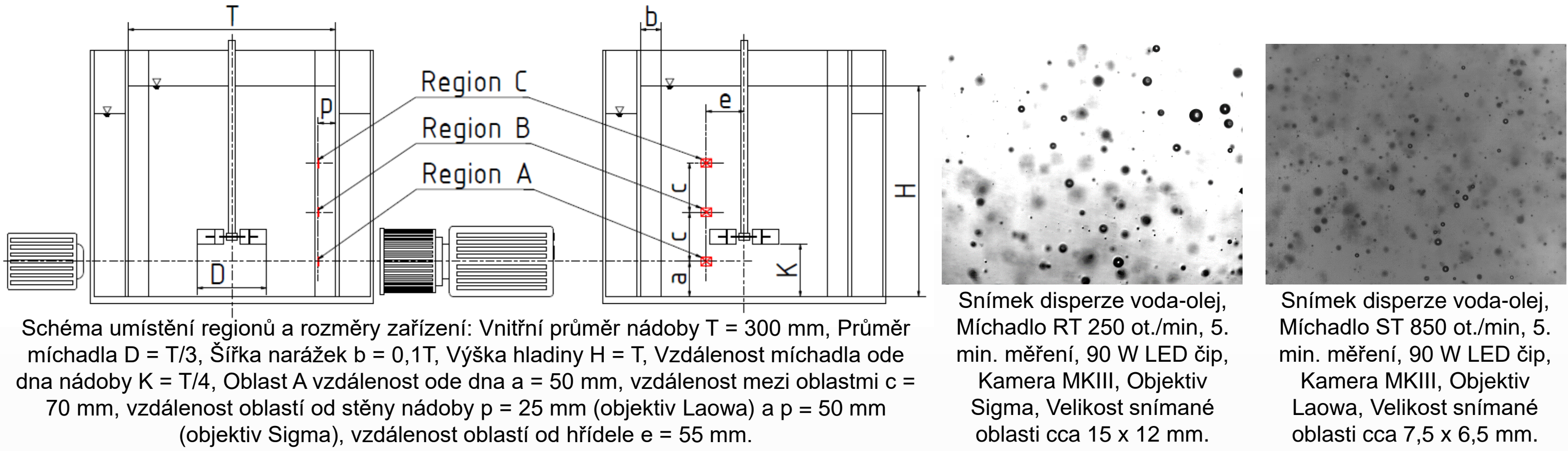


1. Cíle disertační práce

Disertační práce je zaměřena na dispergaci nemísitelných kapalin v mechanicky míchaných reaktorech. Experimentální část se zaměřuje na výzkum kinetiky dispergace a časového vývoje distribuce velikostí kapek v různých částech mechanicky míchaného reaktoru. Experimenty byly prováděny ve válcové nádobě s narážkami v modelovém systému nemísitelných kapalin destilovaná voda – silikonový olej. Pro výzkum dispergace byly použity dva typy míchadel: Rushtonova turbína a zubové míchadlo. Velikost kapek byla vyhodnocována pomocí obrazové analýzy ze snímků dispergovaného systému, které byly pořizovány vysokorychlostní kamerou přímo v kontrolním objemu. Cíle disertační práce byly na základě rešerše formulovány následovně:

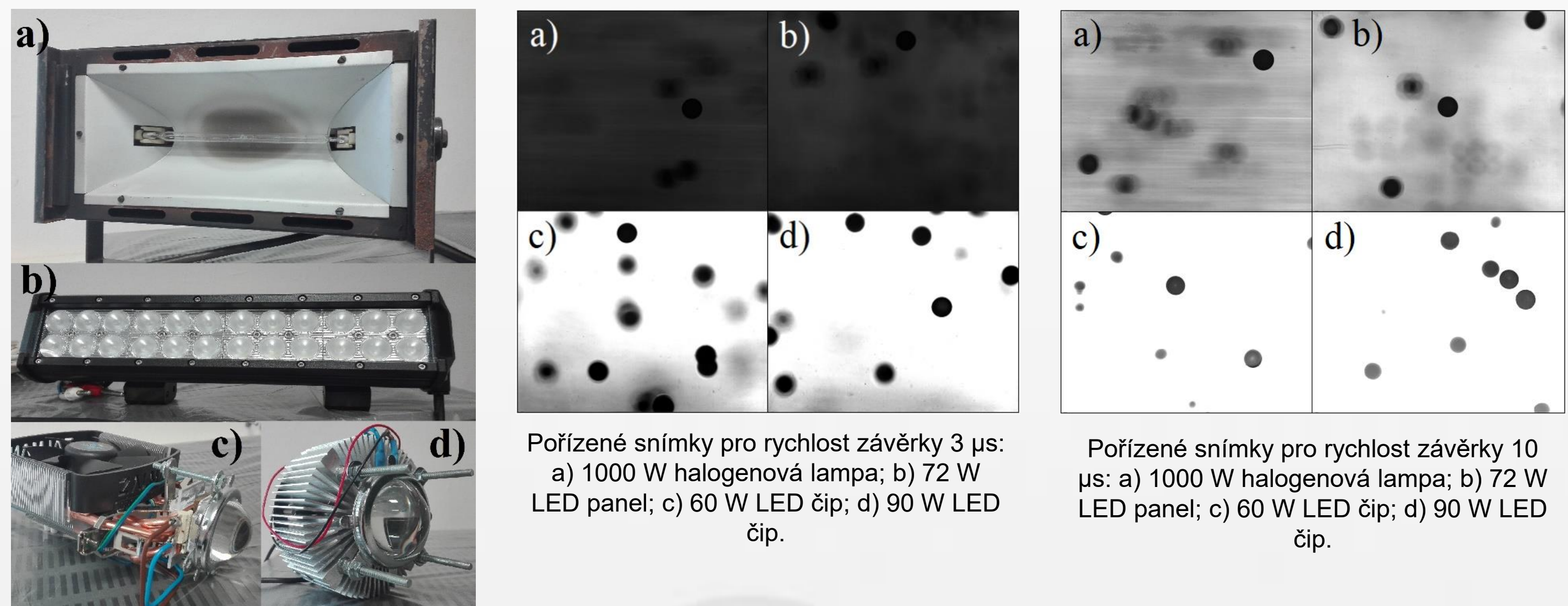
- Analyzovat a modelovat časový vývoj Sauterova průměru kapky při dispergaci nemísitelných kapalin v mechanicky míchané nádobě při skokové změně otáček míchadla pro zvolené typy míchadel: Rushtonova turbína (RT) a zubové míchadlo (ST).
- Analyzovat časový vývoj distribuce velikostí částic ve zvolených různých místech nádoby při skokové změně otáček míchadla pro zvolený modelový systém a zvolené typy míchadel.
- Analyzovat a ověřit možný vliv intermitence turbulence na dispergaci pro zvolený modelový systém a zvolené typy míchadel.
- Navrhnout a ověřit metodiku identifikace kapek a vyhodnocení jejich velikosti z pořízených snímků dispergovaného modelového systému pomocí obrazové analýzy a provést analýzu možných chyb měření na přesnost výsledků a zhodnotit jednotlivé faktory.
- Ověřit vliv různých světelných zdrojů na kvalitu pořízených snímků disperze a analyzovat vliv kombinace kamery a objektivu na kvalitu pořízených snímků disperze a identifikaci kapek pro zvolený modelový systém a typ míchadla.
- Navrhnout a ověřit metodiku stanovení minimálního počtu vyhodnocených kapek potřebného pro získání relevantních výsledků.

2. Experimentální procedura



Pro měření velikostí kapek byly zvoleny tři regiony A, B a C. Nejprve byly po nastavení všech parametrů měření a nastavení kamery a světla do měřicí polohy zachyceny snímky měřítka, z kterých bylo určováno rozlišení obrazu. Nádoba byla od začátku měřicí procedury naplněna destilovanou vodou ($H = T$). Po pořízení snímků měřítka bylo do objemu přidáno 15 000 nylonových 6/6 kuliček o stejném kalibrováném průměru $\phi/64'' = 1,19$ mm. Snímky, na kterých jsou zachyceny částice o přesném rozměru, slouží ke kalibraci parametrů následného vyhodnocení pomocí obrazové analýzy. Následně bylo do objemu přidáno 10 ml dispergované fáze (silikonový olej). Pro každou snímanou oblast (Region A, B a C) a každé otáčky míchadla bylo po 5 minutách opakovaně pořízeno 8 až 10 sad snímků (1 sada = 1000 snímků).

- V rámci experimentálního měření byly zkoumány vliv různých zdrojů světla na kvalitu a následné vyhodnocení pořízených snímků.



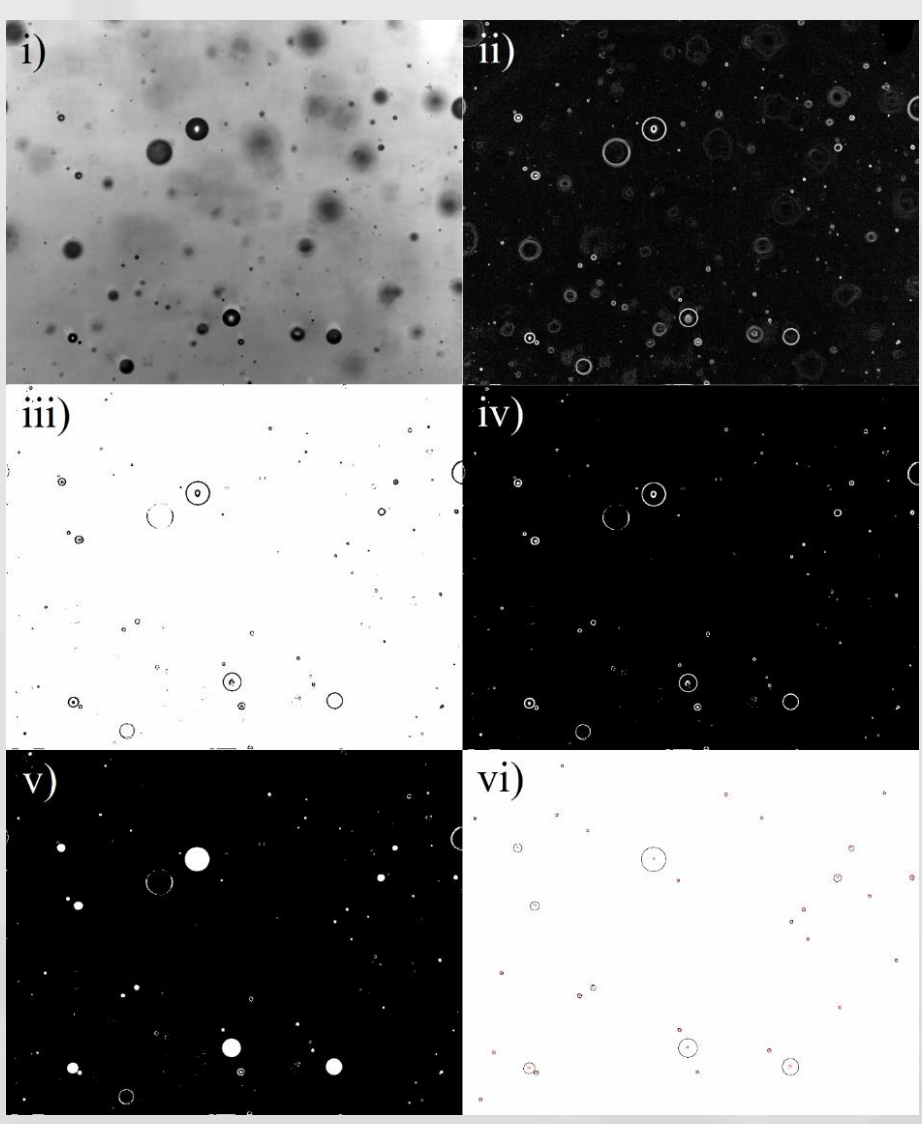
- Dále byl zkoumán vliv použité kombinace kamery a objektivů pro použité typy míchadel za účelem získání relevantních výsledků.

Rushtonova turbína				
Objektiv	Rozlišení obrazu [mm/pixel]	Celkový počet vyhodnocených kapek [-]	Nejmenší vyhodnocená kapka [μ m]	Největší vyhodnocená kapka [μ m]
Laowa	0,0061	2 130	35,76	78,78
Sigma	0,01178	43 472	37,45	182,32

Zubové míchadlo				
Objektiv	Rozlišení obrazu [mm/pixel]	Celkový počet vyhodnocených kapek [-]	Nejmenší vyhodnocená kapka [μ m]	Největší vyhodnocená kapka [μ m]
Laowa	0,00605	8 039 198	35,72	602,87
Sigma	0,01176	3 186 110	37,42	1165,34

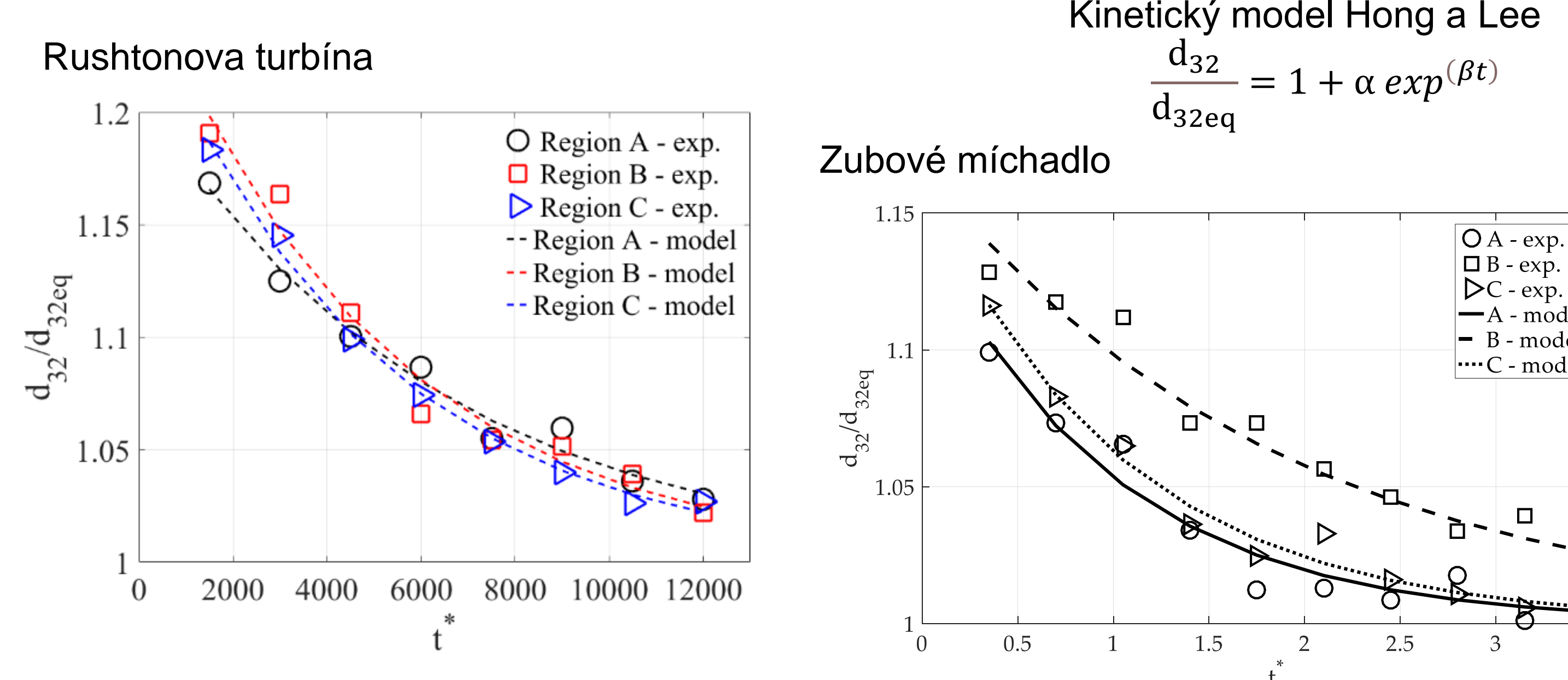
Metodika obrazové analýzy

Metoda vyhodnocení velikosti zachycených kapek je založena na identifikaci hranice kapek na základě rozdílných odstínů barvy pixelů. Navržená metoda porovnává gradienty sousedních pixelů, a pokud je gradient vyšší než nastavená mezní hodnota, software tento rozdíl odstínů vyhodnotí jako hranici kapky. Ze snímků zachycujících dispergaci systému kapalina-kapalina jsou velikosti kapek vyhodnocovány jako počet pixelů obsažených uvnitř vyhodnocených kapek. Z počtu pixelů, které zaujímají plochu kapky, a naměřeného rozlišení obrazu (mm/pixel) je následně určena plocha jednotlivých vyhodnocených kapek (mm^2), která je přepočtena na průměr kapek. Kapky jsou brány jako částice kulového tvaru.



3. Kinetika dispergace

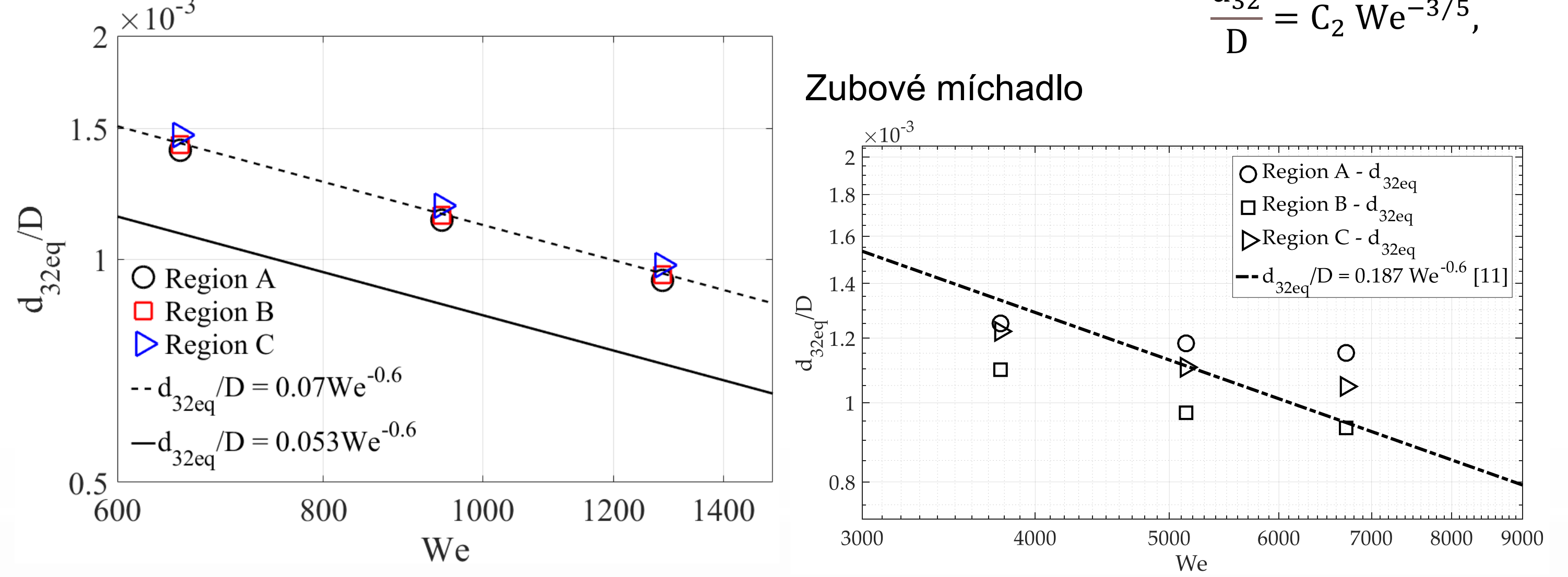
Časový vývoj Sauterova středního průměru kapky



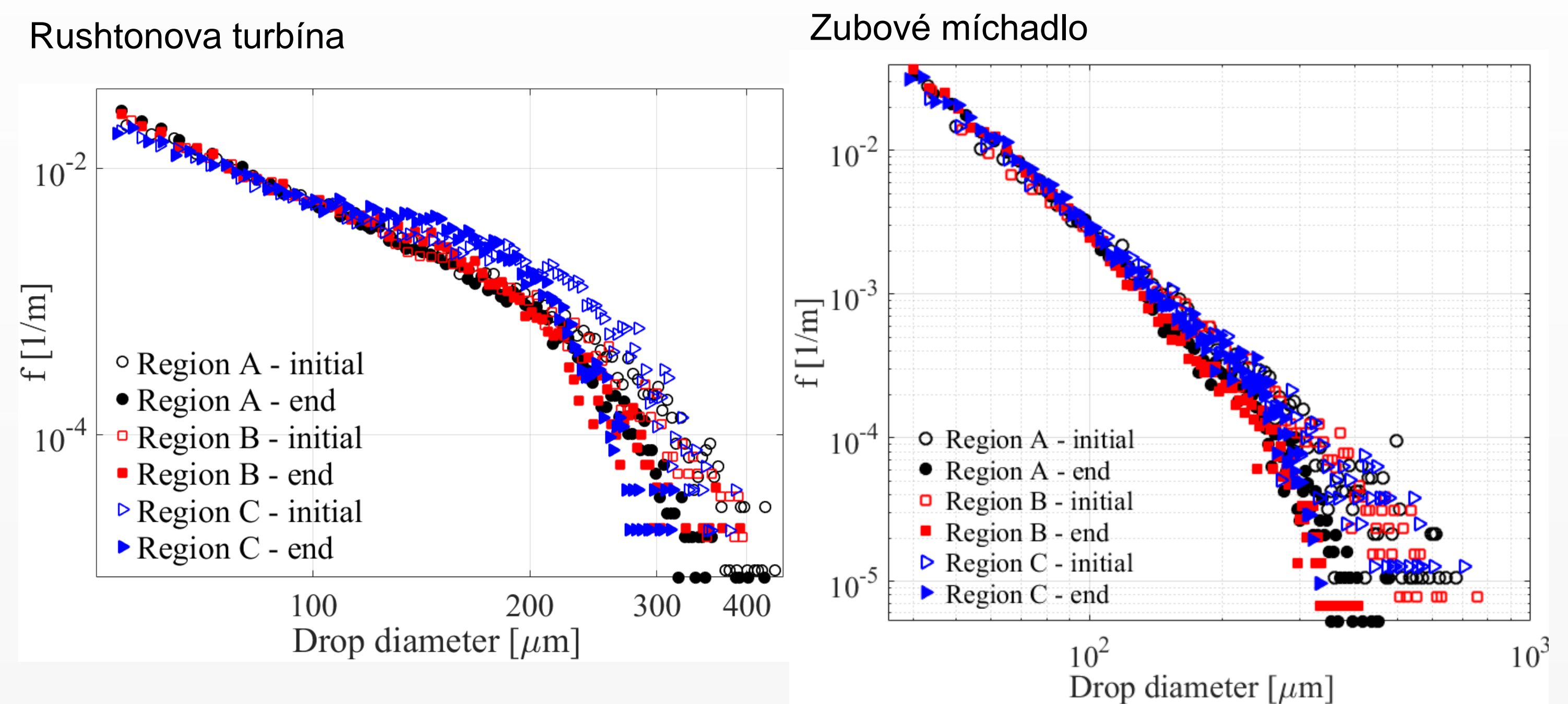
Vliv intenzity míchání

Chen a Middleman na základě H-K teorie odvodily vztah mezi Sauterovým středním průměrem kapky, průměrem míchadla a Weberovým číslem míchadla:

$$\frac{d_{32}}{D} = C_2 We^{-3/5}$$



Časový vývoj distribuce velikosti kapek (DSD)



Vliv intermitence turbulence

V případě turbulence bez vnitřní intermitence, tj. pro hodnotu multifraktálního exponentu $\alpha_{FT} = 1$, je exponent Weberova čísla v závislosti maximální stabilní velikosti kapky d_{max} v nekoaleskujícím dispergovaném systému kapalina-kapalina na Weberově čísle podle Hinze-Kolmogorovy teorie za předpokladu lokální izotropie roven hodnotě -0,6. Nízké hodnoty multifraktálního exponentu $\alpha_{FT} \ll 1$ indikují existenci špiček rychlosti disipace turbulentní energie. V případě hodnoty multifraktálního exponentu $\alpha_{FT} > 1$ jsou turbulentní napětí generovaná působícími víry menší, než předpovídá Kolmogorova teorie.

$$\frac{d_{max}}{D} = C_{11} We^{1-0,4(1-\alpha_{FT})}$$

Hodnoty multifraktálního exponentu α_{FT} určené dle definice pro kumulativní procentuální zastoupení velikosti kapek.

Region	d_{95}	d_{97}	d_{99}	$d_{99,3}$	$d_{99,5}$	$d_{99,7}$	$d_{99,9}$	$d_{99,9}^{10}$	$d_{100,ext}^{12}$
RT	A	0,49	0,53	0,60	0,62	0,64	0,67	0,73	0,73
	B	0,51	0,55	0,62	0,64	0,66	0,69	0,75	0,75
	C	0,55	0,59	0,67	0,69	0,72	0,75	0,81	0,81
ST	A	0,899	0,945	1,04	1,06	1,09	1,13	1,21	1,33
	B	0,865	0,906	0,987	1,01	1,03	1,07	1,14	1,25
	C	0,931	0,979	1,08	1,1	1,13	1,17	1,26	1,46

4. Shrnutí

- Byl ověřen vliv světelných zdrojů na kvalitu pořízených snímků a pro oba typy míchadel byla určena vhodná kombinace kamery a objektivu pro získání relevantních výsledků.
- Pro oba typy míchadel byl určen minimální počet zachycených a vyhodnocených kapek pro získání relevantních výsledků pomocí statistické hypotézy.
- Bylo zjištěno, že vliv určování rozlišení obrazu, hloubky ostroty a změny teploty vsádky na výslednou velikost kapek je zanedbatelný. Podstatný vliv na výslednou velikost vyhodnocených kapek má kvalita detekce hran.
- Data byla zpracována vhodným kinetickým modelem pro popis časového vývoje Sauterova středního průměru kapek za účelem určení d_{32} v rovnovážném stavu. Byly odvozeny vztahy pro odhad parametrů kinetického modelu při skokových změnách otáček míchadla.
- Porovnání DSD ve zkoumaných regionech ukázalo, že rozložení zkoumaného systému nemísitelných kapalin je nehomogenní u obou typů míchadel.
- Při zkoumání vlivu intermitence turbulence bylo zjištěno, že metoda použitá pro odhad d_{max} významně ovlivňuje odhad α_{FT} .

KOLMOGOROV, A. N. The Break-up of Droplets in a Turbulent Stream. *Akademiya Nauk SSSR Doklady*, 1949, 66, 825–828.
 HINZE, J. O. Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes. *AIChE Journal* [online]. 1955, 1(3), 289–295. ISSN 0001-1541, 1547-5905. Dostupné z: doi:10.1002/aic.69010303
 CHEN, Hsiao Tsung a Stanley MIDDLEMAN. Drop size distribution in agitated liquid-liquid systems. *AIChE Journal* [online]. 1967, 13(5), 989–995. ISSN 1547-5905. Dostupné z: doi:10.1002/aic.690130529
 BALDYGA, Jerzy a John R. BOURNE. Drop Breakup and Intermittent Turbulence. *Journal of Chemical Engineering of Japan* [online]. 1993, 26(6), 738–741. Dostupné z: doi:10.1252/cej.26.738
 HONG, Paul O. a James M. LEE. Unsteady-state liquid-liquid dispersions in agitated vessels. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development* [online]. 1983, 22(1), 130–135. ISSN 0196-4305. Dostupné z: doi:10.1021/i200202a021