



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

GlidingArc a jeho aplikace

Vypracoval: Lukáš Koblíček
Vedoucí práce: RNDr. Kříž Pavel, Ph.D.
České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 7. 7. 2017

.....
Lukáš Kobrle

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá vlivem plazmového výboje GlidArc na vybrané parametry vody, mezi které se řadí hustota, povrchové napětí, dynamická viskozita, tepelná kapacita a pH. Teoretická část je stručným úvodem do problematiky plazmatu a výbojů v plynech. Praktická část obsahuje výsledky měření a příslušné vypočtené hodnoty. V závěru práce je shrnutí a vyhodnocení celého zkoumání.

Klíčová slova: GlidArc, výboj, plazma, parametry vody, pH vody

Abstract:

The bachelor thesis concerns itself with plasma discharge Glidarc influence on choosen water parameters, like density, surface tension, dynamic viscosity, heat capacity and pH. The theoretical part is a brief introduction to plasma and gas-discharge matters. The practical part contains measurment outcome and corresponding calculations. The conclusion includes a summary and evaluation of the whole research.

Keywords: GlidArc, discharge, plasma, water parameters, pH water

Poděkování:

Velice děkuji mému vedoucímu práce panu doktoru Křížovi za jeho profesionální přístup, cenné rady a čas, který investoval. Dále děkuji firmě SurfaceTreat, a.s. za možnost provádět výzkumná měření.

Obsah

1	Úvod	6
2	Teoretická část.....	7
2.1	Plazma	7
2.2	Debyeovo stínění, Debyeova délka.....	7
2.3	Plazmová frekvence	8
2.4	Dělení plazmatu	8
3	Výboj v plynech	10
3.1	Výboj v plynech	10
3.2	Nesamostatný a samostatný výboj v plynech.....	10
3.3	Townsendova teorie samostatného výboje.....	11
3.4	Doutnavý výboj.....	12
3.5	Obloukový výboj.....	12
3.6	Výboj GlidArc.....	13
3.7	Fáze výboje GlidArc	14
3.8	Využití GlidArc.....	15
4	Praktická část.....	16
4.1	Aparatura GlidArc	17
4.2	Vyhodnocování dat	18
4.3	Měření hustoty	19
4.4	Měření povrchového napětí.....	23
4.5	Měření dynamické viskozity	28
4.6	Měření tepelné kapacity	33
4.7	Měření pH	38
5	Závěr.....	47
	Seznam použité literatury	48
	Seznam obrázků:.....	49
	Seznam tabulek:.....	49
	Seznam grafů:	50

1 Úvod

Tématem práce je zjištění vlivu atmosférického plazmového výboje GlidArc na parametry vody. Z parametrů vody jsme vybrali ty, které jsou snadno měřitelné a na jejichž měření fakulta vlastní přístroje. Mezi vybrané parametry se řadí hustota, povrchové napětí, dynamická viskozita, měrná tepelná kapacita a pH.

Teoretická část je stručným úvodem do problematiky plazmatu a výboje GlidArc. Aparatura GlidArc je velice zajímavá a stále ne zcela prozkoumaná, co se využití týče, a s tím souvisí fakt, že se využití vlastností výboje začíná uplatňovat v čím dál více odvětví. Různorodost těchto odvětví je překvapivá, protože výboj GlidArc si našel uplatnění v průmyslu, zdravotnictví, zemědělství a je očekáváno jeho proniknutí i do dalších oblastí našeho každodenního života.

V praktické části jsou uváděny výsledky měření první a následně druhé série, pro potvrzení správnosti vyvozených závěrů na základě série první. Dále se zde nacházejí vypočtené průměry z naměřených hodnot a příslušné směrodatné odchylky. Veškeré výpočty byly prováděny v aplikaci Microsoft Excel.

Práce s plazmovým výbojem GlidArc byla velice poutavá a pozornost přitahující, už snad díky vizuální podobě výboje. Dále měnící se hodnoty prvního měření sloužily taktéž jako motivace pro další zkoumání.

Závěr obsahuje stručné shrnutí výsledků a závěrů práce. Je zde odpovězeno pouze na otázku zda ano, či ne, a tím práce umožňuje položení nových otázek, které by mohly být zodpovězeny při dalším zkoumání.

2 Teoretická část

2.1 Plazma

Plazma je považováno za čtvrté skupenství hmoty. Odhaduje se, že až 99% veškeré hmoty se nachází právě v tomto skupenství.

Plazma je kvazineutrální plyn nabitých a neutrálních částic, který vykazuje kolektivní chování. [1]

V kvazineutrálním plynu je množství záporného náboje stejné jako množství kladného náboje. Plyn je tedy neutrální jako celek, ale jeho nabitě částice se mohou seskupovat a vytvářet lokální náboje. [2]

V ionizovaném plynu se nabitě částice mohou vzájemně ovlivňovat i na dálku. Elektrická pole, která byla vytvořena nabitými částicemi, silově působí na ostatní nabitě částice až do vzdálenosti Debyeovy stínící délky. Kladně a záporně nabitě částice se pohybují podle svého náboje, chovají se kolektivně. [2]

2.2 Debyeovo stínění, Debyeova délka

Základním rysem chování plazmatu je jeho schopnost odstínit elektrické potenciály, které jsou do něho vloženy. [1]

Interakce dvou elektricky nabitých částic v plazmatu je závislá na vzdálenosti těchto částic vůči sobě. Při dostatečně malé vzdálenosti bude interakce probíhat podle Coulombova zákona. Budou-li se nabitě částice nacházet ve větší vzdálenosti, dojde ke stínění Coulombovy interakce, které vyvolají volné nosiče náboje v plazmatu se vyskytující. [3]

Debyeova délka udává vzdálenost, do které jsou náboje v plazmatu vnímány jako nestíněné a je definována vztahem:

$$\lambda_D \equiv \left(\frac{\epsilon_0 K T_e}{n e^2} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

kde n značí hustotu nabitých částic, e náboj elektronu, ϵ_0 permitivitu vakua, K Boltzmanovu konstantu a T_e elektronovou teplotu. [3]

2.3 Plazmová frekvence

Dojde-li k narušení stability plazmatu, vytvoří se takové elektrické pole, které se svými účinky snaží obnovit neutralitu plazmatu. Vychýlené elektrony vykonávají kmitavý pohyb, který se nazývá plazmová oscilace. Je to způsobeno setrvačností elektronů, která jim nedovolí se v rovnovážné poloze zastavit. Úhlová frekvence takových kmitů je plazmová frekvence. [2]

Plazmová frekvence ω_P ve studeném plazmatu je dána vztahem:

$$\omega_P = \sqrt{\frac{Ne^2}{\epsilon_0 m_e}}, \quad (2)$$

kde N je koncentrace plazmatu, e je náboj elektronu, ϵ_0 je permitivita vakua a m_e je hmotnost elektronu.[2]

2.4 Dělení plazmatu

Podle teploty

Rozlišujeme vysokoteplotní a nízkoteplotní plazma. Toto rozdělení má charakter konvence, protože neexistují fyzikální důvody, které by stanovily objektivní hranici. Kritériem pro rozdělení je střední energie nabitých částic. [4]

Střední energie nabitých částic vysokoteplotního plazmatu je větší než 100 eV. Teplota zde přesahuje 1 MK. Můžeme se s ním setkat v experimentech s řízenou termonukleární syntézou. Z astrofyziky víme, že Slunce a hvězdy jsou tvořeny vysokoteplotním plazmatem. [4]

Teplota elektronů nízkoteplotního plazmatu může dosahovat až 10^5 K. Můžeme se s ním setkat v osvětlovacích zářivkách, výbojkách nebo i při svařování. [4]

Podle stupně ionizace

Podle stupně ionizace dělíme plazma na slabě a silně ionizované. Ve slabě ionizovaném plazmatu je koncentrace nabitých částic zanedbatelně malá, v porovnání s koncentrací neutrálních molekul. V silně ionizovaném plazmatu naopak převládá koncentrace nabitých částic nad koncentrací neutrálních molekul. [4]

Stupeň ionizace, který můžeme očekávat v plynu, kde je nastolena tepelná rovnováha, popisuje Sahova rovnice:

$$\frac{n_i}{n_n} \approx 2,4 \times 10^{21} \frac{T^{3/2}}{n_i} e^{-U_i/KT}, \quad (3)$$

kde n_i a n_n jsou hustoty (počet částic v m^3) ionizovaných a neutrálních atomů, T je teplota plynu v kelvinech, K je Boltzmannova konstanta a U_i je ionizační energie plynu (počet joulů potřebný na odtržení vnějšího elektronu od atomu). [1]

Izotermické a neizotermické plazma

Rozlišujeme plazma izotermické a neizotermické. Všechny částice izotermického plazmatu mají stejnou teplotu. Částice neizotermického plazmatu nemají stejnou teplotu, zde teplota elektronů převažuje nad teplotou ostatních typů částic. Vznik určitého typu plazmatu je determinován tím, jakým způsobem byla plazmatu dodávána energie. Izotermicita bývá obvykle spojena s vysokou teplotou plazmatu, není to ale podmínkou. Platí však, že neizotermické plazma v přírodě samovolně zaniká a musí se udržovat uměle. [5]

3 Výboj v plynech

3.1 Výboj v plynech

Vzduch je za normálních okolností dobrým izolantem, ale je ho možné ionizovat rozštěpením některých molekul, v plynu přítomných, na elektrony a kladné ionty. [6] Tento jev nastává v momentě, kdy dojde k přenesení elektrického proudu mezi dvěma místy s různým elektrickým potenciálem. Vzduch je možné ionizovat například přiblížením dvou elektrod na krátkou vzdálenost a přivedením napětí, čímž dojde k vytvoření elektrického pole, které bude dodávat svým působením zrychlení elektronům směrem ke kladně nabitě anodě a kladně nabitých iontům směrem k záporně nabitě katodě. Právě tímto pohybem elektricky nabitých částic dojde k přenosu elektrického proudu mezi elektrodami a tím vyvolání elektrického výboje, který dělíme podle vzniku na nesamostatný a samostatný. Dále je možné dělit elektrické výboje v plynech podle tlaku, za kterého probíhají, a to za sníženého, normálního a zvýšeného tlaku.

3.2 Nesamostatný a samostatný výboj v plynech

Nesamostatný výboj v plynu je vyvolán elektrickým proudem, který se udržuje pouze po dobu působení ionizátoru. Ionizátorem mohou být například výše zmíněné elektrody s různým elektrickým potenciálem. Hustota elektrického proudu je při tomto typu výboje velmi nízká a její hodnota se pohybuje kolem 10^{-3} až $10^{-2} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$. Při neustálém zvyšování napětí dojde v určitém okamžiku k přechodu z nesamostatného výboje na některou formu samostatného výboje. [7]

Samostatný výboj v plynu je vyvolán elektrickým proudem, který se udržuje i po ukončení působení ionizátoru. Při nízkém napětí většina iontů rekombinuje dříve, než dorazí na elektrody. V této fázi je počet elektronů, které předají svůj náboj elektrodám, přímo úměrný napětí a platí tedy Ohmův zákon. S rostoucím napětím se pohyb elektronů zrychluje a při určitém napětí U_n jich převážná část nestačí rekombinovat a pronikne k elektrodám. Plynem prochází nasycený proud, který se při dalším růstu napětí po jistý čas nemění. Dojde-li k překročení zápalného napětí U_Z , začne proud opět narůstat vlivem ionizací nárazem, kdy se elektrony a ionty srážejí s neutrálními molekulami, kterým předávají kinetickou energii. Je-li kinetická energie dostatečně

velká, dojde při jejím předání k ionizaci neutrálních molekul. Tato ionizace způsobuje lavinovité narůstání počtu iontů a nastává samostatný výboj. [6]

3.3 Townsendova teorie samostatného výboje

Jak již bylo řečeno, podmínkou vzniku samostatného výboje je dostatečně silné elektrické pole, které urychlí volné elektrony na energie, při kterých jsou schopny ionizovat atomy nebo molekuly a urychlí ionty u katody tak, aby jejich dopadáním na katodu docházelo k uvolňování elektronů. [8]

Popsání toho jevu je možné pomocí rovnice:

$$\frac{dn_e}{dx} = \alpha n_e, \quad (4)$$

kde α je Townsendův ionizační koeficient. Integrací rovnice (4) získáme nový tvar:

$$n_e(x) = n_{e0} e^{\alpha x}. \quad (5)$$

Podle vztahu (5) vytvoří každý elektron svými srážkami n_{e0} nových elektronů, které dopadají na anodu a vzniklé kladné ionty dopadají na katodu. Dojde k uvolnění elektronů druhé generace n_{e2} a pro takovéto elektrony platí následující rovnice:

$$n_{e2} = n_{e0}(e^{\alpha d} - 1)\gamma, \quad (6)$$

kde d je vzdálenost elektrod a γ je druhý Townsendův koeficient. [8]

K tomu, aby začal probíhat v plynu samostatný výboj musí být splněna podmínka:

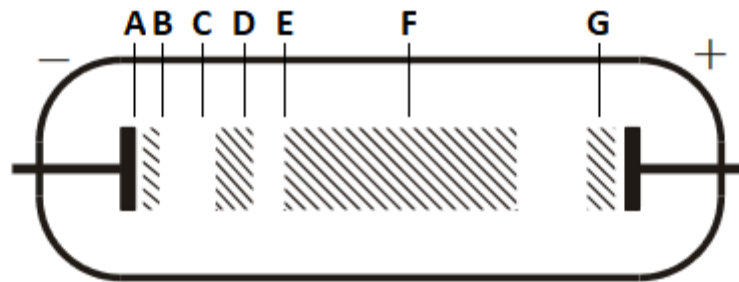
$$n_{e2} \geq n_{e0} \rightarrow (e^{\alpha d} - 1)\gamma \geq 1. \quad (7)$$

Součin $(e^{\alpha d} - 1)\gamma$ udává počet uvolněných elektronů z povrchu katody. [8]

Řadíme sem více typů výbojů, ale zaměříme se pouze na dva, a to na obloukový a doutnavý výboj. GlidArc je jistý typ výboje, který má charakteristiky jak obloukového, tak i doutnavého výboje. [9]

3.4 Doutnavý výboj

Doutnavý výboj většinou probíhá za sníženého tlaku, kde se jeho hodnota pohybuje okolo 1 až 1000 Pa. Dále je charakteristický nízkou hustotou proudu, která dosahuje hodnot mezi 0,1 až 100 mA, světelným zářením plynu ve značné části výbojové dráhy a poměrně nízkou teplotou. Charakter světelného záření je dán typem plynu, ve kterém výboj probíhá. [7]



Obrázek č. 1: Průběh doutnavého výboje [2]

Na obrázku č. 1 je zachycen průběh doutnavého výboje a jednotlivým částem jsou přiřazena písmena v abecedním pořádku. Oblast A se nazývá katodový tmavý prostor, kde dochází k urychlení elektronů směrem k anodě a kladně nabitých iontů směrem k anodě, oblast B katodové světlo, kde dochází k ionizaci a záření iontů, oblast C Crookesův tmavý katodový prostor, kde dochází k urychlení elektronů, oblast D prostor doutnavého katodového světla, kde elektrony ztrácejí část své energie ionizačními a excitačními srážkami, oblast E Faradayův tmavý prostor, kde elektrony a ionty rekombinují, oblast F kladný světelný sloupec, kde září neutrální molekuly a atomy a dále zde pronikají nabitě částice ke stěně, kde dochází k jejich rekombinaci a poslední oblastí je G anodové doutnavé světlo. [8]

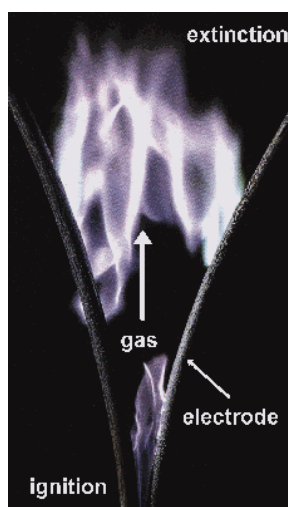
3.5 Obloukový výboj

Obloukový výboj vznikne v okamžiku, kdy dojde ke kontaktu elektrod. Výhodou je, že k jeho vzniku dojde ve velmi širokém rozmezí tlaků, do kterého patří i běžný atmosférický tlak. Při kontaktu elektrod dojde k jejich zahřátí a po oddálení ke vzniku obloukového výboje, ke kterému je potřeba nízké napětí od 20 do 50 V, ale

vysoká hodnota stacionární proudové hustoty dosahující až $10^5 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$. Růst hodnoty stacionární proudové hustoty způsobuje pokles napětí na elektrodách, a proto je nutné zařadit do obvodu vhodný rezistor. Teplota elektrod dosahuje značné výše, a to až 3000 - 4000 °C na katodě, nicméně experimenty ukazují, že pro udržení výboje není tato teplota podstatná. Naopak teplota na anodě je již důležitější, a proto je v obvodu často chlazená, aby nedocházelo k jejímu přehřátí, což by mělo za následek tavení anody, které by uvolňovala do výboje nežádoucí atomy. [4][7][8]

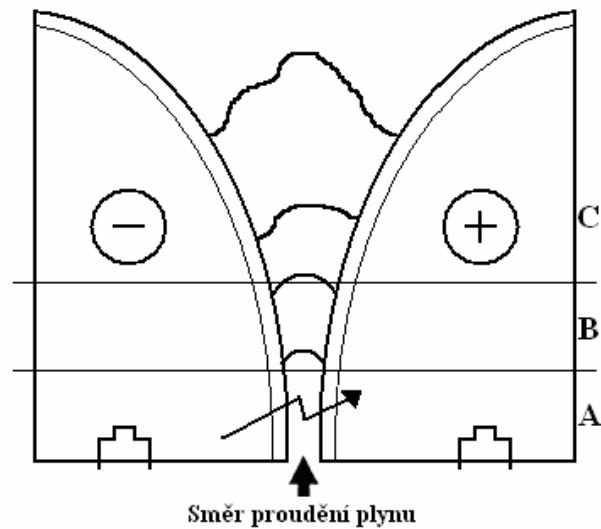
3.6 Výboj GlidArc

Klouzavý elektrický výboj GlidArc je zdrojem netermálního (neizotermického) plazmatu, které je generováno obvykle za atmosférického tlaku a vylepšuje různé procesy prostřednictvím aktivních katalytických složek, jako jsou elektrony, ionty a excitované atomy. Zdroj je tvořen nejméně dvěma rozbíhajícími se elektrodami, jejichž uspořádání, tvar a materiál je proměnlivý, na které je přiváděn pracovní plyn nebo pára. Mezi elektrodami je generováno vysoké napětí, které dosahuje hodnoty až 30 kV a relativně nízký proud, kde se hodnoty pohybují mezi 0,05 až 5 A. Výboj vzniká v místě, kde je vzdálenost elektrod nejmenší, pohybuje se po okraji elektrod a zaniká. Pohyb je vyvolán jak proudícím pracovním plynem, tak i rozdílem hustot plazmatu a okolního prostředí, což má za následek vznik prosté tlakové síly působící ve směru proudění pracovního plynu. Další výboj vzniká okamžitě v blízkosti počátečního bodu. Elektrody nejsou chlazeny vodou, nedochází ke ztrátám energie, která je přímo přiváděna na ošetřovaný předmět. [10]



Obrázek č. 2: Výboj GlidArc mezi dvěma elektrodami [10]

3.7 Fáze výboje GlidArc



Obrázek č. 3: Fáze výboje GlidArc [9]

Výboj Glidarc můžeme rozdělit do tří fází. Oblast elektrického průrazu A, termálního plazmatu B a netermálního plazmatu C. Nový výboj vznikne po zhašení, kdy je v oblasti C teplota elektronů řádově vyšší, než teplota neutrálního plynu. Nastane průrazová fáze, kdy se nový výboj objeví znovu v oblasti A. [9]

V oblasti elektrického průrazu, kde vysokonapěťový generátor poskytuje dostatečně silné elektrické pole, dochází k zapálení výboje mezi elektrodami v místě jejich nejmenší vzdálenosti. Pro zapálení výboje mezi elektrodami, které jsou od sebe vzdáleny 1 mm, je hodnota průrazného napětí přibližně 3 kV. Dále následuje oblast termálního plazmatu, kde dochází k ustálení plazmového kanálu. Teplota neutrálního plynu dosahuje hodnoty až 10 000 K a je srovnatelná s teplotou elektronů. Poslední oblastí je netermální plazma, kde dochází k přerušení obvodu, tím se zvýší napětí na elektrodách a dojde k opětovnému zapálení výboje. K přerušení dojde, protože soustava už není schopna v této vzdálenosti poskytnout plazmatu dostatečně velké napětí a proud, čímž dojde k narušení termodynamické rovnováhy. Zapalování, klouzání a přerušování klouzavého výboje jsou procesy, které se neustále opakují. Napětí potřebné na zapálení každého dalšího výboje je již nižší, a to z důvodu ionizace plynu, vyvolané prvním výbojem. [9]

3.8 Využití GlidArc

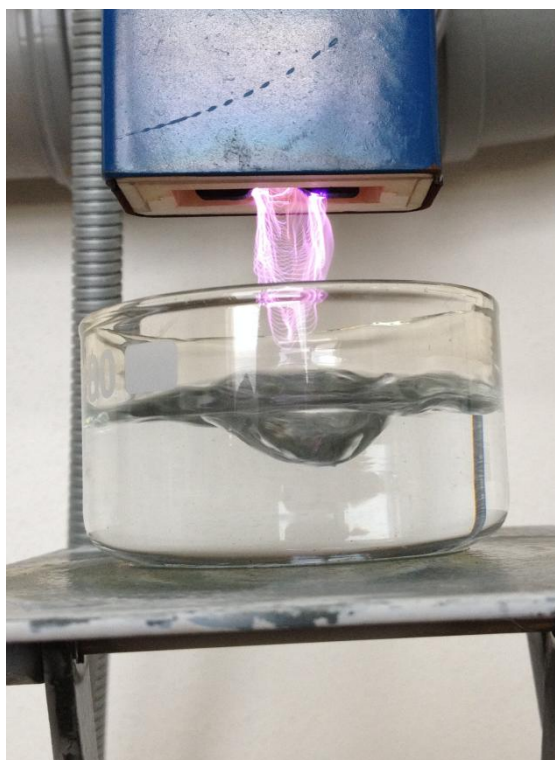
Bylo provedeno mnoho studií, které vedly ke zjištění, že plazmový zdroj GlidArc má velmi širokou škálu uplatnění. Je známo více než dvacet francouzských a z jiných zemí pocházejících patentů. [10]

Využívá se například pro dekontaminaci vody a vzduchu, degradaci různých sloučenin, modifikaci povrchů pevných látek a produkci vodíku. Výhodou pro širokou škálu uplatnění je fakt, že dochází ke generaci nízkoteplotního plazmatu, které produkuje relativně velký počet elektricky nabitých a vysoce reaktivních částic. [11]

Dále své využití nachází při aktivaci organického materiálu, generaci UV záření, zažehnutí paliva, disociaci CO_2 , transformaci methanu na acetylen a vodík, snižování koncentrace N_2O atd. [11]

4 Praktická část

Veškeré parametry vody byly naměřeny po identickém ošetření, které probíhalo 10 minut. Hladina vody byla vzdálena od elektrod 4 cm, pracovní plyn byl nastaven na 30 SCFH (standardní kubická stopa za hodinu) a objem ošetřované vody byl 100 ml. Elektrody z nerezového materiálu byly od sebe vzdáleny 3 mm. Na obrázku č. 4 je zachycené ošetřování vody při výše zmíněných parametrech.



Obrázek č. 4: Zachycené ošetřování

Ošetřování bylo prováděno v laboratoři Jihočeského vědeckotechnického parku a neošetřené i ošetřené vzorky vody byly skladovány v laboratoři katedry fyziky v budově Jihočeské univerzity pedagogické fakulty. Veškeré vzorky byly uchovávány mimo dosah slunečního světla v zatmavených skleněných nádobách se zábrusem.

Po každém provedeném měření byl vzorek vyměněn, aby nedocházelo ke zkreslení hodnot. Vždy proběhly dvě série měření, aby bylo možné naměřené hodnoty jedné sady porovnat se sadou jinou, která nebyla ošetřena ve stejný den. Pouze u měření tepelná kapacity byla provedena jedna série.

4.1 Aparatura GlidAde

Plazmová hlavice zachycená na obrázku č. 4 byla napájena ze zdroje vysokého napětí GVN1k-2011 firmy RADAN, s.r.o., který se nachází na obrázku č. 5, jehož parametry uváděné výrobcem jsou: napětí 230 V, frekvence 50Hz, maximální příkon 1,3 kW, krytí IP20. Proudící pracovní plyn byl generován pomocí vzdušného kompresoru Orlík PKS 9-2/100. Anemometr Omega FL-2008, zabudovaný do zdroje vysokého napětí, umožňoval udržení stálé hodnoty SCFH v rozmezí od 10 až 100 SCFH. Nerezové elektrody, mezi nimiž vznikal výboj, byly uloženy v ocelovém boxu, izolovány materiálem PTFE a vzdáleny od sebe 3 mm.



Obrázek č. 5: Zdroj vysokého napětí GVN1k-2011

4.2 Vyhodnocování dat

Veškeré výpočty byly prováděny v aplikaci Microsoft Excel. Pro výpočet aritmetického průměru se používal klasický vzorec:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (8)$$

kde \bar{x} je aritmetický průměr, n soubor hodnot a x_i součet všech průměrovaných hodnot.

Pro výpočet pětinasobku průměrných odchylek jednotlivých hodnot byl použit vzorec:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \cdot 5, \quad (9)$$

kde σ je pětinasobek průměrné odchylky jednotlivých hodnot, n soubor hodnot, x_i součet všech průměrovaných hodnot a \bar{x} aritmetický průměr.

Pravděpodobná odchylka aritmetického průměru byla počítána pomocí vzorce:

$$\vartheta\rho = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (10)$$

kde $\vartheta\rho$ je pravděpodobná odchylka aritmetického průměru, n soubor hodnot, x_i součet všech průměrovaných hodnot a \bar{x} aritmetický průměr.

Z naměřených hodnot byla vždy vypočítána odchylka od příslušného aritmetického průměru. Vypočtená odchylka každé hodnoty byla poté porovnávána s příslušnou pravděpodobnou odchylkou aritmetického průměru. V případě, kdy by odchylka hodnoty dosahovala vyššího čísla než pravděpodobná odchylka aritmetického průměru, by došlo k jejímu vypuštění. Nicméně k vypuštění u žádné z hodnot nedošlo, a tak veškeré přefiltrované hodnoty odpovídají původním naměřeným.

4.3 Měření hustoty

Hustota je definována vztahem:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (11)$$

kde ρ je hustota, m hmotnost a V objem. Tento vztah sloužil přímo k určování hodnoty hustoty. Zvolenou metodou se stalo měření pomocí pyknometru o objemu 50 ml a hmotnosti 20,246 g. Veškerá vážení byla prováděna analytickými váhami značky Kern modelem ABJ 80-4NM. Pyknometr byl plněn pomocí mechanické pipety Biohit Proline s fixním objemem 5 ml. Na obrázku č. 6 je již zmíněný pyknometr a pipeta.



Obrázek č. 6: Mechanická pipeta a pyknometr

Měření probíhala v laboratoři, ve které byla teplota 20 °C. Pomocí mechanické pipety docházelo k plnění pyknometru tak, aby hladina vody uvnitř překročila o malý kousek rysku, a nedošlo tak k vytvoření vzduchové bubliny, která by ovlivnila výsledek měření. Následně došlo po vložení zátky do pyknometru k jeho důkladnému vysušení, aby kapalina stékající po vnější straně neměla vliv na výsledek. Důkladně osušený pyknometr byl poté položen na zkalibrované váhy a byla zapsána hodnota. Po zvážení bylo nutné vodu vylít a naplnit pyknometr novým vzorkem.

Měření neošetřené a ošetřené vody bylo prováděno hned po sobě, aby došlo k co nejmenšímu zkreslení hodnot faktory, jako jsou jiná kalibrace váhy, jiná teplota v místnosti nebo osobní chyba.

Tabulka č. 1: Měření hustoty neošetřené vody

	m [g]	m [g]		m [g]
	71,392	51,146	0,0006	51,146
	71,386	51,140	0,0066	51,140
	71,397	51,151	0,0044	51,151
	71,395	51,149	0,0024	51,149
	71,389	51,143	0,0036	51,143
	71,396	51,150	0,0034	51,150
	71,395	51,149	0,0024	51,149
	71,396	51,150	0,0034	51,150
	71,389	51,143	0,0036	51,143
	71,391	51,145	0,0016	51,145
	71,396	51,150	0,0034	51,150
	71,394	51,148	0,0014	51,148
	71,393	51,147	0,0004	51,147
	71,391	51,145	0,0016	51,145
	71,389	51,143	0,0036	51,143
průměr	71,3926	51,147		51,1466
σ	0,0141	0,014		0,0141
$\vartheta\rho$	0,0006			0,0006

Tabulka č. 2: Měření hustoty ošetřené vody

	m [g]	m [g]		m [g]
	71,401	51,155	0,0049	51,155
	71,399	51,153	0,0029	51,153
	71,400	51,154	0,0039	51,154
	71,398	51,152	0,0019	51,152
	71,402	51,156	0,0059	51,156
	71,398	51,152	0,0019	51,152
	71,397	51,151	0,0009	51,151
	71,397	51,151	0,0009	51,151
	71,399	51,153	0,0029	51,153
	71,397	51,151	0,0009	51,151
	71,398	51,152	0,0019	51,152
	71,392	51,146	0,0041	51,146
	71,387	51,141	0,0091	51,141
	71,388	51,142	0,0081	51,142
	71,389	51,143	0,0071	51,143
průměr	71,3961	51,150		51,1501
σ	0,0190	0,019		0,0190
$\vartheta\rho$	0,0008			0,0008

V prvním sloupci tabulek č. 1 a 2 jsou uváděny hmotnosti vody v pyknometru, od kterých ještě není odečtena hmotnost suchého pyknometru, tak je tomu až ve druhém sloupci. Třetí sloupec obsahuje vypočtené odchylky od aritmetického průměru druhého

sloupce. Ve čtvrtém sloupci jsou již filtrované hodnoty, aby nedošlo ke zbytečnému zkreslení výsledného průměru, nicméně žádná hodnota nevypadla, jak v tabulce č.1, tak i v tabulce č.2.

Hustota neošetřené vody z tabulky č. 1 je $1,02293 \pm 0,00002 \text{ g/cm}^3$. Hodnota je trochu vyšší, než by měla být, ale důležité je její porovnání s ošetřeným vzorkem. Hustota ošetřené vody z tabulky č. 2 je $1,02300 \pm 0,00003 \text{ g/cm}^3$. Po porovnání těchto dvou měření lze vyvodit závěr, že ošetření plazmovým výbojem GlidArc nemá vliv na hustotu vody.

Pro ověření správnosti byla provedena ještě jedna série měření, jejíž hodnoty jsou obsaženy v následujících tabulkách č. 3 a 4.

Tabulka č. 3: Měření hustoty neošetřené vody

	m [g]	m [g]		m [g]
	71,381	51,135	0,0013	51,135
	71,384	51,138	0,0016	51,138
	71,387	51,141	0,0046	51,141
	71,388	51,142	0,0056	51,142
	71,385	51,139	0,0026	51,139
	71,381	51,135	0,0013	51,135
	71,385	51,139	0,0026	51,139
	71,380	51,134	0,0023	51,134
	71,383	51,137	0,0006	51,137
	71,384	51,138	0,0016	51,138
	71,384	51,138	0,0016	51,138
	71,379	51,133	0,0033	51,133
	71,377	51,131	0,0053	51,131
	71,379	51,133	0,0033	51,133
	71,378	51,132	0,0043	51,132
průměr	71,3823	51,136		51,1363
σ	0,0142	0,014		0,0142
$\vartheta\rho$	0,0006			0,0006

Tabulka č. 4: Měření hustoty ošetřené vody

	m [g]	m [g]		m [g]
	71,385	51,139	0,0027	51,139
	71,385	51,139	0,0027	51,139
	71,387	51,141	0,0047	51,141
	71,383	51,137	0,0007	51,137
	71,384	51,138	0,0017	51,138
	71,383	51,137	0,0007	51,137
	71,384	51,138	0,0017	51,138
	71,382	51,136	0,0002	51,136
	71,380	51,134	0,0022	51,134
	71,383	51,137	0,0007	51,137
	71,381	51,135	0,0012	51,135
	71,383	51,137	0,0007	51,137
	71,378	51,132	0,0042	51,132
	71,377	51,131	0,0052	51,131
	71,379	51,133	0,0032	51,133
průměr	71,3823	51,14		51,1363
σ	0,0111	0,01		0,0111
$\vartheta\rho$	0,0005			0,0005

Hustota neošetřené vody z tabulky č. 3 je $1,02273 \pm 0,00002 \text{ g/cm}^3$. Hustota ošetřené vody z tabulky č. 4 je $1,02273 \pm 0,00002 \text{ g/cm}^3$.

Výsledky se prakticky neliší. První série měření se liší v tisícinách a druhá se neliší vůbec. Při porovnávání sérií mezi sebou se opět nevyskytuje významný rozdíl. Vzhledem k přesnosti měření, která je více než uspokojující, je možné konstatovat, že výše uvedený závěr o vlivu plazmového výboje GlidArc je pravdivý.

4.4 Měření povrchového napětí

Povrchové napětí σ je definováno jako podíl povrchové síly F a délky l okraje povrchové blány, na který povrchová síla působí kolmo na povrchu kapaliny. Měření povrchového napětí bylo prováděno pomocí kapilární elevace. Vycházelo se ze vztahu:

$$\sigma = \frac{1}{4} h \rho g d, \quad (12)$$

kde h je výška sloupce vody v kapiláře, ρ hustota vody, g gravitační zrychlení a d průměr kapiláry.

Při měření byla použita standardní kádinka o objemu 100 ml, ve které výška hladiny nalité vody dosahovala 4 cm. Dále běžná kapilára a na měření výšky sloupce vody v kapiláře posuvné měřítko. Teplota v místnosti byla 21 °C.

Před vlastním měřením povrchového napětí bylo nutné určit průměr kapiláry d pomocí jehly a třimenového mikrometru. Zasunutí jehly do kapiláry a následné označení jehly v místě, které odpovídalo šířce kapiláry, byl postup použitý pro určení průměru. Nyní zbývalo pouze jehlu v tomto místě změřit mikrometrem. Hodnoty průměru kapiláry jsou v tabule č. 5, kde první sloupec obsahuje naměřené hodnoty, druhý sloupec vypočtené odchylky od aritmetického průměru prvního sloupce a třetí filtrované hodnoty.

Tabulka č. 5: Měření průměru kapiláry

	d [mm]		d [mm]
	1,46	0,007	1,46
	1,45	0,003	1,45
	1,44	0,013	1,44
	1,46	0,007	1,46
	1,44	0,013	1,44
	1,45	0,003	1,45
	1,46	0,007	1,46
	1,46	0,007	1,46
	1,45	0,003	1,45
	1,46	0,007	1,46
průměr	1,45		1,453
σ	0,04		0,035
$\vartheta\rho$			0,002

Dokonale očištěná kádinka byla plněna nejprve neošetřenou vodou tak, aby hladina vody mírně přesahovala vzdálenost 4 cm ode dna kádinky. Pomalým pohybem docházelo k ponořování kapiláry do kapaliny. V momentu, kdy hladina kapaliny v kapiláře přestala stoupat, došlo s ještě větší obezřetností k jejímu vytažení, které probíhalo velice pomalým pohybem. Měření výšky sloupce vody v kapiláře bylo prováděno pomocí posuvného měřítka z její vnější strany a opět bylo dbáno na co nejvíce možnou šetrnou manipulaci.

Měření hodnot bylo velmi náročné na zručnost. V jedné ruce svisle dolů držet pipetu a druhou rukou manipulovat s posuvným měřítkem bylo velmi obtížné. Ani jednu hodnotu se nepodařilo změřit napoprvé a v mnohých případech bylo nutné měření opakovat vícekrát. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách č. 6 a 7.

Tabulka č. 6: Měření povrchového napětí neošetřené vody

	h [cm]		h [cm]
	2,100	0,002	2,100
	2,130	0,028	2,130
	2,100	0,002	2,100
	2,108	0,006	2,108
	2,122	0,020	2,122
	2,112	0,010	2,112
	2,108	0,006	2,108
	2,088	0,014	2,088
	2,082	0,020	2,082
	2,118	0,016	2,118
	2,092	0,010	2,092
	2,098	0,004	2,098
	2,086	0,016	2,086
	2,098	0,004	2,098
	2,100	0,002	2,100
	2,104	0,002	2,104
	2,094	0,008	2,094
	2,096	0,006	2,096
	2,100	0,002	2,100
	2,108	0,006	2,108
průměr	2,102		2,102
σ	0,046		0,046
$\vartheta\rho$			0,002

Tabulka č. 7: Měření povrchového napětí ošetřené vody

	h [cm]		h [cm]
	2,102	0,022	2,102
	2,094	0,014	2,094
	2,064	0,016	2,064
	2,082	0,002	2,082
	2,090	0,010	2,090
	2,060	0,020	2,060
	2,082	0,002	2,082
	2,074	0,006	2,074
	2,080	0,000	2,080
	2,068	0,012	2,068
	2,084	0,004	2,084
	2,078	0,002	2,078
	2,070	0,010	2,070
	2,098	0,018	2,098
	2,074	0,006	2,074
	2,078	0,002	2,078
	2,082	0,002	2,082
	2,068	0,012	2,068
	2,084	0,004	2,084
	2,090	0,010	2,090
průměr	2,080		2,080
σ	0,043		0,043
$\vartheta\rho$			0,002

V prvním sloupci jsou uváděny hodnoty naměřené výšky sloupce vody v kapiláře, v druhém sloupci vypočtené odchylky od aritmetického průměru prvního sloupce a třetí sloupec obsahuje filtrované hodnoty. Hodnoty pro hustoty dosazované do vzorců byly použity z předchozí úlohy, kde byla hustota vody zjišťována.

Povrchového napětí neošetřené vody z tabulky č. 6 je $0,0766 \pm 0,0001 \text{ N/m}^{-1}$. Hodnota povrchového napětí ošetřené vody z tabulky č. 7 je $0,0758 \pm 0,0001 \text{ N/m}^{-1}$. Vypočtené hodnoty jsou poněkud vyšší, než je udávaná tabulková hodnota při teplotě 21 °C. Tento rozdíl je způsobený chybou měření. Největším problémem bylo shledání čtení z posuvného měřítka zrakem.

Snahou bylo omezit tuto chybu tím, že měření bylo prováděno 20krát, v jeden den a v malém časovém intervalu. Z pozorování těchto dvou hodnot je možné

konstatovat, že ošetření plazmovým výbojem GlidArc nemá vliv na povrchové napětí vody.

Pro ověření správnosti byla provedena ještě jedna série měření. Povrchového napětí neošetřené vody z tabulky č. 8 je $0,0751 \pm 0,0001 \text{ N/m}^{-1}$. Povrchového napětí ošetřené vody z tabulky č. 9 je $0,0743 \pm 0,0001 \text{ N/m}^{-1}$.

Tabulka č. 8: Měření povrchového napětí neošetřené vody

	h [cm]		h [cm]
	2,032	0,028	2,032
	2,058	0,002	2,058
	2,088	0,028	2,088
	2,074	0,014	2,074
	2,078	0,018	2,078
	2,098	0,038	2,098
	2,084	0,024	2,084
	2,080	0,020	2,080
	2,068	0,008	2,068
	2,054	0,006	2,054
	2,070	0,010	2,070
	2,048	0,012	2,048
	2,062	0,002	2,062
	2,050	0,010	2,050
	2,048	0,012	2,048
	2,036	0,024	2,036
	2,052	0,008	2,052
	2,044	0,016	2,044
	2,038	0,022	2,038
	2,040	0,020	2,040
průměr	2,060		2,060
σ	0,081		0,081
$\vartheta\rho$			0,003

Tabulka č. 9: Měření povrchového napětí ošetřené vody

	h [cm]		h [cm]
	2,020	0,017	2,020
	2,042	0,005	2,042
	2,040	0,003	2,040
	2,038	0,001	2,038
	2,032	0,005	2,032
	2,018	0,019	2,018
	2,050	0,013	2,050
	2,026	0,011	2,026
	2,020	0,017	2,020
	2,034	0,003	2,034
	2,036	0,001	2,036
	2,056	0,019	2,056
	2,048	0,011	2,048
	2,064	0,027	2,064
	2,048	0,011	2,048
	2,052	0,015	2,052
	2,036	0,001	2,036
	2,020	0,017	2,020
	2,044	0,007	2,044
	2,024	0,013	2,024
průměr	2,037		2,037
σ	0,054		0,054
$\vartheta\rho$			0,002

Druhá série měření vychází podobně jako první. Povrchové napětí ošetřené vody je opět o něco menší, než povrchové napětí neošetřené vody. V první sérii se jedná o rozdíl $0,000798 \text{ N/m}^{-1}$ (1%). V druhé sérii se jedná o rozdíl $0,00082 \text{ N/m}^{-1}$ (1,1 %). V obou případech došlo k téměř shodnému zmenšení povrchového napětí po ošetření, ale rozdíl je velmi malý, pohybuje se okolo 1 %. Plazmový výboj GlidArc nemá vliv na povrchové napětí vody a pokud ano, což je diskutabilní, tak ho mírně zmenšuje.

4.5 Měření dynamické viskozity

Dynamická viskozita η charakterizuje velikost vnitřního tření kapalin. Pohybuje-li se reálná kapalina, dochází vlivem pohybu molekul kapaliny ke vzniku vnitřního tření, protože žádná kapalina není dokonale tekutá.

Pro měření dynamické viskozity byla použita Mariottova láhev a vycházelo se ze vztahu:

$$\eta = \frac{\pi \rho g}{8} \cdot \frac{hr^4 t}{lV}, \quad (13)$$

kde π je Ludolfovo číslo, ρ hustota kapaliny, g gravitační zrychlení, h vzdálenost mezi dolní hranou horní trubice a osou kapiláry, r poloměr kapiláry, t doba výtoku, l délka kapiláry a V objem vyteklé vody.

Mariottova láhev, užitá při měření, je na obrázku č. 7. K měření času sloužily stopky na mobilu a k zachycování vytékající vody sklenice. Nejprve bylo nutné změřit délku a průměr kapiláry.



Obrázek č. 7: Mariottova láhev

Tabulka č. 10: Měření parametrů kapiláry

průměr			délka		
d [mm]		d [mm]	l [cm]		l [cm]
1,29	0,003	1,29	12,072	0,001	12,072
1,30	0,013	1,30	12,074	0,003	12,074
1,28	0,007	1,28	12,068	0,003	12,068
1,28	0,007	1,28	12,072	0,001	12,072
1,29	0,003	1,29	12,070	0,001	12,070
1,28	0,007	1,28	12,068	0,003	12,068
1,30	0,013	1,30	12,074	0,003	12,074
1,28	0,007	1,28	12,070	0,001	12,070
1,29	0,003	1,29	12,070	0,001	12,070
1,28	0,007	1,28	12,074	0,003	12,074
průměr	1,287	1,287	průměr	12,071	12,0712
σ	0,035	0,035	σ	0,010	0,0100
$\vartheta\rho$		0,002	$\vartheta\rho$		0,0005

Měření parametrů kapiláry bylo provedeno 10krát jak pro průměr, tak i pro délku. Následným zprůměrováním hodnot z tabulky č. 10, kde levá tabulka obsahuje hodnoty průměru a pravá tabulka hodnoty délky, vychází průměr kapiláry $1,287 \pm 0,002$ mm a délka $12,0712 \pm 0,0005$ cm.

V místnosti byla teplota $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota vody $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzdálenost h mezi dolní hranou trubice a osou kapiláry se rovnala 20 cm. Měření dynamické viskozity proběhlo 10krát pro neošetřenou i ošetřenou vodu. Veškeré hodnoty byly naměřeny ihned po sobě, aby došlo k co nejmenším odchylkám. Dále se používalo 10 sklenic, 10 lístečků a stopky. V momentu stisknutí stopek došlo k uvolnění kapiláry, aby mohla voda vytékat, a přibližně okolo 45 s došlo k opětovnému stisknutí stopek a uzavření kapiláry. Následně byl zapsán zaznamenaný čas a provedlo se další měření. Po dokončení série deseti měření se mohlo přejít k měření objemu vyteklé vody pomocí injekční stříkačky s přesností na desetinu mililitru. Padlo rozhodnutí, zanedbat vypařování kapaliny již vyteklé vody ve sklenicích během dalšího měření, a to z důvodu zanechání co největší podoby postupu měření během celé série. Bylo velmi kritické, aby stisknutí stopek a otevření či uzavření kapiláry proběhlo současně. Je jasné, že tyto dva jevy ve stejný okamžik neproběhly, ale velmi rychle po sobě jdoucí měření zachovala tuto neshodu menší, než kdyby se nechala odtéci voda z kapiláry, změřil se její objem a až poté se provedlo další měření.

Tabulka č. 11: Měření dynamické viskozity neošetřené vody

	t [s]		t [s]		V [ml]		V [ml]
	47,69	0,93	47,69		39,5	0,31	39,5
	47,41	0,65	47,41		40,4	0,59	40,4
	46,55	0,21	46,55		40,1	0,29	40,1
	47,16	0,40	47,16		39,8	0,01	39,8
	46,10	0,66	46,10		39,1	0,71	39,1
	46,91	0,15	46,91		39,7	0,11	39,7
	46,02	0,74	46,02		39,5	0,31	39,5
	46,93	0,17	46,93		40,3	0,49	40,3
	46,29	0,47	46,29		39,7	0,11	39,7
	46,58	0,18	46,58		40,0	0,19	40,0
průměr	46,76		46,8	průměr	39,8		39,81
σ	2,28		2,3	σ	1,6		1,56
$\vartheta\rho$			0,1	$\vartheta\rho$			0,08

Tabulka č. 12: Měření dynamické viskozity ošetřené vody

	t [s]		t [s]		V [ml]		V [ml]
	47,20	0,93	47,20		40,3	0,72	40,3
	46,21	0,06	46,21		39,4	0,18	39,4
	46,19	0,08	46,19		39,8	0,22	39,8
	46,29	0,02	46,29		39,3	0,28	39,3
	45,50	0,77	45,50		39,0	0,58	39,0
	45,88	0,39	45,88		39,2	0,38	39,2
	45,67	0,60	45,67		38,9	0,68	38,9
	46,49	0,22	46,49		40,0	0,42	40,0
	46,22	0,05	46,22		39,8	0,22	39,8
	47,01	0,74	47,01		40,1	0,52	40,1
průměr	46,3		46,3	průměr	39,6		39,6
σ	1,9		1,9	σ	2,1		2,1
$\vartheta\rho$			0,1	$\vartheta\rho$			0,1

Tabulky č. 11 a 12 obsahují naměřené hodnoty času a objemu vyteklé vody. První část je vždy zastoupena hodnotami času, kdy první sloupec obsahuje naměřené hodnoty, druhý sloupec vypočtené odchylky od aritmetického průměru prvního sloupce a třetí sloupec obsahuje filtrované hodnoty. Druhá část je zastoupena naměřeným objemem vyteklé vody, kdy opět první sloupec obsahuje naměřené hodnoty, druhý

sloupec vypočtené odchylky od aritmetického průměru prvního sloupce a třetí sloupec obsahuje filtrované hodnoty.

Při porovnání vypočtených a tabulkových dat je patrná větší odchylka. Vysvětlením je nejspíše nedokonale prováděný postup. Hlavní je ale pozorování rozdílů mezi neošetřenou a ošetřenou vodou.

Dynamická viskozita neošetřené vody v tabulce č. 11 je $0,00129 \pm 0,00001$ Pa · s. Dynamická viskozita ošetřené vody v tabulce č. 12 je $0,00128 \pm 0,00001$ Pa · s. Vypočtené hodnoty neošetřené i ošetřené vody se liší od tabulkových hodnot, ale rozdíl mezi samotnými hodnotami je minimální. Z pozorování těchto dvou hodnot lze konstatovat, že ošetření plazmovým výbojem Glid-Arc nemá vliv na dynamickou viskozitu vody.

Pro ověření správnosti tvrzení byla provedena další série měření. Dynamická viskozita neošetřené vody v tabulce č. 13 je $0,00132 \pm 0,00001$ Pa · s. Dynamická viskozita ošetřené vody v tabulce č. 14 je $0,00132 \pm 0,00001$ Pa · s.

Tabulka č. 13: Měření dynamické viskozity neošetřené vody

	t [s]		t [s]		V [ml]		V [ml]
	45,92	0,04	45,92		37,4	0,66	37,4
	45,62	0,26	45,62		38,2	0,14	38,2
	45,03	0,85	45,03		37,8	0,26	37,8
	46,34	0,46	46,34		38,8	0,74	38,8
	46,12	0,24	46,12		38,3	0,24	38,3
	46,14	0,36	46,14		38,0	0,06	38,0
	46,09	0,21	46,09		38,2	0,14	38,2
	45,01	0,87	45,01		37,2	0,86	37,2
	46,62	0,74	46,62		38,3	0,24	38,3
	45,93	0,05	45,93		38,4	0,34	38,4
průměr	45,9		45,9	průměr	38,06		38,1
σ	2,0		2,0	σ	1,84		1,8
$\vartheta\rho$			0,1	$\vartheta\rho$			0,1

Tabulka č. 14: Měření dynamické viskozity ošetřené vody

	t [s]		t [s]		V [ml]		V [ml]
	46,11	0,1	46,11		38,0	0,21	38,0
	45,96	0,0	46,96		37,8	0,41	37,8
	45,74	0,3	45,74		38,2	0,01	38,2
	46,43	0,4	46,43		38,7	0,49	38,7
	46,11	0,1	46,11		38,2	0,01	38,2
	45,85	0,2	45,85		38,1	0,11	38,1
	45,94	0,1	45,94		38,4	0,19	38,4
	46,02	0,0	46,02		38,2	0,01	38,2
	45,62	0,4	45,62		37,9	0,31	37,9
	46,30	0,3	46,30		38,6	0,39	38,6
průměr	46,0		46,0	průměr	38,21		38,21
σ	0,9		0,9	σ	1,07		1,07
$\vartheta\rho$			0,1	$\vartheta\rho$			0,06

Hodnoty vypočtené z druhé série měření jsou si velice blízké. V první sérii je rozdíl dynamické viskozity mezi neošetřenou a ošetřenou vodou $0,000006 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (0,5 %) a v druhé $0,0000016 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (0,1 %). Dříve vzniklé tvrzení z pozorování hodnot se potvrdilo.

4.6 Měření tepelné kapacity

Tepelná kapacita je definována jako teplo, které je látce o hmotnosti 1 kg nutné dodat, aby její teplota stoupla o 1 °C. Vycházelo se ze vztahu:

$$Q = cm\Delta t, \quad (14)$$

kde Q je teplo látky dodané, c měrná tepelná kapacita látky, m hmotnost látky a Δt změna teploty látky. Měření měrné tepelné kapacity probíhalo pomocí klasického kalorimetru, který je na obrázku č. 8 vpravo, s míchačkou a dvěma otvory pro měrná čidla. K měření teploty vody uvnitř kalorimetru byla použita sada Cobra3 značky PHYWE. Měřené hodnoty byly zaznamenávány na počítači pomocí programu Software measure Cobra3. Tento postup umožnil vyvarovat se větším chybám při odečítání teplot, protože v programu Cobra3 bylo možné přesně určit dobu, kdy teplota vody v kalorimetru dosáhla svého maxima. Neošetřená i ošetřená voda se zahřívala na topném vařiči.



Obrázek č. 8: Měřicí jednotka Cobra3 a kalorimetr

Nejprve bylo nutné určit měrnou tepelnou kapacitu kalorimetru. Při jejím určování byla použita obyčejná voda z vodovodu, jejíž měrná tepelná kapacita také není známa, a proto mají všechny výsledky podobu poměru měrné tepelné kapacity neošetřené či ošetřené vodě ku měrné tepelné kapacitě vody z vodovodu.

Tabulka č. 15: Měření tepelné kapacity kalorimetru

m_1 [g]	m_2 [g]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	t [°C]
134,2	100,0	29,4	71,2	46,8
146,6	126,0	28,7	66,6	45,9
140,3	115,6	27,0	70,9	46,2
124,1	132,1	27,1	75,7	51,6
143,6	149,5	26,6	71,4	49,4
141,2	157,7	27,5	73,6	51,4
153,0	152,0	29,4	66,9	47,8
148,6	156,1	27,6	70,9	49,5
148,1	133,4	27,6	76,8	50,7
133,4	146,8	27,6	75,3	52,2
142,4	152,1	27,6	74,4	51,7
135,9	126,7	27,6	73,4	49,6

V tabulce č. 15 je zaznamenáno měření tepelné kapacity kalorimetru. Sloupec m_1 představuje hmotnost původní vody v kalorimetru k níž náleží sloupec t_1 s jejími teplotami. Sloupec m_2 představuje hmotnost přilité vody do kalorimetru k níž náleží sloupec t_2 s jejími teplotami. Sloupec t představuje nejvyšší dosaženou teplotu vody v kalorimetru po smísení kapalin. Hmotnost samotného kalorimetru je 531 g.

Při počítání tepelné kapacity kalorimetru bylo dosazováno do vzorce:

$$\frac{K}{c_{zv}} = \frac{m_2 \cdot (t_2 - t) - m_1 \cdot (t - t_1)}{(t - t_1)}, \quad (15)$$

kde K je tepelná kapacita kalorimetru, c_{zv} měrná tepelná kapacita vody z vodovodu, m_2 hmotnost vody přilité do kalorimetru, t_2 teplota vody přilité do kalorimetru, t maximální teplota po smísení kapalin v kalorimetru, m_1 hmotnost původní vody v kalorimetru a t_1 teplota původní vody v kalorimetru.

Tabulka č. 16: Vypočtená tepelná kapacita kalorimetru

	K/ c_{zv}
	0,0060
	0,0050
	0,0084
	0,0058
	0,0007
	0,0053
	0,0048
	0,0039
	0,0026
	0,0044
	0,0009
	0,0012
Průměr	0,0041
ϑd	0,0005

V tabulce č. 16 jsou vypočteny tepelné kapacity kalorimetru v poměru k měrné tepelné kapacitě vody z vodovodu. Průměrná hodnota K/c_{zv} je 0,0041. Dále je už možné měřit měrnou tepelnou kapacitu neošetřené i ošetřené vody.

Měření měrné tepelné kapacity neošetřené i ošetřené vody probíhala ve stejný den a stejným způsobem jako měření tepelné kapacity kalorimetru. Voda z vodovodu byla opět použita jako referenční, proto jsou výsledky opět v poměru. Po nalití neošetřené vody do kalorimetru následovalo první vážení, aby se zjistila hmotnost vody uvnitř, a poté vložení míchačky a elektrody. Dále bylo nutné vyčkat na ustálení teploty. Pomocí programu measure Cobra3 bylo toto určení velice snadné. Mezitím byla ohřívána voda z vodovodu na vařiči, jejíž teplota se odečítala z klasického teploměru, a když dosáhla přijatelné teploty, došlo k jejímu přilití do kalorimetru. Kladl se zřetel na to, aby množství přilité referenční vody přibližně odpovídalo množství neošetřené vody uvnitř. Nyní se lehce pomocí míchačky obsah kalorimetru promíchal, sledovali se hodnoty teplot na počítači pomocí programu a v momentu dosažení teplotního maxima k zapsání. Poté proběhlo vážení celé aparatury pro zjištění hmotnosti přilité referenční vody z vodovodu.

Při výpočtech byl využit vzorec:

$$\frac{c}{c_{zv}} = \frac{\left(\frac{K}{c_{zv}} + m_1\right) \cdot (t - t_1)}{m_2 \cdot (t_2 - t)}, \quad (16)$$

kde $\frac{c}{c_{zv}}$ je měrná tepelná kapacita v poměru k měrné tepelné kapacitě vody z vodovodu, $\frac{K}{c_{zv}}$ tepelná kapacita kalorimetru v poměru k měrné tepelné kapacitě vody z vodovodu, m_1 hmotnost původní vody v kalorimetru, t maximální dosažená teplota kapalin po jejich smísení, t_1 teplota původní vody v kalorimetru, m_2 hmotnost přilité vody a t_2 teplota přilité vody.

Tabulka č. 17: Měrná tepelná kapacita neošetřené vody

	c/c_{zv}
	0,946
	0,962
	0,995
	1,023
	0,965
	0,994
	1,008
	0,978
	1,015
	0,976
	1,011
	1,041
	1,026
	1,008
	0,994
průměr	0,996
řd	0,005

Tabulka č. 18: Měrná tepelná kapacita ošetřené vody

	c/c _{zv}
	1,004
	0,980
	0,950
	1,041
	1,011
	1,103
	1,063
	1,070
	0,998
	1,039
	1,039
	1,047
	1,049
	1,040
	1,055
průměr	1,033
řd	0,007

Tabulka č. 17 obsahuje hodnoty měrné tepelné kapacity neošetřené a tabulka č. 18 ošetřené vody. Příslušné hodnoty pro výpočty jsou v tabulkách č. 19 pro neošetřenou a č. 20 pro ošetřenou vodu. Průměrná hodnota měrné tepelné kapacity pro neošetřenou vodu v poměru k měrné tepelné kapacitě vody z vodovodu je $0,996 \pm 0,005$ a pro ošetřenou vodu je $1,033 \pm 0,007$.

Tabulka č. 19: Měrná tepelná kapacita neošetřené vody

m ₁ [g]	m ₂ [g]	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t [°C]
99,9	151,7	25,0	71,4	51,9
105,2	139,6	27,2	75,8	54,0
103,9	148,8	27,5	75,4	55,2
111,9	167,9	27,5	71,9	54,0
104,8	126,8	27,5	70,4	50,2
108,9	138,0	27,1	63,4	47,0
106,7	104,6	26,8	67,4	46,6
102,9	66,3	27,0	69,4	43,0
100,7	100,9	26,6	69,9	48,0
103,5	185,6	27,1	69,5	53,7
105,9	108,8	27,3	67,7	47,5
108,8	132,5	26,8	57,9	43,9
113,4	93,4	26,5	65,9	44,2
108,5	81,0	26,2	71,4	45,2
118,8	127,9	26,2	73,4	50,2

Tabulka č. 20: Měrná tepelná kapacita ošetřené vody

m ₁ [g]	m ₂ [g]	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t [°C]
110,8	104,3	25,4	68,4	45,9
97,5	108,1	27,2	70,7	49,4
104,7	94,1	26,6	72,5	47,3
106,8	75,3	26,8	73,4	46,1
111,1	131,4	26,5	75,8	52,9
100,5	92,0	27,4	73,9	50,3
109,3	183,9	26,8	77,2	58,7
105,5	126,1	27,6	56,6	43,6
103,5	121,4	25,9	71,4	50,0
110,9	92,5	26,8	71,4	47,1
106,0	116,3	26,7	69,9	49,3
114,5	97,9	26,7	69,4	46,5
108,4	128,8	26,6	64,9	47,5
108,5	115,0	26,7	72,9	50,5
107,1	152,1	26,9	74,3	54,9

Průměry se navzájem podobají, ačkoli měrná tepelná kapacita ošetřené vody je větší, a to o 0,03640, což je přibližně 3,5 %. Toto zvýšení není dost velké na to, aby ho bylo možné považovat za významné. Ošetření plazmovým výbojem GlidArc nemá vliv na měrnou tepelnou kapacitu.

4.7 Měření pH

Pomocí pH, též vodíkový exponent, se určuje chemická reakce roztoku. Hodnota pH číselně nabývá od 0 do 14, kde kyselému roztoku je přiřazena stupnice od 0 do menší než 7, neutrálnímu roztoku 7 a od větší než 7 do 14 alkalickému roztoku. Číselné hodnoty odpovídají záporně vzatému dekadickému logaritmu koncentrace vodíkových kationtů ve zředěném vodném roztoku.

Měření pH každého vzorku bylo prováděno 10 minut po ukončení ošetření a byl použit pH metr značky HANNA, který je na obrázku č. 9. Hodnota pH byla značně nestabilní ihned po ukončení ošetření, a právě proto bylo měření prováděno 10 minut po ukončení ošetření, kdy se nestabilita pH zmírnila. Pro měření teploty byl použit datalogger značky Lascar model EL-USB-TC-LCD a hodnoty byly odečítány přímo z displeje dataloggeru.



Obrázek č. 9: pH metr značky HANNA

Tabulka č. 21 (a, b, c, d): Měření pH ošetřené vody

počáteční pH	teplota v místnosti
6,19	21 °C

počáteční pH	teplota v místnosti
6,12	26 °C

pH	teplota [°C]
2,74	36,5
2,71	38,0
2,71	37,5
2,71	38,0
2,70	38,5
2,73	37,5
2,70	39,0
2,73	37,5
2,72	38,5
2,69	39,0

pH	teplota [°C]
2,73	38,0
2,72	38,0
2,68	39,5
2,67	40,5
2,65	42,0
2,65	42,0
2,64	43,5
2,64	43,5
2,65	44,0
2,64	44,5

počáteční pH	teplota v místnosti
6,20	21 °C

počáteční pH	teplota v místnosti
6,20	21 °C

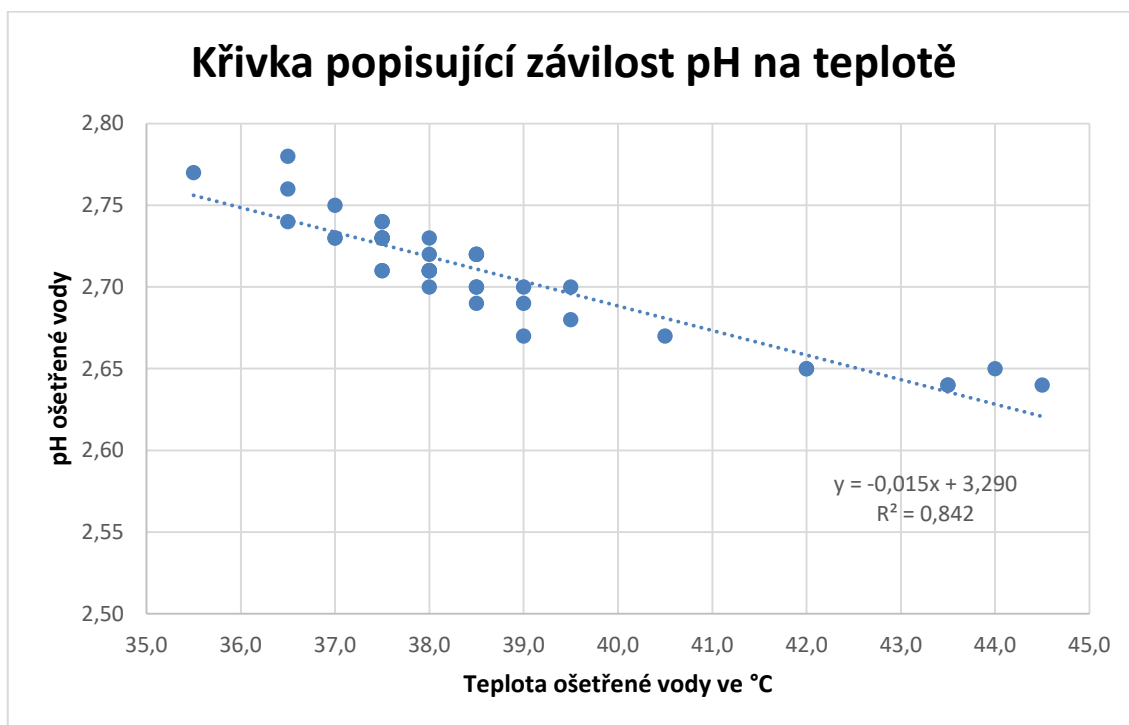
pH	teplota [°C]
2,77	35,5
2,73	37,0
2,71	38,0
2,73	37,0
2,70	38,0
2,71	38,0
2,70	38,5
2,69	38,5
2,71	37,5
2,67	39,0

pH	teplota [°C]
2,78	36,5
2,76	36,5
2,74	37,5
2,75	37,0
2,74	37,5
2,72	38,5
2,73	37,5
2,72	38,5
2,73	37,5
2,70	39,5

Tabulka č. 21 (a, b, c, d) obsahuje hodnoty pH a teplot. Každá tabulka a, b, c a d je vždy rozdělena do dvou částí, kde menší horní část obsahuje hodnoty pH neošetřené vody, naměřené před ošetřením a teplotu v místnosti, a větší spodní část, kde se nacházejí měřené hodnoty teplot a pH vody po ošetření.

Měření neprobíhala ve stejný den, nebyla prováděna na jednom vzorku, ale neošetřená voda vždy pocházela ze školního přístroje na výrobu destilované vody. Již na první pohled jsou změny pH patrné. Došlo k rapidnímu poklesu pH a k vytvoření kyselého roztoku. Naměřené pH se pohybuje v úzkém rozmezí hodnot, kdy minima dosahuje pH 2,64 a maxima 2,78. Pozoruhodný je fakt, ačkoli hodnota pH neošetřené vody nebyla vždy absolutně stejná, že snížené hodnoty jsou si velice blízké, a to umožňuje položení otázky, zda by došlo ke shodnému snížení pH u jiných roztoků. Rozmezí teplot vody po ošetření se již nepohybuje v tak relativně úzkém rozmezí, které je určeno minimem rovnému 35,5 °C a maximem 44,5 °C. Následující graf č. 1 obsahuje hodnoty ze všech čtyř uvedených měření s lineární spojnicí trendu.

Graf č. 1: Křivka popisující závislost pH na teplotě



Hodnota pH je ovlivněna teplotou roztoku a v případě vody tak, že se stoupající teplotou klesá hodnota pH, protože se zvyšuje aktivita vodíkových iontů, a tím stoupá pravděpodobnost jejich samostatného výskytu.

Z grafu č. 1 je možné pozorovat, že vlastnost vody, při které hodnota pH s rostoucí teplotou klesá, zůstala, až na menší odchylky, zachována. Hodnota spolehlivosti R dosahuje přijatelného čísla, a to 0,842.

Pomocí rovnice získané z grafu č. 1:

$$y = -0,015x + 3,290, (17)$$

kde první člen pravé strany rovnice představuje hodnotu pH a druhý člen teplotu, byla hodnota pH ošetřené vody přepočtena na průměrnou teplotu ošetřené vody 10 minut po ošetření.

Vypočtená průměrná teplota ošetřené vody se rovná 38,73 °C. Tabulka č. 22 obsahuje hodnoty naměřeného pH ošetřené vody přepočtené na průměrnou teplotu 38,73 °C.

Tabulka č. 22: Přepočtené hodnoty pH

2,71	2,72	2,72	2,75
2,70	2,71	2,70	2,73
2,69	2,69	2,70	2,72
2,70	2,70	2,70	2,72
2,70	2,70	2,69	2,72
2,71	2,70	2,70	2,72
2,70	2,71	2,70	2,71
2,71	2,71	2,69	2,72
2,72	2,73	2,69	2,71
2,69	2,73	2,67	2,71

Dále bylo nutné přepočítat původní hodnotu pH neošetřené vody na hodnotu, kterou by dosahovala po pouhém zahřátí na teplotu 38,73 °C bez ošetření plazmovým zdrojem GlidArc. Pokud by došlo k ohřátí neošetřené vody na teplotu 38,73 °C, změnilo by se pH z původní hodnoty 6,20 na 5,93. Následně bylo možné odečíst hodnoty z tabulky č. 22 od nově vypočteného pH a získat tak skutečný přehled o vlivu ošetření.

Tabulka č. 23: Skutečný vliv GlidArc na pH

3,23	3,21	3,21	3,19
3,23	3,22	3,23	3,21
3,24	3,24	3,23	3,21
3,23	3,24	3,23	3,21
3,24	3,23	3,24	3,21
3,22	3,23	3,23	3,22
3,23	3,22	3,24	3,22
3,22	3,22	3,25	3,22
3,22	3,20	3,24	3,22
3,24	3,21	3,26	3,22

Tabulka č. 23 uvádí skutečné změny pH vody bez vlivu ohřátí a přepočtené na průměrnou teplotu 38,73 °C. Největší pokles pH vlivem samotného ošetření je roven 3,26, což lze považovat za velmi výraznou změnu, ke které došlo po pouhých deseti minutách ošetření, naopak k nejnižšímu poklesu je přiřazena hodnota 3,19. Rozdíl mezi maximem a minimem je velice malý, a proto lze konstatovat, že ošetření je charakterizováno stabilitou.

Předchozí tvrzení předpokládalo pokles pH neošetřené vody na hodnotu 5,93 při zahřátí na teplotu 38,73 °C. Byla provedena série měření, kdy zahříváním neošetřené vody mělo docházet k poklesu pH. Měření ovšem tento předpoklad nepotvrdilo.

Tabulka č. 24 a 25: Zahřívání neošetřené vody

teplota [°C]	pH	teplota [°C]	pH
28	6,38	28	6,27
29	6,40	29	6,28
30	6,42	30	6,29
31	6,42	31	6,30
32	6,42	32	6,30
33	6,42	33	6,32
34	6,42	34	6,33
35	6,42	35	6,35
36	6,42	36	6,36
37	6,44	37	6,37
38	6,44	38	6,40
39	6,46	39	6,42
40	6,48	40	6,42
41	6,50	41	6,42
42	6,50	42	6,43
43	6,50	43	6,43
44	6,51	44	6,46
45	6,52	45	6,46
46	6,52	46	6,50
47	6,52	47	6,51
48	6,52	48	6,52
49	6,52	49	6,52
50	6,53	50	6,52

Tabulky č. 24 a 25 obsahují hodnoty pH a teplot neošetřené vody zahřívané ve vodní lázni elektrickým vařičem. Pro měření pH byl opět použit pH metr značky HANNA a pro měření teploty datalogger značky Lascar model EL-USB-TC-LCD. Z tabulek je možné pozorovat, že předpoklad poklesu pH při teplotě 38,73 °C na hodnotu 5,93 není správný. Dále je překvapivé chování vody, kdy s rostoucí teplotou zároveň roste hodnota pH. Při teplotě 60 °C je pH neutrálního bodu 6,45, ale pH by mělo k této hodnotě klesnout, nikoli stoupnout. Jedno z možných vysvětlení je, že rovnovážná konstanta K_W , iontový součin vody, nedosahovala hodnot neutrální vody a právě

zahříváním došlo ke změně aktivity záporných a kladných iontů, a tím dosažení neutrálního pH. [12]

Po předchozích zjištěních bylo nasnadě provést stejné měření i u ošetřené vody. Zjištěné výsledky jsou překvapující. K měření byla použita uskladněná voda v zatmavených skleněných nádobách se zábrusem. pH metr značky HANNA a datalogger značky Lascar model EL-USB-TC-LCD opět sloužily k měření hodnot.



Obrázek č. 10: Zahřívání uskladněné ošetřené vody

Obrázek č. 10 zachycuje sestavenou aparaturu. Uskladněná ošetřená voda byla zahřívána ve vodní lázni pomocí elektrického vařiče. pH metr a čidlo dataloggeru, které bylo upevněno pomocí stojanu a usměrněno kapilárou, byly neustále ponořeny pod hladinou vody.

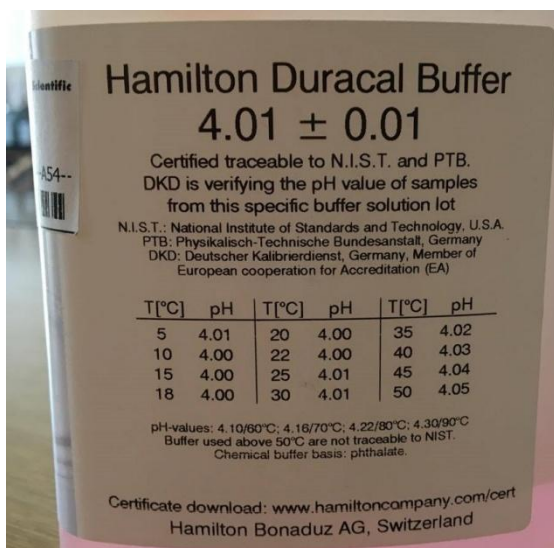
Tabulky č. 26 a 27: Zahřívání uskladněné ošetřené vody

teplota [°C]	pH	teplota [°C]	pH
28	2,94	57	2,36
29	2,93	58	2,35
30	2,91	59	2,34
31	2,90	60	2,32
32	2,88	61	2,29
33	2,86	62	2,28
34	2,84	63	2,26
35	2,82	64	2,25
36	2,79	65	2,23
37	2,77	66	2,21
38	2,75	67	2,20
39	2,72	68	2,18
40	2,71	69	2,16
41	2,69	70	2,14
42	2,65	71	2,13
43	2,63	72	2,12
44	2,61	73	2,10
45	2,59	74	2,09
46	2,56	75	2,07
47	2,53	76	2,06
48	2,51	77	2,05
49	2,50	78	2,04
50	2,48	79	2,03
51	2,46	80	2,02
52	2,45	81	2,01
53	2,43	82	2,00
54	2,40	83	1,99
55	2,39	84	1,98
56	2,38	85	1,96

teplota [°C]	pH	teplota [°C]	pH
28	2,84	57	2,24
29	2,80	58	2,22
30	2,79	59	2,21
31	2,78	60	2,20
32	2,78	61	2,18
33	2,77	62	2,17
34	2,75	63	2,15
35	2,69	64	2,14
36	2,65	65	2,12
37	2,64	66	2,11
38	2,62	67	2,08
39	2,61	68	2,06
40	2,60	69	2,05
41	2,58	70	2,04
42	2,56	71	2,03
43	2,52	72	2,01
44	2,50	73	2,00
45	2,49	74	1,99
46	2,46	75	1,99
47	2,44	76	1,99
48	2,41	77	1,97
49	2,39	78	1,96
50	2,37	79	1,94
51	2,36	80	1,93
52	2,33	81	1,92
53	2,31	82	1,92
54	2,29	83	1,91
55	2,27	84	1,90
56	2,26	85	1,90

Tabulky č. 26 a 27 obsahují hodnoty pH a teplot ošetřené uskladněné vody. Pro ověření správnosti proběhlo měření dvakrát. Zde je opět možné pozorovat změnu pH se změnou teploty, ale v tomto případě s rozdílným průběhem. Dochází k poklesu pH se stoupající teplotou. Při teplotách rovných 85 °C hodnota pH v obou případech dosahuje 1,96, což už lze považovat za velmi kyselý roztok. Dále bylo velice překvapující zjištění zachování sníženého pH vlivem ošetření plazmových zdrojem GlidArc po dobu delší jak jeden rok od proběhnutého ošetření.

Z předchozích tabulek č. 26 a 27 je pozoruhodný další fakt, pH klesá po celou dobu ohřívání. Tento jev je opět velice zvláštní a neodpovídá předpokládanému chování.



Obrázek č. 11: Kalibrační roztok s pH 4

Na obrázku č. 11 je vyfocen kalibrační roztok s pH 4. Podle tabulky nacházející se na etiketě roztoku s pH 4 by mělo pH po dosažení určité teploty přestat klesat a opět narůstat. Z předchozího měření je jasné, že k tomu u uskladněné ošetřené vody nedocházelo, nýbrž docházelo ke klesání po celou dobu nárůstu teploty. Tento jev by mohl souviset se změnami, které plazmový zdroj GlidArc v ošetřované vodě vyvolává.

Vlivem plazmového zdroje pravděpodobně dochází ke spuštění chemických reakcí, kdy dochází k rozkladu kyseliny dusité HNO_2 a kyseliny dusičné HNO_3 . Při rozkladu dochází k uvolnění vodíkových, dusitanových a dusičnanových iontů. Jelikož hodnota pH odpovídá záporně vzatému dekadickému logaritmu koncentrace vodíkových kationtů, tak pravděpodobně tímto rozkladem dochází ke zvýšení jejich koncentrace, a tím k poklesu pH. Zahříváním takto změněné vody je možné, že dochází k aktivaci kationtů zde přítomných, které získávají energii zvyšující aktivitu, jež je důvodem stoupaní pravděpodobnosti jejich samostatného výskytu a následným zaznamenáním měřicím přístrojem.

Na základě předchozích výpočtů lze vyvodit závěr, že ošetření plazmovým zdrojem GlidArc má vliv na pH vody, a to takový, že ho výrazně snižuje. Nicméně mechanismus způsobující snížení je předmětem k dalšímu výzkumu.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjištění vlivu ošetření plazmovým zdrojem GlidArc na vybrané parametry vody, které byly vybírány podle fakultou vlastněných měřících přístrojů. Mezi vybrané parametry patří hustota, povrchové napětí, dynamická viskozita, měrná tepelná kapacita a pH.

V teoretické části je věnována pozornost vlastnostem plazmatu jako takovému. Jelikož je Glidarc elektrický výboj probíhající v plynech, je zde také řešena problematika výbojů v plynech.

V praktické části je popsán průběh a výsledky měření, včetně vypočtených hodnot. Nastavení aparatury GlidArc bylo řízeno panem doktorem Křížem, který má s plazmovým zdrojem mnoho zkušeností, tak, že pracovní plyn byl nastaven na 30 SCFH (standardní kubická stopa za hodinu) a vzdálenost elektrod z nerezového materiálu na 3 mm. Hladina vody byla vzdálena 4 cm od elektrod, její objem byl roven 100 ml a doba ošetření 10 minut.

Jako první parametr bylo měřeno pH, kde byl vliv patrný, z čehož plynulo nadšení a motivovanost do další práce. Nicméně u hustoty, dynamické viskozity a měrné tepelné kapacity k žádným změnám nedocházelo. Poslední parametr povrchové napětí byl velice mírně ovlivněn a vliv ošetření je diskutabilní.

Hlavní pozornost byla poté věnována parametru pH. Zjištěné výsledky dovolují pokládat mnoho dalších otázek. Jedna z nejdůležitějších by se mohla týkat mechanismu způsobující snížení pH. K zodpovězení této otázky bude nutné provádět chemické analýzy ošetřené vody. Dále je možné se dotazovat, jaký vliv by měla změna některých parametrů nastavení přístroje, jako je vzdálenost ošetření, délka ošetření, hodnota SCFH atd. Odpovědi na tyto otázky by bylo vhodné objasnit v možné navazující práci.

Závěrem lze konstatovat, že výzkumné cíle byly splněny. Ošetření plazmovým zdrojem GlidArc má vliv z vybraných parametrů vody pouze na pH, a to takový, že ho výrazně snižuje.

Seznam použité literatury

- [1] CHEN, Francis F. *Úvod do fyziky plazmatu*. 3. vyd. Praha: Academia, 1984.
- [2] Fyzweb [online] 2008 [cit. 2017-14-2]. Plazma. Dostupné z www: http://fyzweb.cz/materialy/hvizdy/5_plazma.pdf.
- [3] Definice plazmatu, základní charakteristiky plazmatu [online, Ústav fyziky a materiálového inženýrství]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati [cit. 2017-15-2]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_02.pdf.
- [4] MARTIŠOVITŠ, Viktor. *Základy fyziky plazmy: učebný text pre magisterské štúdium*. Bratislava: Vydavateľstvo UK, 2006. ISBN 80-223-1983-X.
- [5] SCHMIEDT, L. *Úvod do fyziky plazmatu*, [online] Karlova univerzita [cit. 2017-15-2] Dostupné z <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~marble/d/?p=0>.
- [6] Nesamostatný a samostatný výboj v plynu. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2017-16-2]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/282-nesamostatny-a-samostatny-vyboj-v-plynu>.
- [7] Základní kurz fyziky pro distanční studium. [online]. [cit. 2017-17-2] Praha: Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze, prezentace, 2008. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/.
- [8] KUBEŠ, P. *Impulsní silnoproudé výboje a jejich diagnostika*. Studijní text pro doktorské studium. [online] FEL ČVUT, Praha 2004. [cit. 2017-3-3] Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/studium/vyboje.pdf>.
- [9] GROSSMANOVÁ, H. *Diagnostika rozkladu těkavých organických látek v klouzavém obloukovém plazmatickém výboji*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. 2008.
- [10] CZERNICHOWSKI A., CZERNICHOWSKI M. Further development of plasma sources: the GlidArc-III. 17th Int. Symp. plasma Chem. Toronto, Canada. 2005.
- [11] Czernichowski, A. (2009). Gliding arc: Applications to engineering and environment control. *Pure and Applied Chemistry*, 66(6). [cit. 2017-8-3].
- [12] PITTER, P. *Hydrochemie*. 3., přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-03-00525-6.

Seznam obrázků:

Obrázek č. 1: Průběh doutnavého výboje [2]

Obrázek č. 2: Výboj GlidArc mezi dvěma elektrodami [10]

Obrázek č. 3: Fáze výboje GlidArc [9]

Obrázek č. 4: Zachycené ošetřování

Obrázek č. 5: Zdroj vysokého napětí GVN1k-2011

Obrázek č. 6: Mechanická pipeta a pyknometr

Obrázek č. 7: Mariottova láhev

Obrázek č. 8: Měřicí jednotka Cobra3 a kalorimetr

Obrázek č. 9: pH metr značky HANNA

Obrázek č. 10: Zahřívání uskladněné ošetřené vody

Obrázek č. 11: Kalibrační roztok s pH 4

Seznam tabulek:

Tabulka č. 1: Měření hustoty neošetřené vody

Tabulka č. 2: Měření hustoty ošetřené vody

Tabulka č. 3: Měření hustoty neošetřené vody

Tabulka č. 4: Měření hustoty ošetřené vody

Tabulka č. 5: Měření průměru kapiláry

Tabulka č. 6: Měření povrchového napětí neošetřené vody

Tabulka č. 7: Měření povrchového napětí ošetřené vody

Tabulka č. 8: Měření povrchového napětí neošetřené vody

Tabulka č. 9: Měření povrchového napětí ošetřené vody

Tabulka č. 10: Měření parametrů kapiláry

Tabulka č. 11: Měření dynamické viskozity neošetřené vody

Tabulka č. 12: Měření dynamické viskozity ošetřené vody

Tabulka č. 13: Měření dynamické viskozity neošetřené vody

Tabulka č. 14: Měření dynamické viskozity ošetřené vody

Tabulka č. 15: Měření tepelné kapacity kalorimetru
Tabulka č. 16: Vypočtená tepelná kapacita kalorimetru
Tabulka č. 17: Měrná tepelná kapacita neošetřené vody
Tabulka č. 18: Měrná tepelná kapacita ošetřené vody
Tabulka č. 19: Měrná tepelná kapacita neošetřené vody
Tabulka č. 20: Měrná tepelná kapacita ošetřené vody
Tabulka č. 21 (a, b, c, d): Měření pH ošetřené vody
Tabulka č. 22: Přepočtené hodnoty pH
Tabulka č. 23: Skutečný vliv GlidArc na pH
Tabulka č. 24 a 25: Zahřívání neošetřené vody
Tabulky č. 26 a 27: Zahřívání uskladněné ošetřené vody

Seznam grafů:

Graf č. 2: Křivka popisující závislost pH na teplotě