



Image analysis of water jet

M. Hnízdl*, J. Boháček

Summary: *This paper describes a structure of water jet outflowing from the highpressure nozzles. It deals with the flow pattern, the pulsation influence on heat transfer in the impact area, the intensity of dynamic action on the sprayed surface. Normal and pulse spraying modes of flat fan nozzles and solid jet nozzles were compared in the pressure range of 5 - 45 MPa. Pulsations were produced by high-frequency acoustic exciter. Photo images of individual water jets were taken. Owing to high outlet velocity about 300 m s^{-1} , the water jet was illuminated by the light sheet of pulsed laser. Images in incompress graphic file format were processed in Fourier transform. It was carried out some parameters from the frequency analysis, which enable comparing the water jet texture of individual nozzle.*

1. Úvod

Při odstraňování okují vysokotlakým vodním paprskem působí dva hlavní faktory a to je tepelný šok způsobený prudkým ochlazením povrchu a mechanické působení vlivem impaktního tlaku. V rámci studia vlivu pulzací na odstraňování okují byly provedeny tři typy experimentů. První objasňuje vliv pulzací na intenzitu přestupu tepla. Druhý je reálný odkujovací test, při kterém je hodnocena kvalita výsledného povrchu. Třetí se zabývá objasněním struktury paprsku s využitím snímkování a následnou obrazovou analýzou. Všechny experimenty byly prováděny s vysokotlakými vodními tryskami s plochým paprskem. Tryska během experimentů pracovala v normálním a pulzním režimu. Normální režim představuje ustálené proudění uvnitř trysky. Tlaková voda byla dodávána plunžrovým čerpadlem s vícenásobným tlumením nízkofrekvenčních pulzací. Pulzní režim znamená, že do vody byla vložena další energie v podobě vysokofrekvenčních tlakových pulzací. K tomu sloužil vysokofrekvenční akustický budič, který ve své podstatě představoval rovinnou desku, která vykonávala přímočarý vratný pohyb s frekvencí 20kHz a amplitudou $0.5 \mu\text{m}$. Pulzace uvnitř trysky způsobovaly rozpad kontinuálního paprsku na pravidelné útvary (prstence).

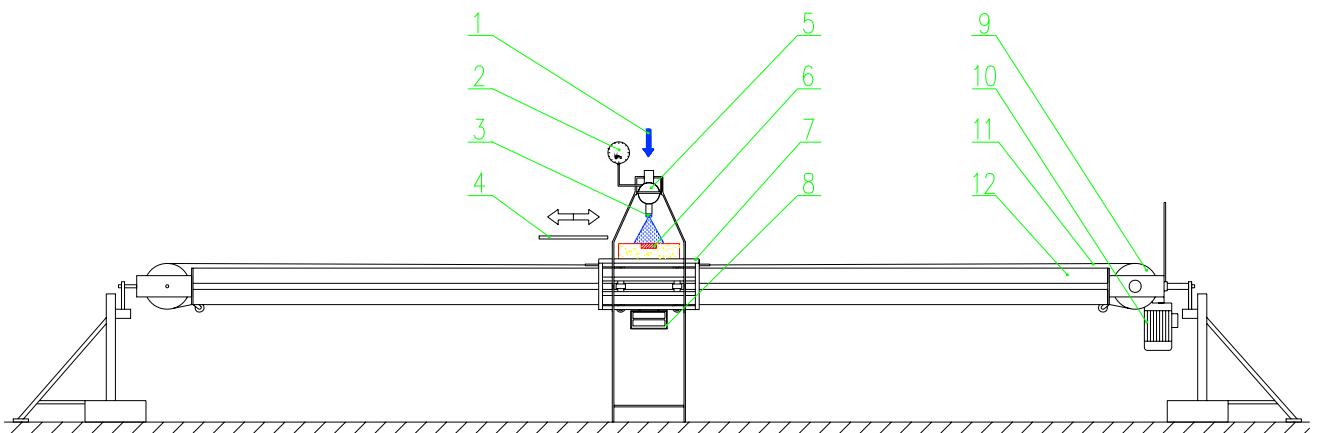
* Milan Hnízdl, Ing. Jan Boháček, Laboratoř přenosu tepla a proudění, Fakulta strojního inženýrství, VUT Brno, Technická 2896/2, 616 69, Brno, tel.: + 541 143286, e-mail: bohacek@lptap.fme.vutbr.cz, yhnizd01@stud.fme.vutbr.cz

2. Vliv vysokofrekvenčních pulzací na tloušťku zbylých sekundárních okují

Okuje jsou oxidy železa (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3), které vznikají na horkých površích ocelí, vystavených atmosférickému vzduchu. Při zpracování oceli např. kontinuální lití oceli, válcování za tepla jsou okuje nežádoucí, a proto se musí odstraňovat. Experimenty byly provedeny na desce z nízkouhlíkové oceli o chemickém složení uvedeném v Tab.2.1. Deska byla ohřívána v elektrické peci. Během ohřevu byla chráněna proti oxidaci. Takto se zabránilo tvorbě primárních okují. Po dosažení teploty cca 1000°C byla deska vyjmuta z pece a vystavena atmosférickému vzduchu po dobu 60 sekund. Na povrchu se vytvořily sekundární okuje. Deska byla upevněna na lineárním stendu (Obr.2.1) a vykonala jeden průjezd předepsanou rychlostí pod tryskou. Potom byla deska chráněna inertní atmosférou (N_2) do té doby, než zchladla na okolní teplotu. Polovina experimentální desky byla ostříkovaná v normálním režimu a druhá polovina v pulzním režimu. (Obr. 2.2, 2.3) Měření byla provedena pro různé tlaky (5, 20 a 40 MPa), různé trysky a pro různé rychlosti pojezdu. (0.1, 0.5, 1.0 m/s)

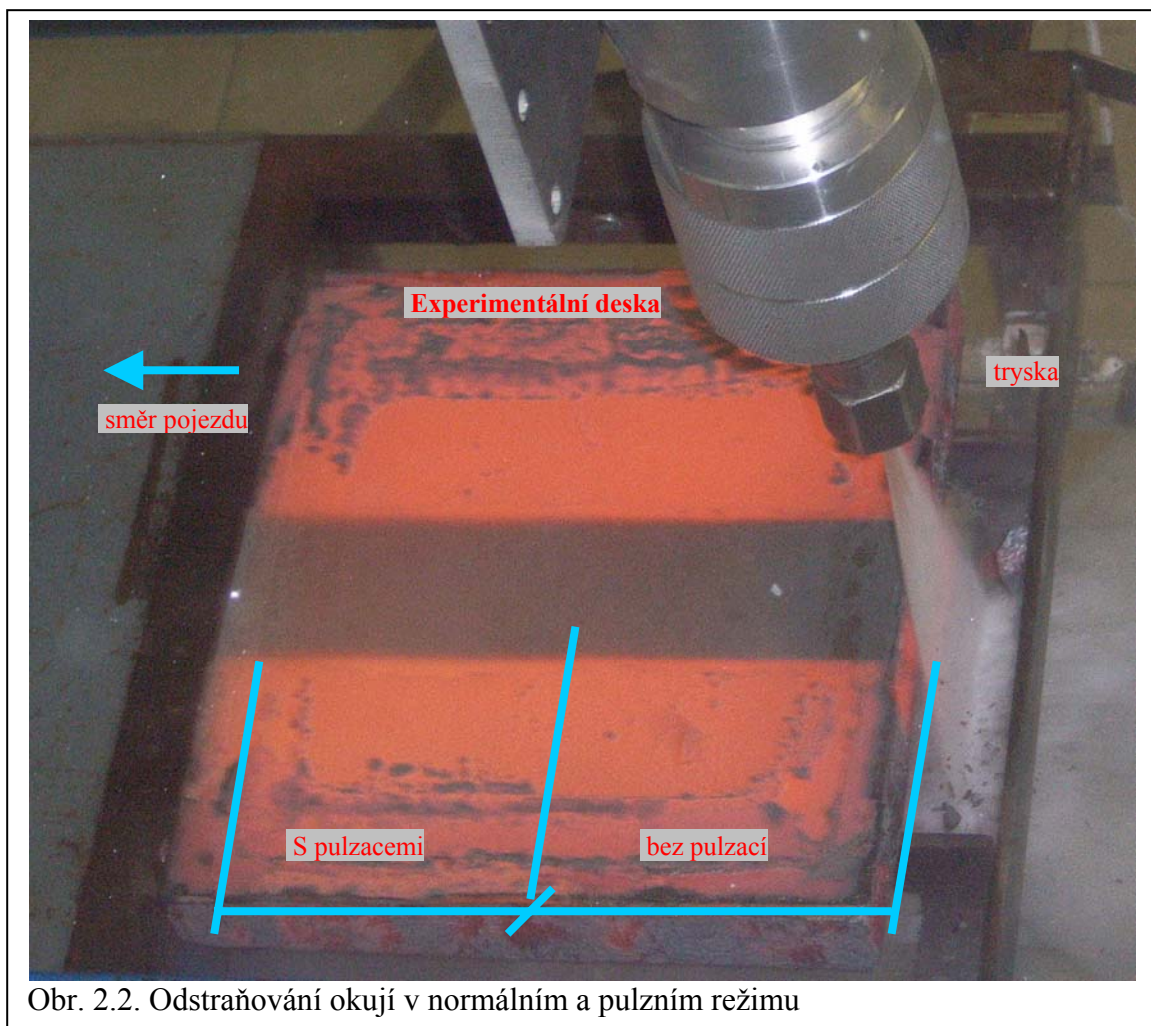
Tab.2.1 Obsah jednotlivých prvků v experimentální desce

C [%]	Mn [%]	Si [%]
0.100	0.30	0.02

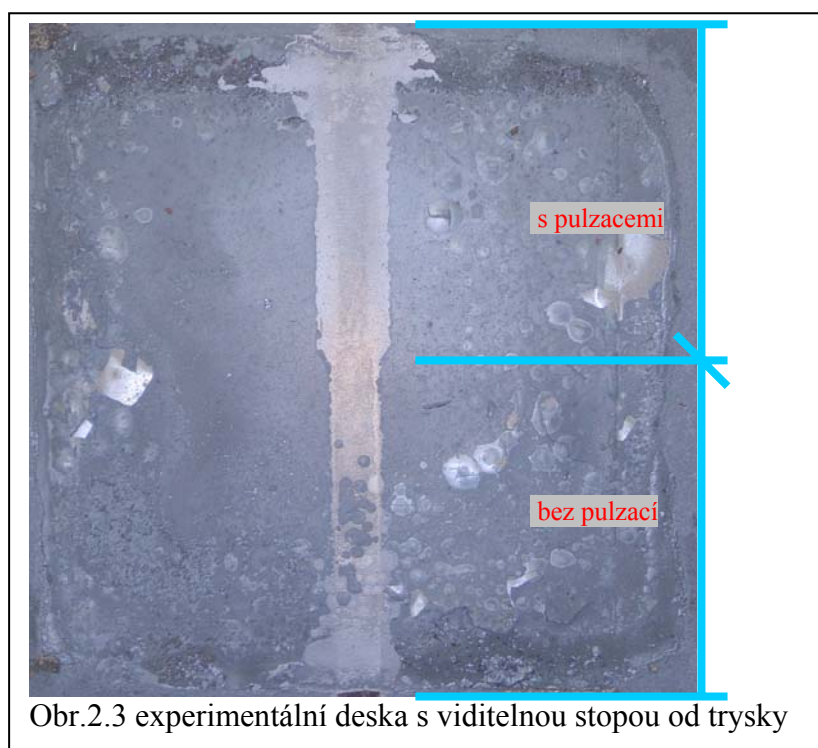


1	přívod média	7	vozik
2	tlakoměr	8	datalogger
3	tryska	9	poháněcí kladka
4	deflektor	10	elektromotor s převodovkou
5	rozvodná komora	11	tažné lano
6	testovaný vzorek	12	nosný rám

Obr.2.1 Laboratorní lineární stand



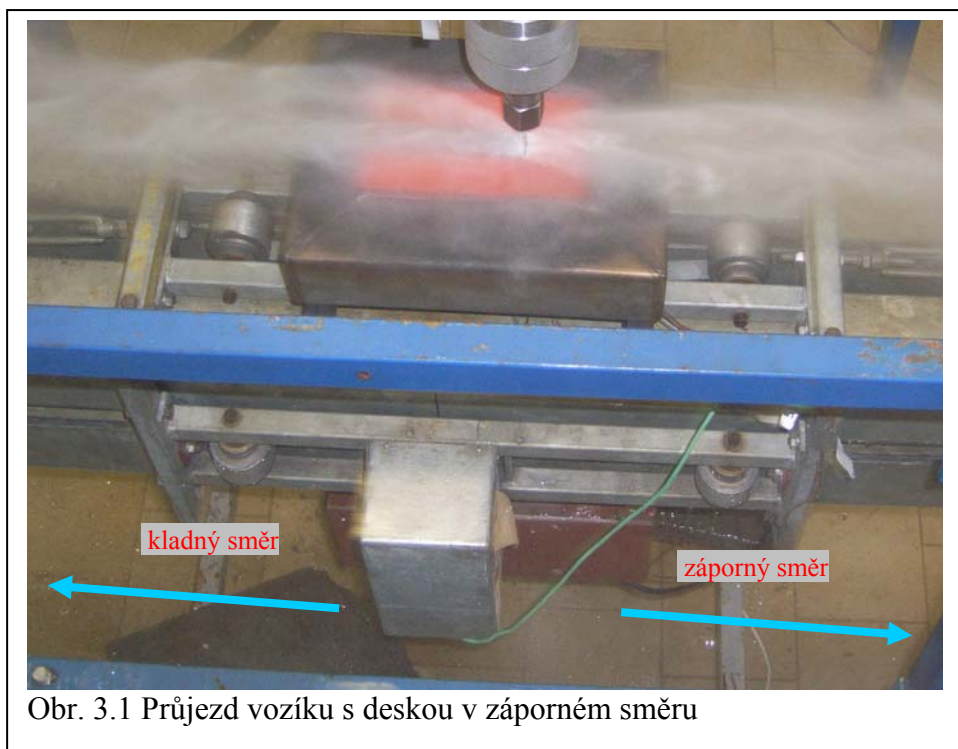
Obr. 2.2. Odstraňování okují v normálním a pulzním režimu



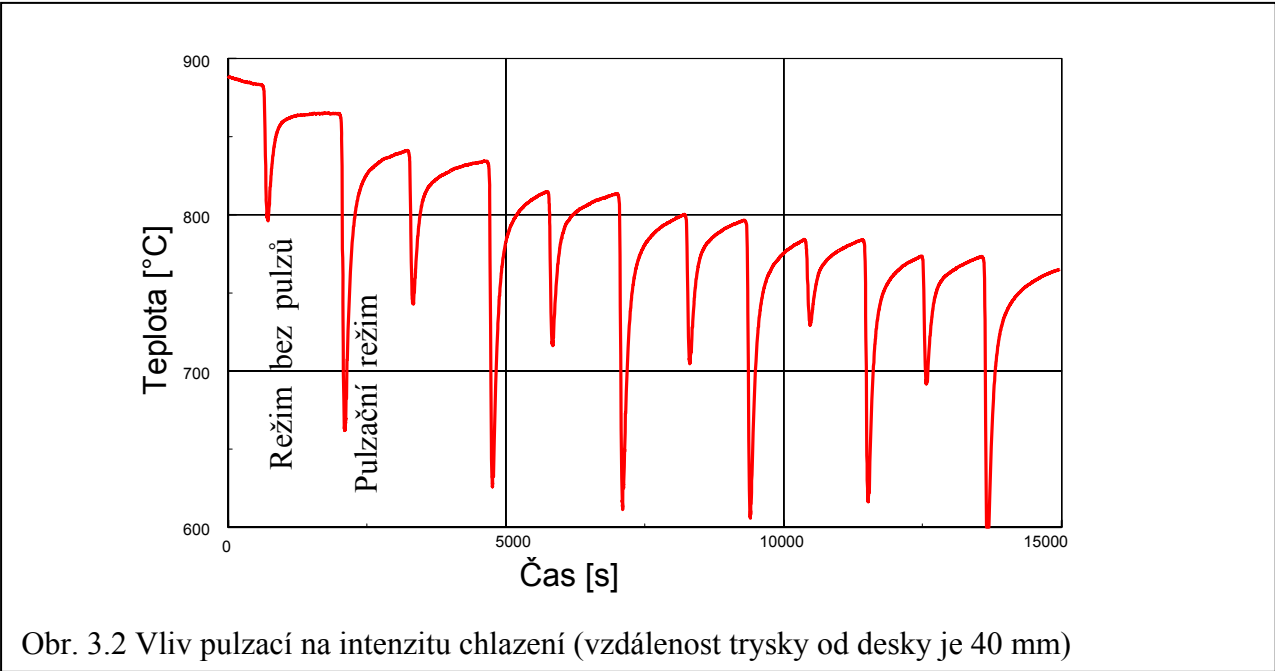
Obr.2.3 experimentální deska s viditelnou stopou od trysky

3. Vliv pulzací na přenos tepla

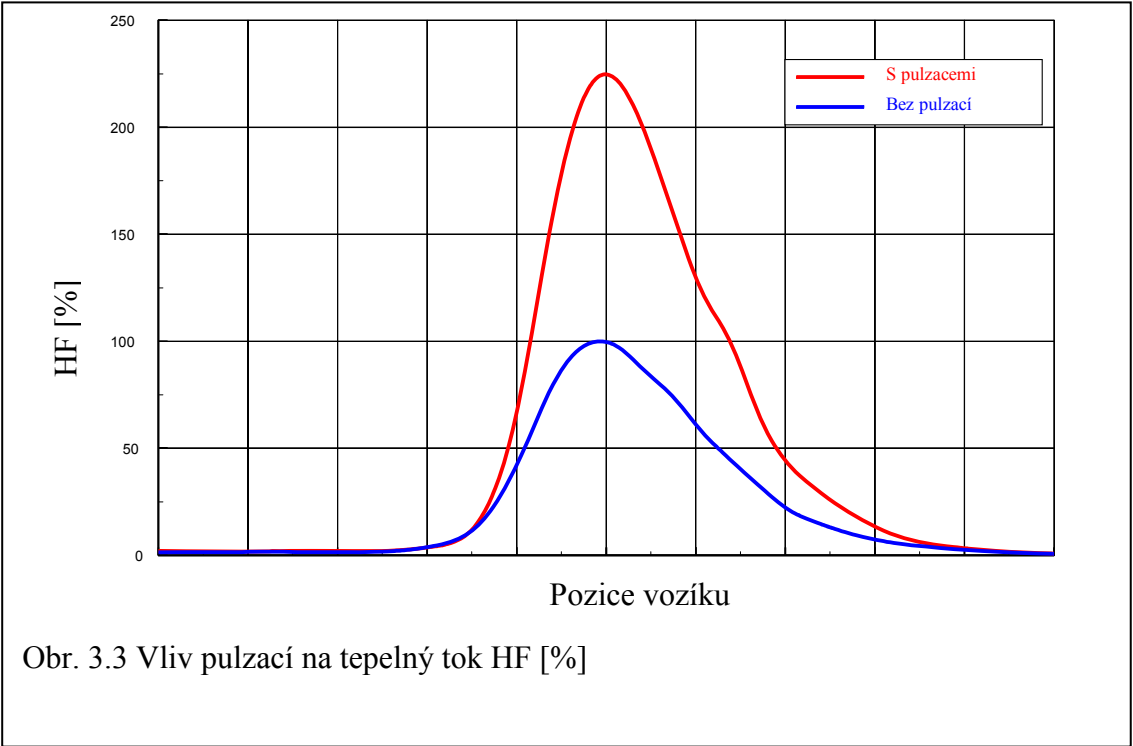
Pro teplotní experimenty byl využit lineární stend (Obr.3.1). Intenzita ostříku byla zkoumána na austenitické desce osazené dvěma teplotními čidly, která indikují teplotu v určité hloubce pod povrchem. Startovací teplota byla 900°C. Deska byla přišroubována k vozíku, který se pohyboval rychlostí 1m/s tam (kladný směr) a zpátky (záporný směr) pod tryskou. V kladném směru byly pulzace vypnuty, v záporném směru naopak zapnuty (Obr.3.1). Datalogger snímal teplotu na obou termočláncích s frekvencí 300 Hz. Experimenty byly provedeny pro různé nastavení tlaku (5, 20, 40 MPa) a vzdálenosti trysky od povrchu desky (7, 40, 100 mm). Příklad výsledku z tohoto experimentu (záznam teploty) je vidět na obrázku 3.2. Naměřená data byla vyhodnocena inverzní úlohou. Jako výstup inverzní úlohy lze využít například tepelný tok (HF). Vzájemné porovnání případu s pulsacemi a bez pulsací je provedeno v obrázku 3.3.



Obr. 3.1 Průjezd vozíku s deskou v záporném směru



Obr. 3.2 Vliv pulzací na intenzitu chlazení (vzdálenost trysky od desky je 40 mm)

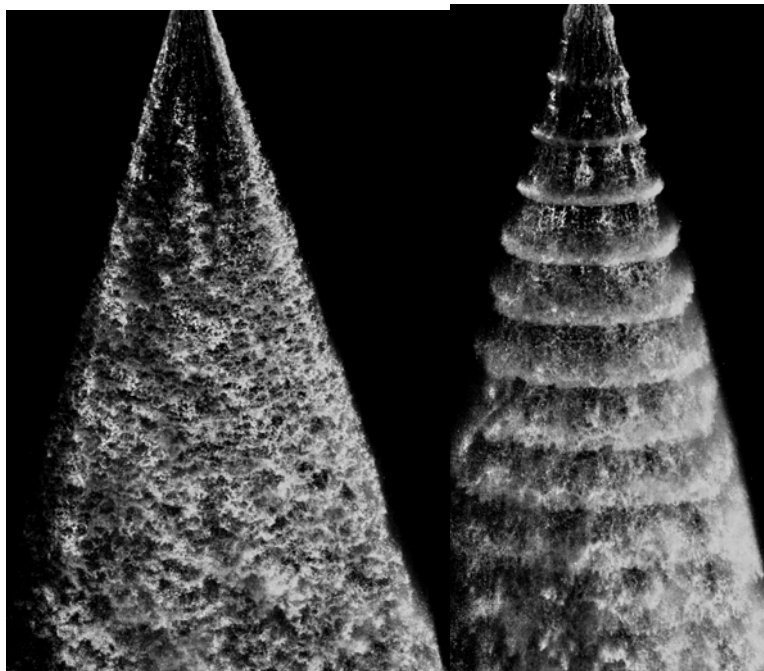


Obr. 3.3 Vliv pulzací na tepelný tok HF [%]

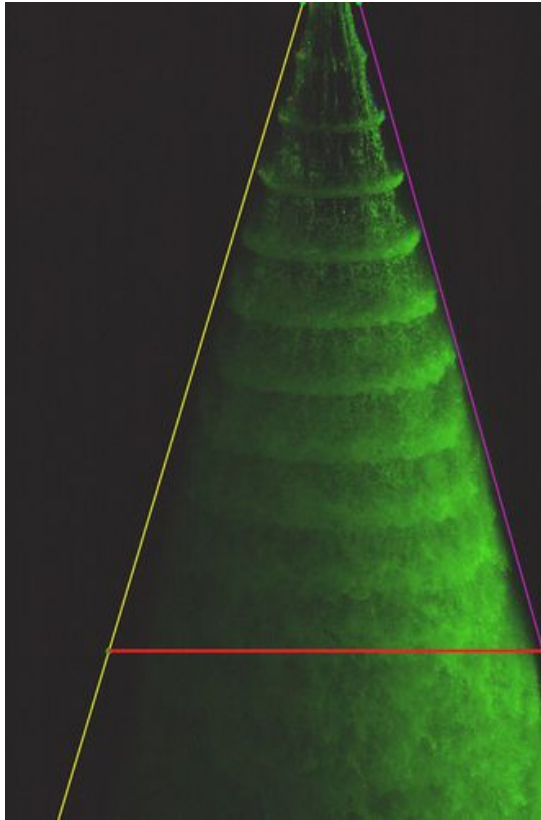
4. Obrazová analýza

Digitální fotografie je vyjádřena maticí A , která obsahuje reálná čísla. Tato čísla reprezentují jednotlivé body v obrazu, tzv. pixely. U černobílého obrázku reprezentuje jedno číslo z matice A jeden pixel. U barevného obrázku je jeden pixel tvořen 3 až 4 číslicemi z matice A ($R_{ed}, G_{reen}, B_{lue}$). Čtvrtý prvek je nevyužitý. Obrazy mohou být reprezentovány různými datovými typy. Nejčastějším případem jsou čísla typu byte (říkáme 8 bitový obrázek). Typ byte obsahuje čísla z intervalu $\langle 0,255 \rangle$. Tento typ je nejčastěji využíván, protože lidské oko je schopno rozeznat pouze 150 hodnot úrovní jasu, tedy interval $\langle 0,255 \rangle$ je dostačující pro prohlížení snímků pouhým okem. Bohužel pro matematické zpracování obrazu to nestačí a musí se použít typ Word (říkáme 16 bitový obrázek). Taková matice obsahuje čísla z intervalu $\langle 0,65535 \rangle$.

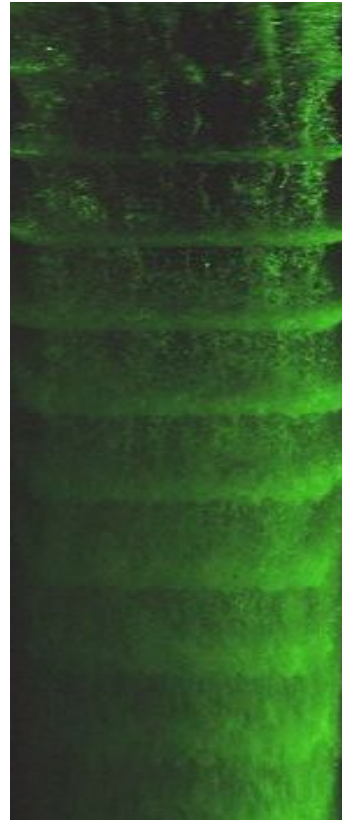
Této obrazové analýze předcházela rozsáhlá sběr fotografií (Obr. 4.1), které byly pořízeny fotoaparátem Nikon D70 s objektivem nikkor 60, makro. Všechny trysky byly fotografovány jak v normálním, tak v pulzním režimu, za stejných podmínek jako při předešlých experimentech (tlak – 50, 200, 400 bar). Tlaku 200 bar odpovídala výstupní rychlost proudu cca 300 m/s. Z toho důvodu byl použit pulzní laser (Nd-YAG LASER New Wave Gemini 15 Hz PIV, 120 mJ) jako osvětlovací technika. Světelný nůž laseru procházel podélnou osou paprsku. Doba záblesku laseru byla 1 μ s, frekvence záblesků byla 15Hz. Expoziční čas fotoaparátu byl 1/20 s. Jednotlivé obrazy trysek byly vyfoceny v 16 bitovém režimu a uloženy ve formátu RAW, což je formát obsahující pouze surová data (matematicky nezpracovaná). Tímto obrazem byly proloženy dvě přímky podél paprsku trysky (Obr. 4.2). Oblast mezi přímkami byla vykreslena do polárních souřadnic (Obr. 4.3). U všech hran obrazu byly jednotlivé barvy staženy ze své původní hodnoty až do nuly pomocí kladné x-ové části Gaussovy křivky (Obr. 4.4). Samotná Fourierova transformace je velmi složitý matematický postup, který převede obrázek do frekvenčního spektra (Obr. 4.5), ze kterého bude možno zjistit určité parametry charakterizující danou trysku.



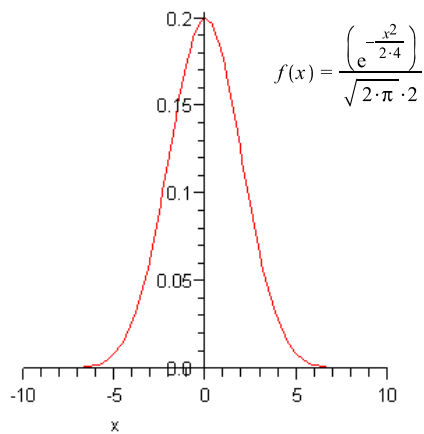
Obr.4.1 Vysokotlaká tryska pro odstraňování okují (bez pulzací vlevo, s pulzacemi vpravo)



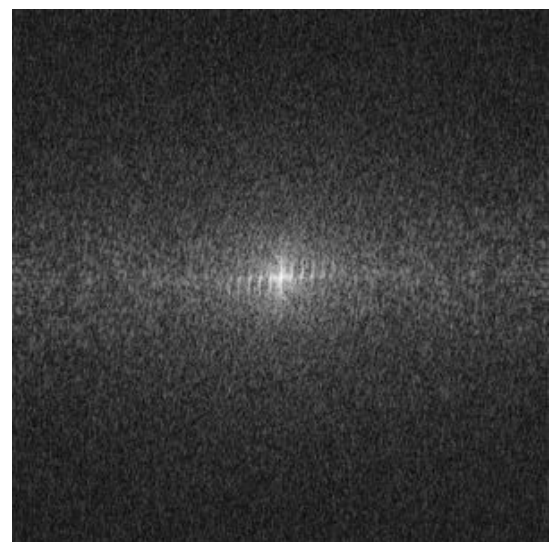
Obr. 4.2 Proložení přímkou podél paprsku trysky



Obr. 4.3 Obrázek v polární soustavě souřadné



Obr. 4.4 Použitá Gaussova křivka



Obr. 4.5 Frekvenční spektrum obrazu

5. Závěr

Při teplotních experimentech byly odhaleny výrazně vyšší chladící účinky v pulzním režimu než v režimu normálním. Vliv pulzního režimu na zvýšení intenzity chlazení je markantnější v případě 40 mm vzdálenosti trysky od povrchu (Obr. 3.2). Nicméně i při vzdálenosti trysky 100 mm od povrchu je vzrůst intenzity chlazení značný.

Při testech pro zjištění zbytkových okují byla zjištěna širší oblast odstraněných okují v pulzním režimu oproti normálnímu. Výrazně vyšší kvality však dosaženo nebylo.

Cílem obrazové analýzy bylo zjistit charakteristické vlastnosti paprsku v jednotlivých částech trysky zejména u pulzního režimu, porovnat vlastnosti paprsku v těchto částech a mezi jednotlivými tryskami. Nadále se tato analýza dá využít pro optimalizaci parametrů pulzního generátoru tak, aby dosaženo co nejvyšších užitečných vlastností vodního paprsku.

6. Poděkování

Tento výzkum byl finančně podpořen v rámci specifického výzkumu Fakulty strojního inženýrství, č. VAV13620.

7. Literatura

Bendig, Raudenský M., Horský J.: Descaling with High Pressure Nozzles, ILASS – Europe 2001, Zurich, 2-6 September 2001.

Druckmüller M., Rušin V., Minarovjeh M.: Image processing of total solar eclipse images, Scientific Image Analyzer ACC 6.0, Sofo, Brno 2006.

Druckmüller M., Antoš M., Druckmüllerová H.: Vizualizace sluneční korony, Scientific Image Analyzer ACC 6.0, Sofo, Brno 2006

Raudenský M., Horský J., Kotrbáček P.: Hydraulic Descaling of Primary and secondary Scale, 6th conference Steel Strip 2001, Rožnov pod Radhoštěm, Czech Republic, September 25-26, 2001, pp. 393–399.

Štarha P., Druckmüller M.: Adaptive contrast control, Image Structure and Object Analyser Manual.