



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

Diplomová práce

Studium vlivu plazmového výboje na pH destilované vody

Vypracoval: Lukáš Koblíček
Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.
České Budějovice 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou 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 diplomové 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 15. 5. 2020

Anotace:

Diplomová práce se zabývá zjištěním vlivu atmosférického plazmového zdroje Gliding arc na pH destilované vody za různých parametrů ošetření. Mezi vybrané parametry patří doba ošetření a vzdálenost hladiny destilované vody od trysky. Teoretická část je tvořena rešerší několika vědeckých prací, které se věnují praktickému užití nebo předkládají možné využití Gliding arc v praxi. Praktická část obsahuje zkoumané naměřené veličiny, vytvořené modely a grafy přibližující charakter vlivu ošetření. Závěr obsahuje stručné shrnutí výsledků a vyřčená tvrzení, o jejichž pravdivosti je nutné se dále přesvědčit.

Klíčová slova:

Gliding arc, výboj, plazma, pH vody, teplota, praktické využití

Abstract:

This thesis is concerned with the influence of Gliding arc plasma discharge on the pH of distilled water while using different treatment time and distance between Gliding arc and the surface of distilled water. The theoretical part consists of research into various studies, whose main focus is the practical usage of Gliding arc and the possibilities of its use. The practical part contains the values of the measured quantities, models and graphs illustrating the effects of the process. The conclusion offers a brief summary of the findings and claims, whose correctness needs to be verified in further studies.

Keywords:

Gliding arc, discharge, plazma, pH water, water temperature, practical use

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.....	7
2	Teoretická část	9
2.1	Plazma	9
2.2	Plazmové výboje	9
2.3	Aplikace plazmových výbojů.....	10
2.3.1	Spektrochemie	10
2.3.2	Úprava povrchů.....	10
2.3.3	Úprava polymerů	11
2.3.4	Ošetřování textilií	12
2.3.5	Adheze	12
2.3.6	Optické přístroje	13
2.3.7	Výroba ozonu.....	14
2.3.8	Konverze oxidu uhličitého.....	14
2.4	Gliding arc.....	15
2.5	Aplikace Gliding arc	17
2.5.1	Ekologické čištění odpadní vody	17
2.5.2	Dekontaminace vody od bakterií	18
2.5.3	Dopady požití ošetřené vody na živý organismus	19
2.5.4	Biomedicína	20
2.5.5	Zabránění šíření krevničky jaterní pomocí plazmatu	21
2.5.6	Odstranění Escherichia coli	23
3	Praktická část	25
3.1	Aparatura Gliding arc.....	25
3.2	pH.....	28
3.3	Vyhodnocování dat	28
3.4	Výsledky měření	31

3.4.1	Konstantní vzdálenost, mění se doba ošetření	36
3.4.2	Konstantní doba ošetření, mění se vzdálenost	41
4	Závěr	48
5	Seznam použité literatury	50
6	Přílohy.....	59
6.1	Naměřené hodnoty	59
6.2	Modely pro přepočítání pH na referenční teplotu	66

1 Úvod

Tématem práce je zjištění vlivu atmosférického plazmového zdroje Gliding arc na pH destilované vody za různých parametrů ošetření. Mezi vybrané parametry patří doba ošetření a vzdálenost hladiny destilované vody od trysky. Měřené vzdálenosti byly 4, 6, 8 a 10 cm a doba ošetření 2, 4, 6, 8 a 10 min. Cílem bylo získat představu o změnách pH při různém nastavení ošetření a následně získané hodnoty mezi sebou porovnat a ověřit očekávané výsledky. Lze očekávat, že při kratších vzdálenostech a delších dobách ošetření bude změna pH výraznější než při větších vzdálenostech a kratších dobách měření. Z prověřovaných ošetření by pravděpodobně mělo být nejvíce efektivní ošetření při vzdálenosti 4 cm a době 10 min a naopak nejméně efektivní ošetření při vzdálenosti 10 cm a době 4 min. Dále se lze domnívat, že s rostoucí vzdáleností při stejných časech ošetření bude změna pH postupně klesat. Pravděpodobně můžeme také očekávat postupný nárůst poklesu pH s rostoucím časem při stejných vzdálenostech.

Teoretická část obsahuje stručný úvod do problematiky plazmatu a plazmových výbojů. Dále jsou zde prezentovány různorodé aplikace plazmových výbojů v praxi. Již v dnešní době se tato technologie využívá při úpravě různorodých povrchů nebo v osvětlovacích systémech. Své uplatnění nenalezne pouze u neživých objektů, ale, jak se zdá, také v boji proti mikroorganismům. Člověk bojuje s mikroorganismy od pradávna a za tímto účelem si vytvořil obranné mechanismy, ať už specifické, či nespecifické, objevil očkování, vynalezl vakcíny, antibiotika, antivirotika atd. Nepřítel, mikroorganismy, má oproti nám jistou výhodu, jelikož je vždy o krok napřed, a my se jej pouze snažíme doběhnout. Proběhne-li mutace genomu jednoho organismu a jeho následné rozšíření v populaci, mohou se stát doposud známé metody v boji s tímto organismem naprosto neefektivní. Vývoj vakcíny trvá i několik let, avšak vzhledem k naléhavosti situace není možné tak dlouho čekat. Nejaktuálněji můžeme jmenovat onemocnění COVID-19 a Ebolu. Plazmové výboje se jeví býti účinnými v boji s mikroorganismy a v budoucnu by se mohly stát velmi výraznými obrannými nástroji lidstva, a proto je důležité zvláště tomuto tématu věnovat zvýšenou pozornost. Kapitoly Gliding arc a Aplikace Gliding arc se zabývají již specifickým plazmovým výbojem, a to sice výbojem Gliding arc, klouzavým elektrickým výbojem. Dále jsou zde také uvedené s největší pravděpodobností chemické reakce vyvolané ošetřením a jejich následný dopad na pH vody a její složení.

V praktické části jsou nejprve předloženy fotografie pořízené během provádění experimentů pro jejich lepší přiblížení. Jsou zde zdokumentovány téměř veškeré přístroje, které byly užity při provádění ošetření, až na datalogger sloužící k měření teploty. V kapitole Vyhodnocování dat je popsán postup provádění výpočtů a sestavování modelů pro získání hodnot do finálních grafů taktéž prezentovaných v praktické části. Finální grafy lze rozdělit do dvou skupin, a to na první skupinu grafů porovnávající pokles pH za konstantního času a měnící se vzdálenosti, a druhou skupinu grafů porovnávajících pokles pH za konstantní vzdálenosti a měnícího se času. Hodnoty ve finálních grafech jsou přepočtené podle příslušných vytvořených modelů, jež jsou vytvořené z naměřených hodnot odpovídajících měření. Z důvodu velkého množství tabulek a modelů je převážná většina z nich umístěna v příloze.

Zkoumání jednotlivých studií a získávání nových poznatků o fungování Gliding arc bylo skutečně vzrušující. Na druhou stranu bylo bádání zastrašující, jelikož ukázalo, že se jedná o velmi komplexní problematiku a že se pro její alespoň částečné pochopení bude nutné studiem zabývat podstatně déle. V dnešní době vychází velké množství studií a nalézají se nová uplatnění pro plazmové výboje a samotný Gliding arc. Mnoho aplikací se zatím v praxi nerealizuje, jelikož je stále nutné samotný postup upravit a co nejvíce zefektivnit.

Závěr obsahuje stručné shrnutí výsledků a vyřčená tvrzení, která pravděpodobně platí. Nicméně k ověření závěrů by bylo vhodné provést u problematických případů vícero měření. Dále pak několik úvah pro budoucí zkoumání.

2 Teoretická část

2.1 Plazma

Plazma je ionizovaný plyn, skládá se tedy z kladně a záporně nabitých iontů, elektronů, ale také z neutrálních částic. Stupeň ionizace se u jednotlivých druhů plazmatu výrazně liší od zcela ionizovaného plynu až po částečnou ionizaci plynu řádově 10^{-4} až 10^{-6} . Často je plazma považováno za čtvrté skupenství hmoty. Ačkoli se většina těles na planetě Zemi v tomto skupenství nevyskytuje, tak ve vesmíru se většina hmoty nachází právě ve skupenství plazmatu. [1]

Laboratorně vytvořené plazma můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na takzvané vysokoteplotní plazma (high-temperature plasma) a nízkoteplotní plazma (low-temperature plasma) neboli výboj v plynu. [1]

Obecněji lze plazma rozdělit na takzvané teplotně rovnovážné plazma (plazma in thermal equilibrium) a teplotně nerovnovážné plazma (plasma not in thermal equilibrium). Všechny částice teplotně rovnovážného plazmatu mají stejnou teplotu, čehož se dosahuje pouze za vysokých teplot pohybujících se mezi 4000 až 20000 kelvinů. Dále se můžeme setkat s pojmem lokální teplotní rovnováha (local thermal equilibrium), jež implikuje, že částice tvořící plazma mají stejnou teplotu v určitých oblastech. Nicméně většina mezihvězdného plazmatu spadá do skupiny teplotně nerovnovážného plazmatu, kde jsou teploty částic značně rozdílné. [1]

2.2 Plazmové výboje

Plazmové výboje v plynech lze rozdělit do dvou základních skupin spojených s tlakem, a to na výboje s lokální teplotní rovnováhou generované za vysokého tlaku a výboje teplotně nestabilní generované za nízkého tlaku. Existuje několik typů výbojů, které se vymykají této konvenci, jelikož vlastnosti výboje jsou ovlivněné dalšími aspekty, jako jsou délka samotného výboje nebo vzdálenost elektrod generující výboj. [1]

V posledních letech pole výzkumu a aplikace plazmatu výrazně expandovaly. Plazma dodnes nachází nová uplatnění, není zcela prozkoumána a můžeme očekávat jeho další pronikání do různorodých odvětví. Své uplatnění nachází zejména v průmyslu, ale rovněž i ve zdravotnictví a environmentalismu, kde s přihlédnutím

k nedávným politickým událostem (Světový summit R20 ve Vídni) se bude jeho pole působnosti dále rozšiřovat. [1]

Vlastnosti výboje jsou dány mnoha faktory, což je také důvodem velkého rozsahu uplatnění. Můžeme manipulovat například s pracovním plynem, kdy nezáleží pouze na jeho průtoku, ale také na jeho složení. Vlastnosti výboje ovlivňuje rovněž tlak, při němž vzniká. Dále samotná konfigurace aparatury se výrazně podílí na výsledném efektu. Je zřejmé, že existuje mnoho možností nastavení, od čehož se odvíjí početné množství výbojů, od jejichž charakteristiky se poté odvíjí jejich využití v dané oblasti. [1]

Výboje s vyšší teplotou, plazma s lokální teplotní rovnováhou, se typicky uplatňují při řezání, sváření nebo evaporaci. Naopak výboje s nižší teplotou, teplotně nerovnovážné plazma, nalézají uplatnění tam, kde není vysoká teplota žádaná, typicky při depozici ultratenkých vrstev nebo leptání. [1]

2.3 Aplikace plazmových výbojů

2.3.1 Spektrochemie

Plazmové výboje si našly nezastupitelné uplatnění v analytické spektrochemii při analýze stopových prvků v pevných látkách, tekutinách a plynech. Zmínit zaslouží zejména výboj s indukčně vázaným plazmatem (inductively coupled plasma) za atmosférického tlaku, mikrovlnně indukované plazma (microwave induced plasma) a doutnavý výboj (glow discharge). [1]

2.3.2 Úprava povrchů

Úprava povrchů pomocí plazmových výbojů hraje klíčovou roli v mikroelektronice, zejména ve výrobě integrovaných obvodů. Argonové a kyslíkové výboje se aplikují (podle typu pracovního plynu) při nanášení hliníku, wolframu nebo vysokoteplotních supravodivých vrstev. Kyslíkové výboje se využívají k vytvoření oxidu křemičitého na křemíku nebo k odstranění fotorezistivních a polymerových vrstev. Dále je možné jmenovat depozici tenkých vrstev, kdy vlivem plazmatu dochází ke vzniku nové vrstvy na povrchu substrátu, odstraňování částic z povrchu nebo změně nejsvrchnější vrstvy povrchu. Plazmovým výbojem je možné vytvořit hydrogenované formy uhlíkových vrstev, které jsou žádané v oblasti mechanické ochrany v mnoha odvětvích, protože se vyznačují vysokou tvrdostí, skvělými kluznými vlastnostmi

a chemickou inertností umožňující aplikaci antikorozní ochrany materiálů. Dusíkaté a fluoridové plyny se používají pro zvýšení hydrofobie. Leptání pomocí plazmatu, kdy dochází k povrchové reakci, jež vede k tvorbě těkavých sloučenin (fluorid křemičitý), je dalším způsobem úpravy povrchu materiálů. [1] [2] [3] [4] [5]

Hromadění mikroorganismů, rostlin, řas nebo bezobratlých je významným problémem v námořnictví, neboť jejich činností dochází ke korozi trupů lodí a dalších jejich částí. Podle nových zákonů musejí veškeré úpravy povrchů lodí splňovat přísné podmínky, které nejsou v rozporu s moderním trendem ochrany životního prostředí. Jednou z nových technologií, která splňuje tato kritéria, je ošetření plazmatem, jehož vliv na povrch materiálů byl mnohokrát dokázán. Jedním z řešení je ošetření lodí již uvedených do provozu, a využití tak dekontaminačních vlastností výboje. Druhým řešením je ošetření nových lodí jako úplně první úprava povrchu před jakýmkoli nanesením nátěru či jiných prostředků. [6]

2.3.3 Úprava polymerů

Polymerové vrstvy se hojně ošetřují plazmatem, čímž se u nich dosahuje požadovaných vlastností při jednotlivých aplikacích. Ošetřování plazmatem je možné označit za nejvíce univerzální metodu upravování povrchů. Polymery zatím hrají nezastupitelnou roli v našem každodenním životě, a právě proto je jejich modifikace plazmatem natolik významná. [7]

Polymery jsou chemické látky, jejichž širší vlastností je skutečně neobvyklá. Obsahují ve svých molekulách nejčastěji atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často pak dusíku a chloru. Vysoká molekulová hmotnost polymerů je důvodem jejich vysokého bodu varu, jenž se nachází nad teplotou jejich rozkladu, mohou se tedy nacházet pouze ve dvou skupenstvích, a to pevném a kapalném. Polyethylen (PE) nachází využití pro technické výrobky, jako jsou fólie, trubky, pláště kabelů a kanystry. Dále je nejrozšířenějším obalovým materiálem. Polyvinylchlorid (PVC) je díky poměrně levnému způsobu výroby nejmasověji vyráběným syntetickým plastem. Vláknina polyethylentereftalátu (PET) se zpracovávají na spotřební textilie, technické tkaniny a lana. Z polyamidu 6 (PA 6) se vyrábějí technická vlákna, která tvoří kordy do koster pneumatik, vlasce a vlákna na síta a textilní hedvábná a kobercová vlákna. [8]

Modifikace může být omezena pouze na povrch polymerů bez změny většiny jejich vlastností. Excitované částice modifikují povrchy všech polymerů bez ohledu na

jejich strukturu a chemické vlastnosti. Volbou vhodného pracovního plynu dosáhneme chtěné modifikace, která je v rámci povrchu poměrně jednotná. [7]

2.3.4 Ošetřování textilií

Ošetřování textilií netermálním plazmatem se stává velice populárním způsobem úpravy, jež jde ruku v ruce s rozvojem povrchových úprav a lepšími znalostmi plazmatu. Modifikace povrchů plazmatem nabízí několik výhod oproti standardním metodám, zejména pak nepotřebnost chemikálií a vody, šetrnost k životnímu prostředí a nižší nákladovost. Pro hromadné ošetřování textilií jsou tyto faktory stěžejní, vezmeme-li v potaz, jaké obrovské množství textilu vyprodukuje. [9]

Doutnavý výboj je schopen modifikovat smáčivost polyesterových vláken a bavlněné příze. Účinnost ošetření rapidně klesá během prvních pěti hodin, ale poté se ustálí, a materiál získanou vlastnost již neztrácí. Dielektrický bariérový výboj za použití Argonu jako pracovního plynu již po 10 sekundách ošetřování podstatně zvyšuje absorpci vody polyethylentereftalátových vláken a při užití chloridu křemičitého dojde na jejich povrchu k vytvoření hydrofilní vrstvy. [9] [10]

Na finálním výsledku se podílí šest kritických faktorů, a to frekvence napětí, velikost napětí, vzdálenost elektrod, druh a teplota pracovního plynu a doba ošetření. Polyethylentereftalátová vlákna byla ošetřována za užití pracovních plynů dusík, kyslík, vzduch, oxid uhličitý a amoniak. Nejlepších výsledků bylo dosaženo za použití kyslíku a dusíku. OAUGDP (one atmosphere uniform glow discharge plasma), možno přeložit jako difúzní dielektrický bariérový výboj ve vzduchu za použití oxidu uhličitého jako pracovního plynu, výrazně ovlivnil smáčivost, potažmo navlhavost netkané textilie polypropylenu (PP). Polypropylen patří mezi takzvané nenavlhavé polymery, jejichž velmi nízká navlhavost je způsobená nepolární povahou polymerů. Účinná doba ošetření se pohybuje mezi 1 až 4 minutami. [9] [10]

2.3.5 Adheze

Ošetření plazmatem je schopné zlepšit interlaminární (mezivrstvou) smykovou pevnost kompozitních materiálů a také jejich odolnost vůči únavě a korozi. Uhlíková vlákna hrají nezastupitelnou roli v mnoha průmyslech, přesněji řečeno v letectví (trupy a křídla letadel), větrných generátorech (rotory), kompozitech různých druhů (nádrže na plyn, lodě), sportovních náčiních a pro svůj unikátní vzhled pak také automobilovém průmyslu (nárazníky a části karoserií). Během prvních zhruba tří minut dochází ke

zdrsnění povrchu, ale s rostoucím časem ošetření se povrch vláken postupně vyhlazuje. Dále byl zjištěn nárůst, který dosáhl maxima po třech minutách ošetření a při delším čase se již neměnil, pevnosti ohybu až o 52 % a interlaminární smykové pevnosti až o 17 %. [9] [11] [12] [13] [14]

Ošetřením vzrostou adhezní síly na rozhraní mezi uhlíkovými vlákny a polyfenylsulfidem, což lze uplatnit při výrobě kompozitních materiálů s termoplastickou matricí, jež by mohly nalézt uplatnění zejména v letectví. Uhlíková vlákna byla leptána plazmatem při užití pracovního plynu kyslíku nebo argonu a výsledkem bylo zvýšení smykové pevnosti na rozhraní až dvaapůlkrát oproti počátečnímu stavu. [9] [15] [16] [17]

Ošetření plazmatem mění či odstraňuje vnější hydrofobní vrstvu vláken, a usnadňuje tím barvení a potisk textilií. Po ošetření se zkracuje doba nutná k obarvení a samotné obarvení je více stejnorodější. Tyto změny vlastností vykazují všechny druhy textilií bez ohledu na typ vláken, ze kterého jsou zhotoveny. Je například navýšena barvitelnost polyethylentereftalátu, polyamidu a polypropylenu tkaných textilií po ošetření. Barvy jsou výrazně sytější, ale na druhou stranu se u polyethylentereftalátu a polypropylenu barvy rychle omyjí, pravděpodobně kvůli nedostatečnému proniknutí kyseliny akrylové do vláken, jež lze pozorovat pomocí infračerveného spektrometru s Fourierovou transformací. Omyvatelnost barev u polyamidu, kde je možné pozorovat proniknutí kyseliny akrylové dovnitř vláken, je menší a lze ji označit za uspokojující. [9]

2.3.6 Optické přístroje

Mnoho typů světelných zdrojů je založeno na plazmových výbojích. Již v roce 2007 uvedla na trh firma LUXIM zcela nový typ výbojového světelného zdroje LEP, plazma emitující světlo (light emitting plasma), s dlouhou střední dobou života až 50 000 hodin. Bodový charakter těchto zdrojů umožňuje optické části svítidel dostatečně přesně usměrňovat jejich světelný tok do požadovaných směrů. Praktické využití našly v osvětlení průmyslových prostorů a ve veřejném osvětlení. Dalším příkladem osvětlení jsou elektromagnetické indukční lampy, v nichž se využívá výboje indukčně vázaného plazmatu. Je možné je nalézt pod obchodním názvem Reflektor GE Genura, které produkují méně emisí CO₂, a tím přispívají k ochraně životního prostředí. Výrobce GE (General Electric) uvádí až o 80 % nižší spotřebu a patnáctkrát delší

životnost v porovnání s běžnými žárovkami. Elektromagnetické indukční lampy se vyskytují také v projektorech. Samotné lampy vyrábí například společnost Matsushita. [18] [19] [20]

Starší fluorescenční lampy obsahovaly rtuť, jež není příliš bezpečná. Plazmový výboj umožnil výrobu nových lamp bez přítomnosti rtuti, čímž bylo odstraněno několik problémů, a to produkce nebezpečného odpadu, vyšší výrobní náklady a krátká životnost. [21]

Plazmové displeje byly ohromnou změnou, co se kvality obrazu týká, a zcela nahradily do té doby používané CRT displeje. Dodnes můžeme v domácnostech nalézt plazmové televizory Panasonic Viera, které byly velmi kvalitní a za svého vrcholu takřka nepřekonatelné. S příchodem vyšších rozlišení (4K) nastal úpadek a postupně byly nahrazovány OLED displeji, protože vyšších rozlišení než Full HD se nepodařilo technologicky zkonstruovat, a tak v roce 2014 jeden z největších výrobců plazmových televizí Panasonic jejich výrobu ukončil. [22]

Plazma se také aplikuje v laserové technologii. Například helium-neonový laser se užívá k ozařování pacientů a navádění při chirurgických aplikacích, ale také k navádění v letectví a stavebnictví, dále v holografii, interferometrii a laserových tiskárnách. Dříve sloužil jako čtečka čárového kódu, ale je postupně vytlačován polovodičovými lasery. [23]

2.3.7 Výroba ozonu

Plazmové výboje jsou také generátory ozonu, který se nejčastěji používá v potravinářském průmyslu, například pro menší ztrátu kvality potravin, prodloužení doby skladování a trvanlivosti. Pro jeho výrobu se nejčastěji používá pracovní plyn vzduch nebo kyslík. [21] [24]

2.3.8 Konverze oxidu uhličitého

Od začátku industriální revoluce dochází k nárůstu koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší. Jedním z nejvíce diskutovaných problémů dnešní doby je globální oteplování a právě nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je považován za jeden z faktorů odpovědných za vznik tohoto problému. I kdyby tomu tak nebylo, nemění to nic na nutnosti snížit koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře. Jedním ze způsobů je konvergovat oxid uhličitý produkovaný průmyslem na jinou surovinu a znovu ho tak

využit. Tradiční metody rozbíjení molekul oxidu uhličitého na oxid uhelnatý a kyslík nebo konverze pomocí reaktantů zatím nejsou dostatečně efektivní, a tak se hledají nové metody. V posledních letech se uvažuje o použití plazmatu pro konverzi oxidu uhličitého. Přeměna vodíku a oxidu uhličitého na methan se již nějakou dobu realizuje, první významná technologie pracující na tomto principu v Evropě je v provozu již od roku 2013. Technologie vyžaduje přítomnost katalyzátoru, kterým může být například nikl, kobalt, ruthenium nebo rhodium. Bohužel cena některých možných a vhodných kovů je příliš vysoká. Ruthenium je považováno za nejúčinnější ušlechtilý kov pro syntézu methanu, ale kvůli nákladům zatím není možné jeho užití v praxi. Za jedno z možných řešení lze považovat užití plazmatu, kdy by bylo možné úpravou povrchů levnějších kovů, jako je například nikl nebo měď, dosáhnout vyšší účinnosti nebo se nabízí již zmíněná metoda rozbití molekuly oxidu uhličitého na oxid uhelnatý a kyslík. [25] [26] [27]

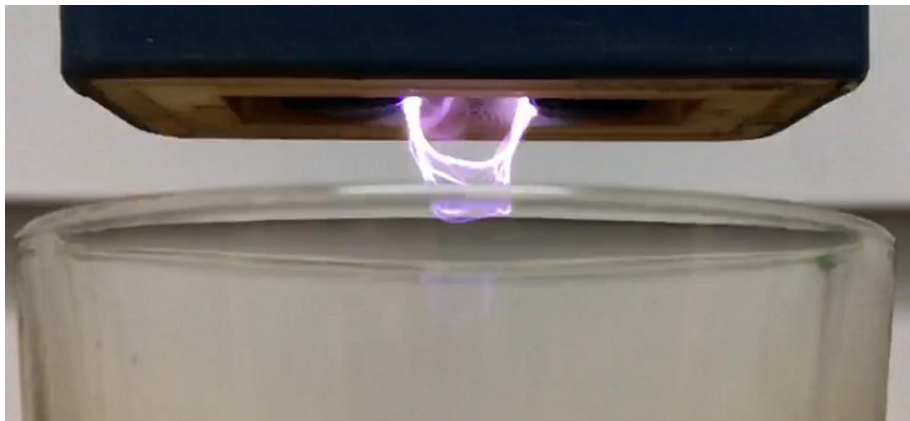
Technologie plazmatu vyniká v několika aspektech. Proces může probíhat za pokojové teploty, využívat jakékoli zdroje elektřiny i obnovitelné, rozmanité druhy výbojů, a nastavení jejich parametrů umožňuje široký záběr aplikace, výroba a provoz reaktorů nevyžadují obrovské investice, jelikož nejsou potřebné žádné vzácné materiály. Veškeré tyto vlastnosti jsou dnes při ochraně životního prostředí velmi žádané, což nahrává dalšímu výzkumu a aplikaci v praxi. Ovšem existují i nevýhody, dochází například dochází k vytvoření produktů, jejichž následná separace po ošetření je již nákladnější. [25]

2.4 Gliding arc

Klouzavý elektrický obloukový výboj Gliding arc je jedním z mnoha typů plazmového výboje. Již u něj samotného se můžeme setkat s mnoha obměnami, které mění jeho efekt. Obměnami nemusí být pouze typ a proudění pracovního plynu, vzdálenost či tvar elektrod, ale také jejich samotné uspořádání, počet a samotná stavba generátoru.

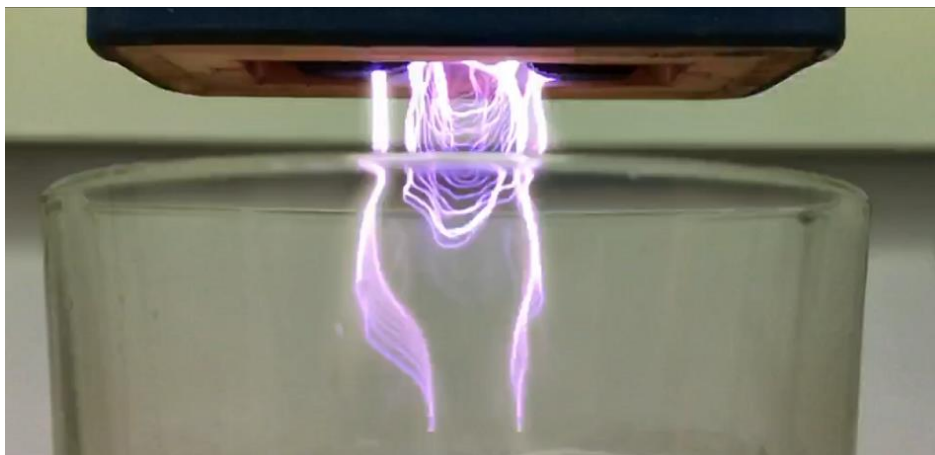
Jedná se o neizotermické plazma, plazma teplotně nerovnovážné, kde teplota elektronů převyšuje teploty ostatních částic v plazmatu obsažených, které je tvořeno slabě ionizovaným plynem. Výboj bývá obvykle zapálen mezi dvěma elektrodami, na které je přiváděno napětí o hodnotách až 30 kV a relativně malý proud o hodnotách pohybujících se mezi 0,05 až 5 A, v místě, kde je jejich vzdálenost nejmenší. Výboj se

poté pohybuje působením vlastního magnetického pole a částečně i ohřevem vzduchu v mezeře při vhodné orientaci elektrod v prostoru. Pohyb výboje po elektrodách je dále podporován přiváděným pracovním plynem až do svého zániku, kdy dodávané napětí již není postačující pro zachování integrity, termodynamické rovnováhy, plazmového vlákna, a dojde k jeho přetržení. Po ukončení jednoho cyklu opět dochází k zahájení cyklu dalšího až do té doby, dokud zdroj poskytuje dostatečné napětí k zapálení výboje v oblasti takzvaného elektrického průrazu, bodu nejmenší vzdálenosti elektrod. [28] [29] [30]



Obrázek č. 1: Výboj Gliding arc

Na obrázku č. 1 je zachycený výboj Gliding arc v momentu, kdy je dodávané napětí dostatečně velké pro uchování integrity plazmového vlákna.



Obrázek č. 2: Přetržení plazmového vlákna

Plazmové vlákno na obrázku č. 2 již nedokáže uchovat svou integritu, následuje jeho přetržení a urychlené částice se pohybují původním směrem pracovního plynu.

2.5 Aplikace Gliding arc

Gliding arc nachází své uplatnění v mnoha odvětvích, a to zejména díky produkci relativně velkého počtu elektricky nabitých a vysoce reaktivních částic. Probíhá za atmosférického tlaku, což lze také považovat jistou za výhodou. Náklady na jeho výrobu nejsou nikterak vysoké, nevyžaduje žádné vzácné kovy či jiné méně dostupné materiály. Nevýhodou je postupné poškozování elektrod vlivem výboje, jejichž částičky se poté dostávají do kontaktu s ošetřovaným předmětem. [28] [29] [30]

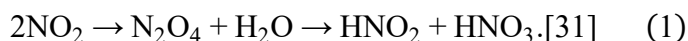
2.5.1 Ekologické čištění odpadní vody

Gliding arc je velmi silnou ekologicky nezávadnou metodou čištění odpadní vody, která se pak může znovu využít v průmyslu, zemědělství, ale také i v domácnosti. Po celém světě se lidé potýkají se znečištěnou vodou, kterou je nutné co možná nejvíce ekologicky vyčistit. Mimo konvenční metody čištění odpadních vod nabízí ošetření plazmovým zdrojem Gliding arc alternativu, kterou je vhodné dále zkoumat. [31]

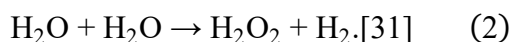
Vlivem ošetření dochází ve vodě ke změně pH, a to k jeho výraznému poklesu. Jako další měnicí se parametr je uváděna vodivost, která se naopak zvyšuje. Nastávají tedy změny, které nelze ignorovat, a po ošetření je nutné vodu podrobit dalším procesům, než bude znovu využita. [31]

Právě oné kyselosti je přisuzována důležitá role při degradaci organických složek vody. Během ošetření se objevují zvýšené oxidační procesy, které jsou doloženy nárůstem peroxidu vodíku. Dále se zvyšuje koncentrace nitrátů ve vodě, což může být výhodné při jejím využití v zemědělství. [31]

Další měření ukazují výraznou mineralizaci vzorku během ošetření. Vodivost roste po celou dobu ošetřování téměř lineárně. Nárůst vodivosti je doprovázen zvýšením kyselosti roztoku. Změny pH a vodivosti lze vysvětlit produkcí aktivních činitelů vytvářených během ošetřování. Mezi tyto činitele patří hydroxylové radikály ($\cdot\text{OH}$), které jsou velmi silnými oxidačními činiteli a jsou zodpovědné za oxidační reakce ve vodě, monomer oxidu dusičitého (NO_2), dimer oxidu dusičitého (N_2O_4) a oxid dusičný (N_2O_5). Oxidy dusíku se mohou ve vodě snadno rozpadat, což má za následek vznik nitrátů, které vyvolávají nárůst vodivosti a pokles pH. Rovnice, jež tyto děje popisuje, vypadá takto:



Gliding arc generuje vysokoenergetické částice, jako jsou elektrony, ionty, excitované atomy a molekuly, které mají oxidační vlastnosti. Dále tedy můžeme měřit oxidačně redoxní potenciál během ošetření, kdy výsledky ukazují jeho jasný nárůst po dobu ošetření. S tím související koncentrace peroxidu vodíku rovněž roste po dobu ošetření, kdy s rostoucím časem dochází k prudšímu nárůstu. Tento děj je možné popsat rovnicí:



Ošetření plazmovým zdrojem Gliding arc vede ke vzniku dusitanů a dusičnanů. Výrazná koncentrace oxidu dusíku se utváří v plazmatu a následně reaguje s peroxidem vodíku v ošetřované vodě za vzniku dusičnanů podle rovnice:



Koncentrace dusičnanů s časem roste. Z počátku je nárůst pomalejší, ale od čtvrté minuty dojde k prudké změně a rapidnímu nárůstu koncentrace dusičnanů. Právě dusičnany ovlivňují vodivost a pH roztoku skrze vytváření kyselin a iontů. [31]

2.5.2 Dekontaminace vody od bakterií

Existuje mnoho druhů mikroorganismů znečišťujících vodu, a proto se využívá různých fyzikálních a chemických metod pro jejich odstranění, jako je proces filtrace, chlorace, aplikace UV záření atd. Všechny tyto metody mají mnoho nevýhod, což vede ke zkoumání nových a dokonalejších způsobů, jak očistit kontaminovanou vodu. Dochází totiž k produkci škodlivých vedlejších produktů a jejich šíření do vody a spolu s ní i do přírody. Dále je velkou překážkou imunita mnoha velice odolných mikroorganismů, které přece jen existují výrazně déle než my, lidé. Nelze se divit, že si vyvinuly systém ochrany a sebezachování, který předčí naše schopnosti, a jsou velmi často o krok napřed před námi. [32]

Během posledních dvou dekad bylo představeno, a velice intenzivně zkoumáno, využití ošetření plazmatem znečištěné vody za účelem jejího očištění. Na rozdíl od ostatních chemických metod při této nedochází k produkci biocidních a toxických chemikálií a k odstranění velké škály mikroorganismů dochází již v poměrně krátkém čase při nízké teplotě. Zničení mikroorganismů je přisuzováno přítomnosti mnoha reaktivních plazmatických částic, jako jsou hydroxylový radikál ($\text{OH}\cdot$), vodíkový

radikál ($\text{H}\cdot$), kyslíkový radikál ($\text{O}\cdot$) a hydroperoxy (HO_2) a dále molekulám peroxidu vodíku (H_2O_2), vodíku (H_2) a kyslíku (O_2). [32]

Když jsou molekuly vody vystaveny účinkům elektrického výboje, tak dochází k produkci hydroxylových a vodíkových radikálů vyvolané dekompozičními, ionizačními, rotačními a vibračními excitačními reakcemi. Typická vlnová délka hydroxylových radikálů se pohybuje mezi 309 a 317,8 nm. Právě ony jsou nejvíce účinnými elementy při sterilizaci vody. Dokážou velice snadno projít membránami bakterií a hub a zničit je. [32]

Mnohé experimenty poukazují na klesající CFU/ml (kolonii tvořící jednotka) v závislosti na čase. Pro dekontaminaci bakterií *Staphylococcus aureus* a *Salmonella* je dostačující ošetření po dobu deseti minut. V případě houby *Penicillium* se délka ošetření musí zvýšit na šestnáct minut. [32]

2.5.3 Dopady požití ošetřené vody na živý organismus

Ošetření vody plazmovým zdrojem Gliding arc má nepopíratelný efekt na její vlastnosti a složení. Nabízí se otázka, co by se stalo živým organismům po požití neupravené ošetřené vody. Testování proběhlo na samicích myši CD1. Myší model CD1 je původem ze Švýcarska a získaný šlechtěním. Ochranná známka je registrovaná laboratoří Charles River Laboratories, USA. Tento myší model je velice často využíván v toxikologických studiích při zjišťování vlivu různých chemických látek na organismus. Pro účely testování byla zvolena outbrední linie, protože je geneticky heterogenní a odráží vliv dané látky na reálnou populaci. Inbrední linie reprezentuje pouze jediný genotyp, a právě proto je nutné při generalizaci výsledků na základě jejího použití postupovat velice opatrně. Inbrední linie vzniká příbuzenskou plemenitbou po více než 20 generací a řadíme ji pod takzvané isogenní laboratorní kmeny, neboli geneticky definované kmeny. Isogenicita je genetická totožnost všech jedinců. Outbrední linie spadá pod kategorii neisogenní, tedy geneticky nedefinované kmeny, a definujeme ji jako geneticky heterogenní populaci, kde se vyhýbáme příbuzenskému křížení tak, aby koeficient inbreedingu zůstal co nejnižší. Inbreeding je pojem používaný pro příbuzenské množení, rozmnožování autogamií, nebo křížení a páření příbuzných jedinců, jehož následkem je redukce heterozygotnosti. Výsledkem inbreedingu je inbrední deprese, kdy při zvyšování celkové homozygotnosti následkem

příbuzenského rozmnožování dochází k poklesu fitness, reprodukce, odolnosti atd. [33] [34] [35] [36]

Jednou z výhod užití myši pro účely studií je jejich velice krátká generační doba, což je žádoucí při provádění multigeneračních studií, kdy se zjišťuje, zdali je organismus schopen si na vliv dané látky zvyknout nebo zda se vyvolané změny přenášejí na potomstvo, či nikoliv. [33] [34]

Pokusné myši byly tři týdny staré a rozděleny do tří skupin – A, B a C. Skupina A požívala vodu z vodovodu, skupina B destilovanou vodu a skupina C vodu ošetřenou plazmatem. Veškerá voda se uchovávala v polykarbonátových lahvích po dobu 180 dnů. [33]

Během experimentu se objevily nečekané změny polykarbonátových lahví u skupiny C, kdy došlo ke změně jejich barvy na zelenožlutou. Později byla u myši skupiny C diagnostikována systémová amyloidóza. Amyloidóza je nebezpečné onemocnění označující hlavní příznak skupiny onemocnění podmíněných depozicí amyloidu, nerozpustného degradačního produktu některých proteinů v řadě orgánů. Depozita amyloidu mohou poškodit funkci orgánů, například jater, ledvin a sleziny natolik, že může dojít k jejich selhání. U skupin A a B nebyly pozorovány žádné změny. [33] [37]

Při opakování experimentu bez užití polykarbonátových lahví se již žádné makroskopické či mikroskopické změny neobjevily. Patologické nálezy mohou být spojeny s konstantní konzumací bisfenolu A a dalších organických sloučenin vzniklých reakcí při kontaktu ošetřené vody plazmatem a polykarbonátovými lahvemi. Je tedy žádoucí, aby se kontaktu v budoucnu zabránilo a ošetřená voda se skladovala například v chemicky inertních borosilikátových lahvích. [33]

2.5.4 Biomedicína

Patogenní a oportunistické mikroorganismy se stávají závažnou hrozbou celosvětového zdraví, protože jsou velice adaptivní a ceny prevencí a terapií jak u lidí, tak u zvířat jsou velice vysoké. Antimikrobiotika jsou důležitou složkou při prevenci a léčbě infekčních onemocnění. Bohužel jejich účinnost je ohrožena rozvojem antimikrobiální rezistence, která se během posledních let výrazně zvětšila a stala se tichou pandemií schopnou ničit globální veřejné zdraví. Dále nozokomiální onemocnění

výrazně zvyšují ekonomické náklady zdravotnického zařízení a úmrtnost během hospitalizace. Nozokomiální infekce jsou systémové nebo lokalizované infekce, které prokazatelně nebyly přítomny u pacienta při přijetí do nemocnice a propuknuly nejdříve po uplynutí 48 h od hospitalizace nebo do 48 h po propuštění. Odhaduje se, že ročně zemře až 16 milionů lidí právě v důsledku nákazy během hospitalizace. [33] [38]

Nozokomiální infekce jsou velice závažným problémem, který stěžuje léčbu pacientů. Prevalenční studie nozokomiálních infekcí v České republice provedená v roce 2009 na odděleních ARO a JIP s invazivní umělou plicní ventilací uvádí, že u 369 pacientů ze sledovaných 1615 byla zjištěna přítomnost nozokomiální infekce, tedy u 22,8 %. Mezi nejčastější nozokomiální infekce na odděleních intenzivní péče a ARO patří pneumonie, neboli zápal plic, které spolu s infekcemi dolních cest dýchacích představují téměř polovinu všech nozokomiálních infekcí. Na prvním místě v četnosti záchytů gramnegativních agens byla *Pseudomonas aeruginosa*. Na druhém místě pak *Klebsiella pneumoniae*. Studie potvrdila vysokou míru rezistence těchto mikrobu k cefalosporinům III. generace, a to až 55,6 %. Výsledky dále poukazují na nadměrné využívání cefalosporinů III. generace, přičemž rezistence na tento typ antibiotik je u hlavních mikrobiálních agens způsobujících nozokomiální infekce v České republice vysoká, a vzbuzují pochyby o správnosti podávání antibiotik. [39]

Výzkumy jasně prokazují antimikrobiální efekt vody ošetřené plazmatem na gramnegativní a grampozitivní bakterie, *Mycobacterium*, zahrnující například *Mycobacterium tuberculosis* a patogenní houby. Účinnost této metody je silně ovlivněna několika faktory, jako jsou teplota, rychlost a složení pracovního plynu, tvrdost vody, koncentrace organických látek a dalších živin pro mikroorganismy a také stavba buněčné stěny. Nicméně mechanismus působení na mikroby a jejich ničení není stále zcela objasněn. Ačkoli je nutné provést další studie, můžeme si představit užití vody ošetřené plazmatem jako novou biomedicínskou aplikaci. [33]

2.5.5 Zabránění šíření krevničky jaterní pomocí plazmatu

Krevnička jaterní (*Schistosoma japonicum*) je rozšířený parazit lidí a zvířat, u nichž způsobuje onemocnění Schistosomózu. Odhaduje se, že kolem 230 milionů lidí trpí nákazou a dalších 779 milionů je nákazou ohroženo. Největší nebezpečí hrozí v Asii, zejména pak v Číně a na Filipínách. Dospělí paraziti v člověku pronikají do cév a jsou schopni se několik let úspěšně vyhýbat imunitnímu systému. Během této doby

produkují stovky, až tisíce vajíček denně, které opouštějí tělo společně s exkrementy. Právě díky odpadní vodě se poté velice úspěšně šíří, a až ve finálním stádiu vývojového cyklu opět napadnou člověka či zvíře. Klinické příznaky Schistosomózy závisí na intenzitě infekce a na fázi infekce, tedy na délce trvání infekce, množství a lokalizaci motolic a stavu imunitního systému daného jedince. Kožní fáze se projevuje vyrážkou, která se objeví do 12 až 48 hodin po pobytu v rizikových vodách pouze na místech kontaktu kůže s cercáriemi (dceřiná larvální stádia). Doprovodnými příznaky jsou velmi intenzivní svědění, teplota a zduřelé lymfatické uzliny. Subakutní a akutní schistosomóza se objevuje mezi 2. a 16. týdnem po infekci a projevuje se horečkou, průjmy, eozinofilií a zduřením jater, sleziny a lymfatických uzlin. Eozinofilie je zvýšený počet eozinofilů v periferní krvi, kde eozinofilní granulocyty patří mezi leukocyty a jsou terminálními produkty kmenových krvetvorných buněk myeloidní řady. Chronická schistosomóza se projevuje mezi 3. a 6. měsícem, ale také až několik let po infekci. Onemocnění závisí na druhu parazita, který pacienta infikoval, protože dochází k akumulaci vajíček ve tkáních, střevech, játrech, slezině, ledvinách, plicích, srdci, CNS, močovém měchýři, močové trubici a pohlavních orgánech. Zánětlivé reakce v přítomnosti vajíček se mohou projevovat průjmy, hepatosplenomegalii (zvětšení jater a sleziny), hematurií (přítomnost erytrocytů v moči), portální hypertenzí (přetlak ve vratnicové žíle). Vajíčka krevničky jaterní mohou atypicky migrovat do mozku a míchy a způsobovat neurologické potíže. [40] [41]

Ošetření kontaminované vody plazmatem se jeví jako potenciální environmentálně nezávadné řešení. S rostoucím časem ošetření, po němž jsou mikroorganismy vystaveni působení většího počtu reaktivních chemických částic, elektromagnetické radiaci a dalším efektům plazmatu, klesá jejich míra přežití mikroorganismů. V případě, kdy je pracovním plynem je helium, si cercárie uchovávají až 80 % míru přežití. K jejímu výraznému poklesu dochází při použití kyslíku nebo vzduchu, a to na 12 % (kyslík) a 20 % (vzduch). [40]

Při užití helia množství dodané energie výrazněji neovlivňuje schopnost plazmatu zabít cercárie. A naopak množství dodané energie znatelně ovlivňuje účinnost plazmatu, které bylo vytvořeno při užití kyslíku nebo vzduchu. [40]

Biologická a chemická aktivita plazmatu přímo souvisí s počtem reaktivních chemických částic produkovaných plazmatem a také s fyzikálními vlastnostmi, jako je

vznik fotonů, elektrického pole, rázových vln aj. Z velkého počtu reaktivních částic lze jmenovat vysokoenergetické elektrony, excitované atomy dusíku, hydroxylové radikály, molekuly N_2 , atomy kyslíku a kyslíkové ionty. V dostatečné koncentraci mohou tyto částice napadnout nenasycené mastné kyseliny, které tvoří buněčnou membránu, do takového rozsahu, že buňky již neudrží svou integritu a funkčnost, což může vést k jejich smrti. Dále se také kyslíkové a hydroxylové radikály se mohou pomocí difuze dostat přes buněčné membrány a reagovat s vnitrobuněčnými komponentami, ovlivňovat buněčný metabolismus a potenciálně poškodit DNA skrze oxidaci. [40]

Živý organismus si velice obtížně vytvoří rezistenci proti těmto interakcím, a právě proto je ošetření plazmatem vhodným kandidátem pro boj s mikroorganismy. [40]

2.5.6 Odstranění *Escherichia coli*

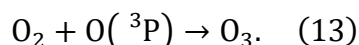
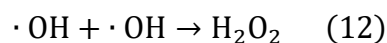
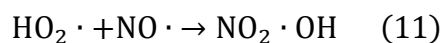
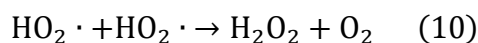
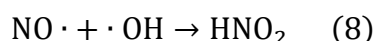
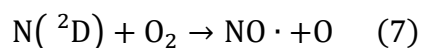
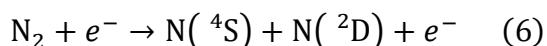
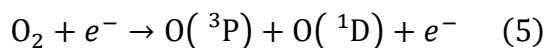
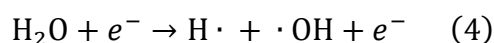
Účinnost Gliding arc při ničení mikroorganismů je skutečně úctyhodná. Totální destrukce kultur *Erwinia* (bakterie napadající rostliny, například *Erwinia amylovora* je původce bakteriální spály jabloňovitých) nastává po pouhých 6 minutách ošetření. Dekontaminace *Staphylococcus epidermidis* a *Hafnia alvei* je také účinná. Fakt, že v plynné fázi výboje vznikají O_3 , $O\cdot$ a UV záření, zatímco $OH\cdot$ a H_2O_2 vznikají v ošetřované kapalině, dělá z Gliding arc atraktivní technologii pro rozmanité aplikace. [42]

Gliding arc se jeví jako účinnější metoda při inaktivaci *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* (způsobuje černání stonků u brambor) než ty doposud užívané metody. U Golden Delicious jablek naočkovaných kmeny *Escherichia coli* a *Salmonella stanley* se podařilo ošetřením plazmatem výrazně snížit počet těchto patogenů. Tím se otevírá brána pro využití ošetřování plazmatem čerstvého ovoce. Samotná ošetřená voda se ukázala jako možné řešení při dekontaminaci vybavení a povrchů od *Staphylococcus epidermidis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Hafnia alvei* a *Saccharomyces cerevisiae* (kvasinka pивní). [42]

Studie zabývající se odstraněním *Escherichia coli* z kontaminované vody se snaží přijít s více šetrnou metodou, jelikož stávající metody, jako jsou ozařování UV světlem a chlorace, obnáší nevýhody v podobě nebezpečných reziduí. Gliding arc při napětí 10 kV a při dodání vzduchu jako pracovního plynu proudícího rychlostí

0,8 m₃h⁻¹ zničí veškeré ve vodě přítomné *Escherichia Coli* již po pouhých 2,5 minutách ošetření. [42]

Tento výrazný sterilizační účinek plazmatu je způsoben několika atributy. Elektrické pole o intenzitě 10 kVcm⁻¹ je schopno efektivně zničit jakékoliv mikroby roztrháním jejich buněčných membrán. Fyzikální vlivy výboje jsou doprovázeny vlivy chemickými v podobě vzniku krátkodobých částic ($\cdot\text{OH}$, $\text{NO}\cdot$, $\text{O}\cdot$, $\text{O}_2\cdot^-$, $\text{HO}_2\cdot$ a $\text{H}\cdot$) a dlouhodobých molekul (H_2O_2 a O_3). Následující rovnice popisují vznik těchto chemických činitelů:



$\text{NO}\cdot$ způsobuje kyselost a $\cdot\text{OH}$ je oxidační činidlo spojené s H_2O_2 a právě tyto dvě komponenty efektivně, spolu s ostatními výše jmenovanými, přispívají ke zničení bakterií. $\text{NO}\cdot$ vede skrze chemické reakce ke vzniku HNO_2 a HNO_3 , jež jsou taktéž odpovědné na snížení pH. Je vhodné vyzvednout vysoce reaktivní radikály $\cdot\text{OH}$ reagující prakticky se všemi molekulami přítomnými v živých organismech, jimž způsobují výrazná poškození. [42]

3 Praktická část

3.1 Aparatura Gliding arc

Ošetření byla prováděna se stejným systémem pro generování výboje Gliding Arc jako při práci na mé bakalářské práci. Vzdálenost nerezových elektrod, mezi nimiž vznikal výboj, uložených v ocelovém boxu a izolovaných materiálem PTFE, byla 3 mm. Otevřená tryska je na obrázku č. 3 (autor Mgr. Zbyněk Havelka, Ph.D.). [43] [44]



Obrázek č. 3: Otevřená tryska, převzata a upraveno z [44]

K napájení sloužil zdroj vysokého napětí GVN1k-2011 firmy RADAN, s.r.o., který se nachází na obrázku č. 4, jehož výrobcem uváděné parametry jsou: napětí 230 V, frekvence 50 Hz, krytí IP 20.



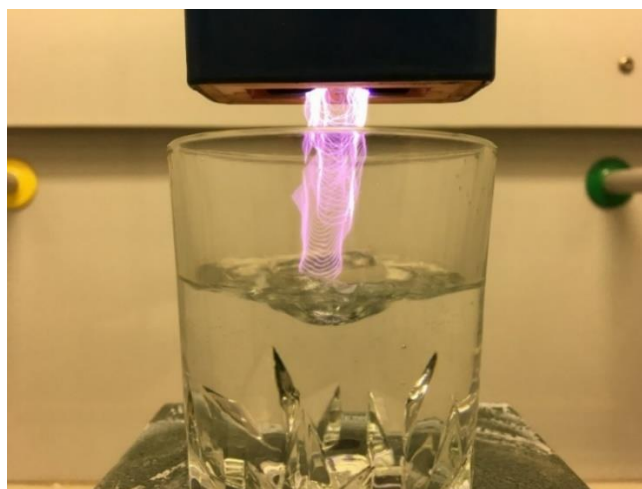
Obrázek č. 4: Zdroj vysokého napětí

Pracovní plyn byl dodáván pomocí vzdušného kompresoru Orlík PKS 9-2/100 (obrázek č. 5) a regulátor tlaku, viditelný na obrázku č. 4, zabudovaný do zdroje vysokého napětí, umožňoval držení jeho stálé hodnoty proudění.



Obrázek č. 5: Kompresor Orlík

Pro všechna ošetření byla použita destilovaná voda, přesněji Sheron Aqua destillata, jednoho typu pro technické účely do akumulátorů, chladičů, ostřikovačů atd. Láhve destilované vody byly skladovány skladovaly za pokojové teploty mimo dosah slunečního světla. Na obrázku č. 6 je zachycené již samotné ošetřování destilované vody plazmatem.



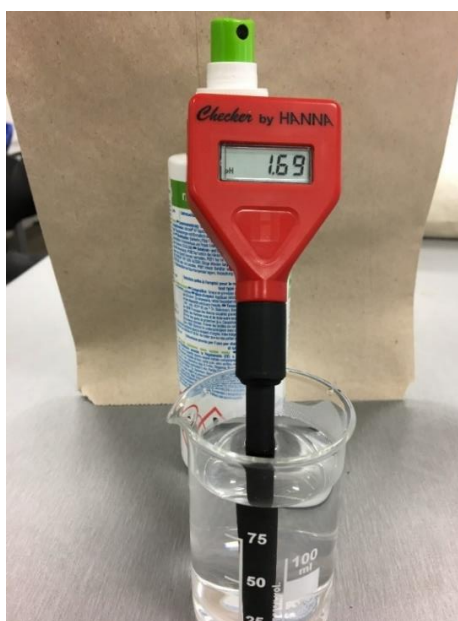
Obrázek č. 6: Zachycené ošetření

Zkoumanými parametry majícími vliv na změnu pH destilované vody byla vzdálenost hladiny vody od trysky a doba ošetření. Proudění pracovního plynu se ponechalo (shodné s bakalářskou prací) na 30 SFCH (standardní kubická stopa za hodinu) ($0,8035 \text{ Nm}^3/\text{h}$), a to z důvodu bezpečnosti a zabránění poškození aparatury. Při nižším proudění by se mohla aparatura přehřívat a znehodnocovat, naopak při vyšších rychlostech proudění a vzdálenostech hladiny vody od trysky 4 a 6 cm se voda dostávala do trysky a hrozilo by její zničení.

Po každém dokončeném ošetření se nejdříve vyčkalo na ustálení hodnoty pH 20 s a až poté následovalo její zaznamenání společně s příslušnou teplotou. Po uběhnutí 8 min se opět zapsala hodnota pH a teploty ošetřeného vzorku. Doba 8 min pro zapsání druhé hodnoty byla pro všechny typy měření shodná. Hodnota pH se ihned po měření rychle měnila, a právě proto byla druhá hodnota zapisována až po uplynutí této doby. Tento jev byl zaznamenán již při práci na bakalářské práci. S největší pravděpodobností to souvisí jednak s chemickými reakcemi, které musejí doběhnout, jednak s měnící se teplotou. Nejvhodnější by bylo počkat na pokles teploty na pokojovou teplotu, popřípadě na počáteční teplotu ještě neošetřené destilované vody, ale při dosažených teplotách nad 40 °C by doba nutná k poklesu teploty nabývala vysokých hodnot. [43]

Měřené časy ošetření byly 2, 4, 6, 8 a 10 min. Vzdálenosti pak 4, 6, 8 a 10 cm. Vzdálenost 2 cm nebyla měřena opět z důvodu bezpečnosti a zachování aparatury, jelikož při ní se ošetřovaná voda i za 30 SCFH do trysky dostávala. Celkem bylo provedeno 20 variant ošetření kombinujících výše zmíněných 5 různých časů a 4 různé vzdálenosti. Každá varianta ošetření se prováděla desetkrát a přinesla celkem 20 hodnot, jelikož hodnoty pH a teplot se zaznamenávaly dvakrát pro každý ošetřený vzorek (viz odstavec výše).

K měření pH sloužil pH metr značky HANNA, který je na obrázku č. 7, k měření teploty datalogger značky Lascar model EL-USB-TC-LCD. Jelikož má datalogger digitální display, odečítání teploty probíhalo snadno v reálném čase.



Obrázek č. 7: pH metr značky HANNA

3.2 pH

pH definujeme jako zápornou hodnotu dekadického logaritmu aktivity vodíkových iontů vyjádřené v molech na liter. Aktivita vodíkových iontů je poněkud menší než jejich koncentrace v důsledku interakcí iontů. Stupnice hodnot pH je definována řadou primárních standardních srovnávacích roztoků a číselně nabývá od 0 do 14, kdy je přiřazena alkalickému roztoku stupnice od 14 do větší než 7, neutrálnímu roztoku 7 a od menší než 7 do 0 kyselému roztoku. Hodnota pH má často klíčový význam pro další posuzování vlastností analyzované vody a stanovuje se indikátorovými papírky, barevnými indikátory a různými elektrometrickými metodami. V dnešní době nejčastěji potenciometricky. [45]

pH roztoku je výrazně ovlivněno teplotou, která mění napětí na elektrodě a ovlivňuje teplotní závislosti rovnovážných konstant látek obsažených ve vzorku. [45]

3.3 Vyhodnocování dat

Veškeré výpočty byly prováděny v aplikaci Microsoft Excel. Pro výpočet aritmetického průměru byl používán standardní vzorec:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (14)$$

kde \bar{x} je aritmetický průměr, n rozsah souboru hodnot a x_i jednotlivé naměřené hodnoty.

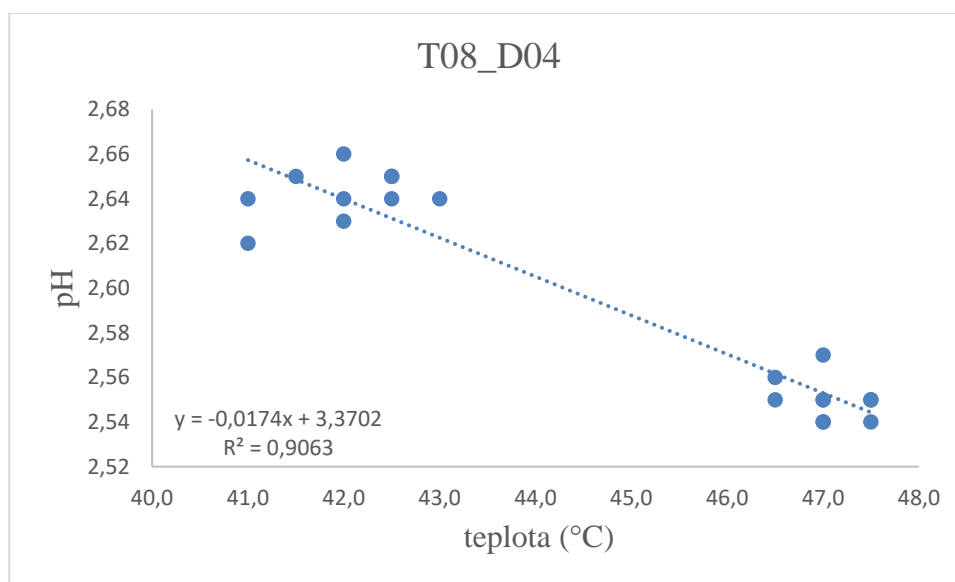
Pravděpodobné odchylky aritmetického průměru byly počítány pomocí vzorce:

$$\vartheta_p = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (15)$$

kde ϑ_p je pravděpodobná odchylka aritmetického průměru, n rozsah souboru hodnot, x_i jednotlivé naměřené hodnoty a \bar{x} aritmetický průměr.

Pro stanovení hodnot pH ošetřené vody při teplotách 20 °C se vždy používala rovnice získaná z grafů příslušných variant ošetření. Tento krok bylo nutné provést pro vytvoření finálních grafů porovnávajících získané hodnoty. Nelze porovnávat dvě hodnoty pH při různých teplotách, jelikož, jak je zmíněno výše v kapitole pH, jsou

výrazně ovlivněny teplotami. Teploty ošetřených vzorků jednotlivých variant ošetření nedosahovaly stejných hodnot. Je zřejmé, že se voda ohřeje podstatně více při ošetření trvajícím 10 min než při ošetření trvajícím 2 min. Porovnat změnu pH destilované vody před a po ošetření rovněž nelze přímo, protože teplota neošetřeného vzorku byla závislá na okolní teplotě a rozhodně nedosahovala stejných hodnot jako teplota vzorku po ošetření.



Graf č. 1: varianta ošetření T08_D04 pH ošetřené vody

Graf č.1 je vytvořen z hodnot nacházejících se v následující tabulce č. 1. Jedná se o variantu ošetření probíhající 8 min (T – time) při vzdálenosti 4 cm (D – distance). Do získané rovnice, v tomto případě $y = -0,0174x + 3,3702$, dosazením hodnoty 20 za x dostaneme y rovné 3,02. Toto nám tedy říká, že pH ošetřené vody po dobu 8 min při vzdálenosti 4 cm by se při 20 °C rovnalo 3,02. Hodnota spolehlivosti je nad 0,9, což je uspokojující, a právě proto se z dostupných formátů spojnice trendu zvolila lineární spojnice trendu. Takto vysoké hodnoty spolehlivosti se ovšem u všech měření dosáhnout nepodařilo, ale z důvodu porovnatelnosti hodnot mezi sebou se ve všech modelech aplikovala lineární spojnice trendu.

pH	při °C
2,56	46,5
2,57	47,0
2,55	47,0
2,55	46,5
2,54	47,0
2,54	47,5
2,55	47,0
2,55	47,5
2,54	47,0
2,55	47,5

pH	při °C
2,62	41,0
2,65	41,5
2,66	42,0
2,64	41,0
2,63	42,0
2,64	42,0
2,64	42,5
2,64	43,0
2,65	42,5
2,65	42,5

Tabulka č. 1: Vytvoření grafu pro získání rovnice

Levá část tabulky č. 1 obsahuje hodnoty pH a příslušných teplot měřených 20 s od ukončení ošetřování, doba ustálení prvotního poklesu, a druhá část obsahuje hodnoty pH a příslušných teplot měřených 8 min po ošetření, od kterých se pH již výrazněji neměnilo.

3.4 Výsledky měření

Pro lepší čtení jsou zde uvedeny pouze některé příklady měření, shrnující tabulky a finální grafy vlivu Gliding arc na pH, respektive koncentraci H_3O^+ , při konstantních dobách ošetření a měnicích se vzdálenostech a naopak při konstantních vzdálenostech a měnicích se dobách ošetření. Zbytek tabulek nutných pro sestavení modelů k přepočtu pH na 20 °C a samotné modely jsou uvedeny v příloze.

pH	při °C	pH	při °C
2,47	45,0	2,54	41,0
2,37	48,5	2,53	41,0
2,41	49,0	2,58	41,0
2,41	47,0	2,54	42,0
2,46	48,0	2,50	42,5
2,43	47,5	2,53	42,0
2,43	48,0	2,59	41,0
2,46	47,0	2,54	42,5
2,44	48,0	2,54	42,5
2,45	48,0	2,55	43,0

Tabulka č. 2: varianta ošetření T10_D04

Tabulka č. 2 ukazuje hodnoty naměřeného pH a příslušných teplot. Doba ošetření byla 10 min a vzdálenost hladiny vody od trysky 4 cm. pH destilované vody před ošetřením bylo 6,21 při 21 °C. Levá část tabulky, první a druhý sloupec, udává hodnoty pH naměřené 20 s po ošetření a odpovídající teploty jednotlivých hodnot pH. Pravá strana tabulky, třetí a čtvrtý sloupec, obsahuje hodnoty pH a odpovídajících teplot naměřených po 8 min od ukončení ošetření. První vzorek ošetřené vody měl tedy 20 s po jeho ukončení pH 2,47 a teplotu 45 °C. Tentýž vzorek měl po 8 min pH 2,54 a teplotu 41 °C.

pH	při °C	pH	při °C
3,43	27,5	3,45	26,0
3,38	28,5	3,41	27,5
3,37	29,0	3,38	28,0
3,35	29,5	3,37	28,5
3,36	29,5	3,37	28,5
3,36	29,5	3,38	28,5
3,34	29,5	3,36	28,5
3,33	30,0	3,35	28,5
3,33	30,0	3,34	29,0
3,32	30,0	3,34	28,5

Tabulka č. 3: varianta ošetření T02_D10

Tabulka č. 3 taktéž ukazuje hodnoty naměřeného pH a příslušných teplot. Doba ošetření byla 2 minuty a vzdálenost hladiny vody od trysky 10 cm. pH destilované vody před ošetřením bylo 6,21 při 21 °C.

Hned na první pohled je viditelný rozdíl ve výsledných hodnotách pH a teplot mezi tabulkami č. 2 a č. 3. Tabulka č. 2 ukazuje parametry vody, jež byla podrobena nejintenzivnějšímu ošetření, a to nejmenší vzdálenosti a nejdelsí době. Oproti tomu tabulka č. 3 ukazuje parametry vody, jež byla podrobena nejméně intenzivnímu ošetření: největší vzdálenost, nejkratší doba. Výsledky těchto dvou variant odpovídají očekávanému chování, kdy pH u nejintenzivnějšího ošetření klesne více a pH u nejméně intenzivního ošetření méně. Nicméně je nutné brát v potaz rozdíly teplot, jež mohou zkreslovat skutečnost.

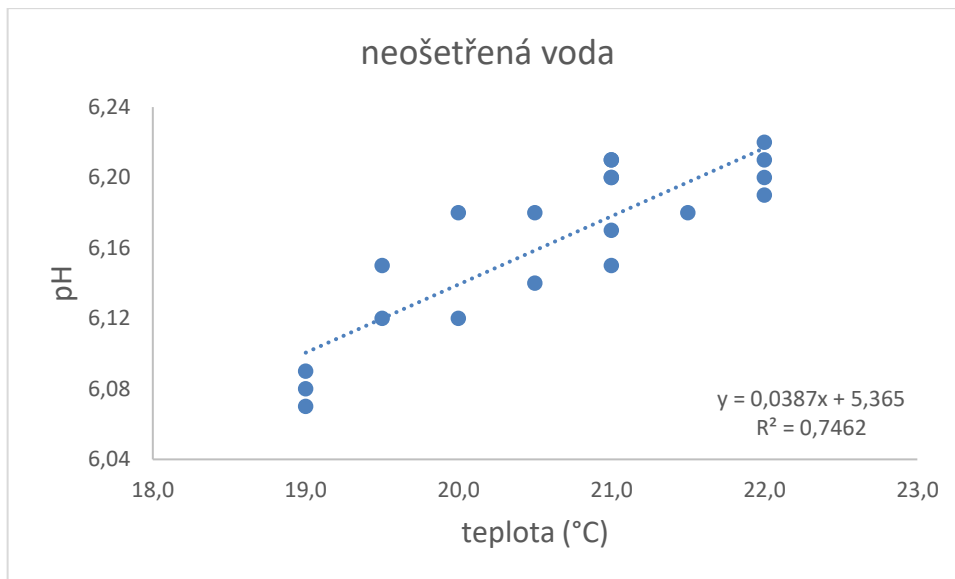
Tabulky č. 2 a č. 3 ukazují trend nárůstu teploty ošetřeného vzorku s rostoucím počtem ošetření. V tabulce č. 2 je zaznamenán vzestup ze 45 °C prvního vzorku na 48 °C vzorku posledního, stejně tak i v tabulce č. 3 z 27,5 °C prvního vzorku na 30 °C vzorku posledního. Důvodem trendu je postupné ohřívání skleněné nádoby, ve které se nachází ošetřovaný vzorek vody. Je tedy jasné, že čím více ošetření proběhne, tím bude mít skleněná nádoba vyšší teplotu. Dalo by se očekávat, že teplota konstantě poroste od nejnižší teploty po nejvyšší teplotu, jelikož pracovní postup byl identický ve všech po sobě jdoucích ošetření. Není tomu tak ale například v levé části tabulky č. 2, kde je teplota ošetřeného vzorku třetího měření 49 °C a následujícího čtvrtého měření pouze 47 °C. Teplotní výkyvy budou nejspíše vyvolané časovými prodlevami mezi jednotlivými měřeními, či občasným proplachováním skleněné nádoby použité

k ošetření destilovanou neošetřenou vodou, aby se vypláchly úlomky nerezových elektrod padajících do ošetřovaného vzorku vlivem svého opotřebení.

Výsledky naměřených pH nebylo možné ihned porovnat, jelikož každá hodnota odpovídala jiné příslušné teplotě, jež výrazně ovlivňuje hodnotu pH. Teplota 20 °C byla zvolena jako referenční, protože průměrná teplota všech dvaceti měření destilované neošetřené vody byla 20,6 °C. Z estetických důvodů se přiklonilo k hodnotě 20 °C. Následující tabulka č. 4 dokládá hodnoty pH destilované neošetřené vody měřené před každou variantou ošetření, příslušné teploty a jejich aritmetický průměr.

varianta	teplota (°C)	pH
1.	19,0	6,07
2.	19,5	6,12
3.	19,5	6,15
4.	20,0	6,18
5.	21,0	6,21
6.	20,5	6,18
7.	21,0	6,17
8.	21,0	6,20
9.	21,0	6,15
10.	19,0	6,09
11.	21,0	6,20
12.	20,5	6,14
13.	21,5	6,18
14.	22,0	6,21
15.	19,0	6,08
16.	21,0	6,21
17.	20,0	6,12
18.	22,0	6,19
19.	22,0	6,20
20.	22,0	6,22
průměr	20,6	

Tabulka č. 4: pH a teploty neošetřené destilované vody



Graf č. 2: model pro přepočítání pH neošetřené destilované vody na 20 °C

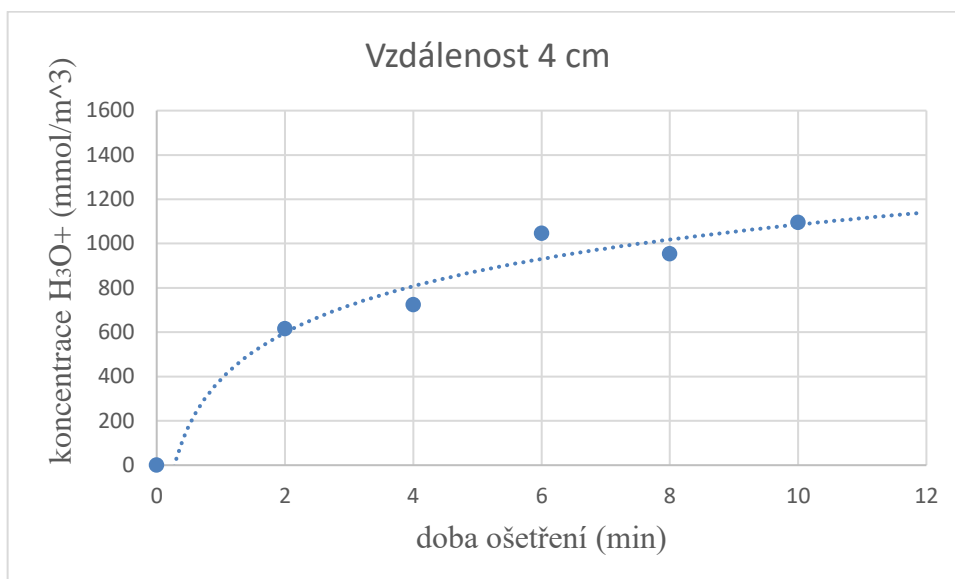
Pro stanovení pH neošetřené destilované vody při 20 °C byl použit tentýž postup jako v kapitole Vyhodnocování dat. Nejdříve se vytvořil model (graf č. 2) z hodnot v tabulce č. 4 a následně dosazením do rovnice $y = 0,0387x + 5,365$ za x hodnotu 20 se získalo pH neošetřené destilované vody při teplotě 20 °C, jež se rovná 6,14. Porovnáme-li tuto hodnotu s hodnotami v tabulce č. 5, pod tímto odstavcem, kde je pH ošetřených vzorků již přepočtené na 20 °C, na první pohled vidíme výrazný pokles pH po ošetření. K nejmenšímu poklesu došlo u 10. varianty ošetření na hodnotu 3,63 a při porovnání s hodnotou 6,14 rozdíl činí 2,51, kterého bylo dosaženo po pouhých 2 min při vzdálenosti hladiny vody od trysky rovné 10 cm. Porovnáme-li hodnotu pH neošetřené destilované vody s 1. variantou ošetření, největším poklesem pH, rozdíl již činí 3,18, dojde tedy po deseti minutách ošetření při vzdálenosti čtyři centimetry dojde k poklesu pH o 3,18, což je skutečně výrazná změna.

pH při teplotě 20 °C	
1. varianta	2,96
2. varianta	3,02
3. varianta	2,98
4. varianta	3,14
5. varianta	3,21
6. varianta	2,99
7. varianta	3,05
8. varianta	3,20
9. varianta	3,24
10. varianta	3,63
11. varianta	3,23
12. varianta	3,22
13. varianta	3,15
14. varianta	2,98
15. varianta	2,99
16. varianta	3,33
17. varianta	3,25
18. varianta	3,30
19. varianta	3,21
20. varianta	3,26

Tabulka č. 5: souhrn všech pH po ošetření přepočtených na 20 °C

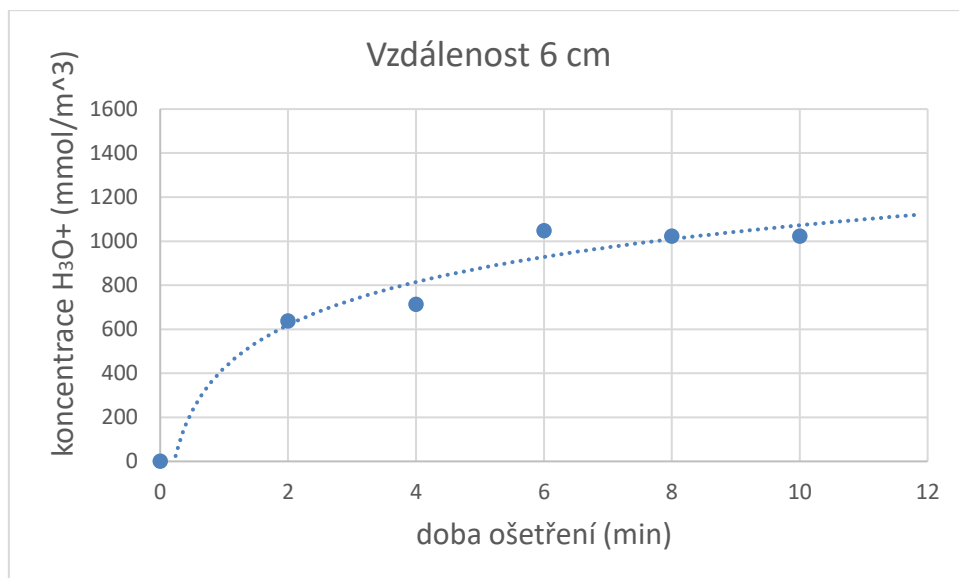
3.4.1 Konstantní vzdálenost, měnící se doba ošetření

Změny hodnoty pH po ošetření plazmovým zdrojem Gliding arc lze s největší pravděpodobností možné označit za nevyvratitelné. Sérií následujících grafů je porovnávána efektivnost snížení pH, přesněji koncentrace H_3O^+ iontů za pokles zodpovědných, při konstantní vzdálenosti a měnící se doby ošetření. Spojnice trendu je logaritmická, jelikož právě tento typ dosahoval nejlepších hodnot spolehlivosti v jednotlivých grafech.



Graf č. 3: Nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 4 cm

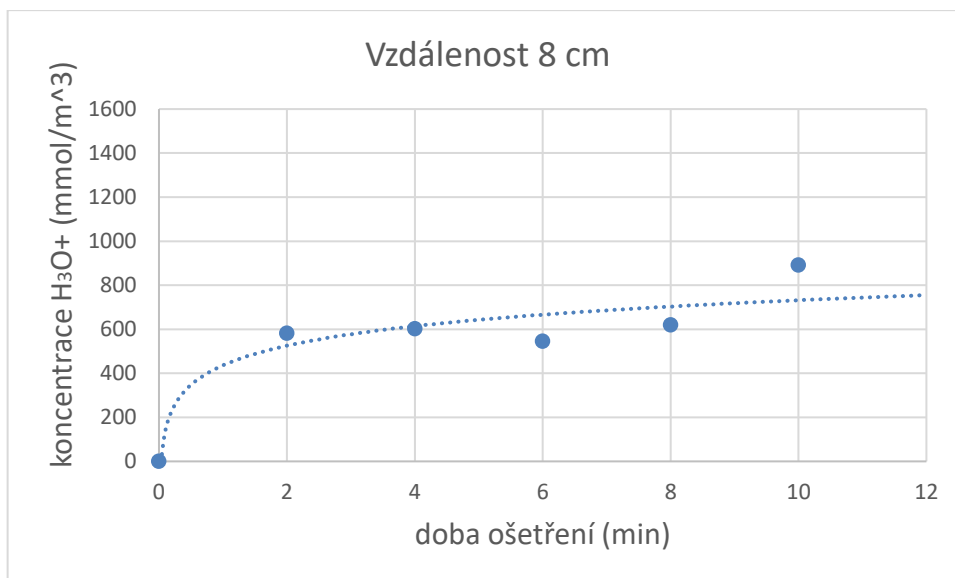
Z grafu č. 3 je zřejmý nárůst koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí dobou ošetření. Čím je koncentrace vyšší, tím je pH menší. Při pohledu na křivku je patrný prudký nárůst koncentrace H_3O^+ iontů v prvních 2 min, ale s rostoucí dobou ošetření se prudkost snižuje, a v delších časových úsecích by se dalo očekávat zastavení zvyšování koncentrace, a tím i poklesu pH. Koncentrace při délce ošetření 6 min se vymyká trendu a je vyšší než při délce ošetření 8 min. Důvodů může být několik, a to například jiný úhel, který svíraly elektrody a hladina destilované vody, jelikož před každým ošetřením bylo nutné nastavit aparaturu na požadované parametry, čímž mohlo dojít právě k této změně. Dalším důvodem může být vlhkost vzduchu či přítomnost jiných prvků ve vzduchu v místnosti z předchozích ošetření prováděných jinou osobou. Uvolněné částice, elektrony, se mohly během letu z plazmového vlákna srážet s jinými částicemi nebo naopak těchto srážek mohlo být méně.



Graf č. 4: nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 6 cm

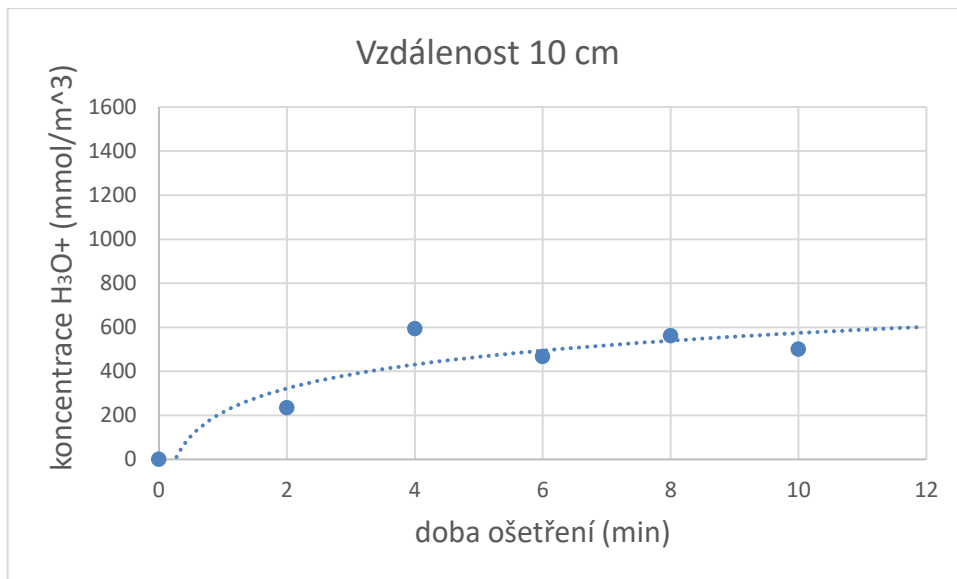
Z grafu č. 4 je opět zřejmý prudší nárůst koncentrace v prvních dvou minutách a její pozdější útlum, křivka vykazuje podobný charakter chování jako v grafu č. 3. Opět je zde problematická hodnota ošetření 6 min, která znovu narušuje očekávaný trend. Naskytá se otázka, zdali není doba 6 min něčím specifická, jelikož se vymyká trendu jak při vzdálenosti 4 cm, tak i vzdálenosti 6 cm. Velice podobné nastavení aparatury Gliding arc měli při svém výzkumu vlivu plazmatu na vodu Mehrnaz Gharagozalian, Davoud Dorranean a Mahmood Ghoranneviss (2017). Zajímavé výsledky přineslo jejich měření koncentrace dusičnanů (NO_3). Během prvních 6 min docházelo k nárůstu koncentrace. Největší přírůstky se objevovaly během prvních 4 min. Od 4 do 6 min koncentrace opět rostla, avšak již mírnějším tempem. Šestá minuta byla zlomová a postupně se koncentrace dusičnanů snižovala až do konečných měření 16 min ošetření. Po ukončení ošetření byla koncentrace dusičnanů stále měřitelná, ale větší počet iontů reagoval s přítomnými vodíkovými radikály za vzniku kyseliny dusičné. Tento jev pravděpodobně způsobuje problematické chování hodnot měřených při 6 min.

[32]



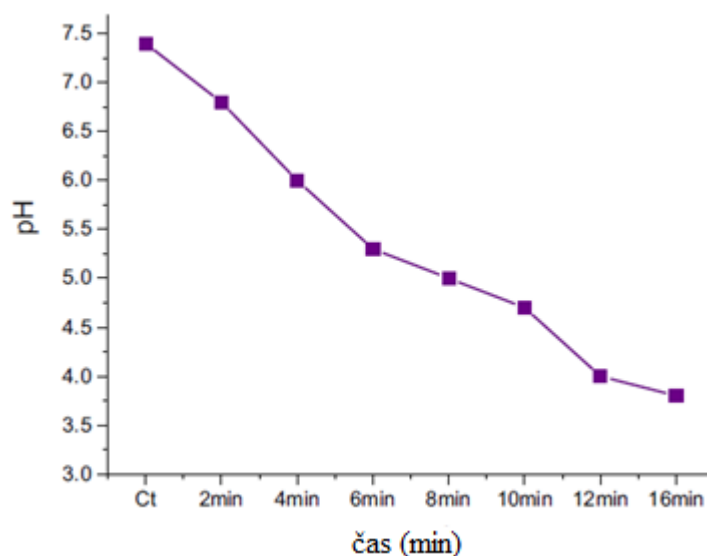
Graf č. 5: nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 8 cm

Graf č. 5 potvrzuje trend zjištěný v předchozích grafech č. 3 a č. 4. Křivka vykazuje prudký nárůst v prvních 2 min a pozdější útlum. Zde je naopak koncentrace iontů H_3O^+ při ošetření trvajícím 6 min nižší oproti předcházející hodnotě. Anomálie způsobuje dřívější sklon křivky a vyvolává dojem rychlejšího snížení nárůstu koncentrace H_3O^+ iontů. Porovnáme-li koncentrace z grafů č. 3, 4 a 5, zjistíme, že s rostoucí vzdáleností klesají i v rámci totožných časů. V grafu č. 3 se pohybujeme v rozmezí 600–1100 mmol/m³, zatímco v grafu č. 5 500–900 mmol/m³.

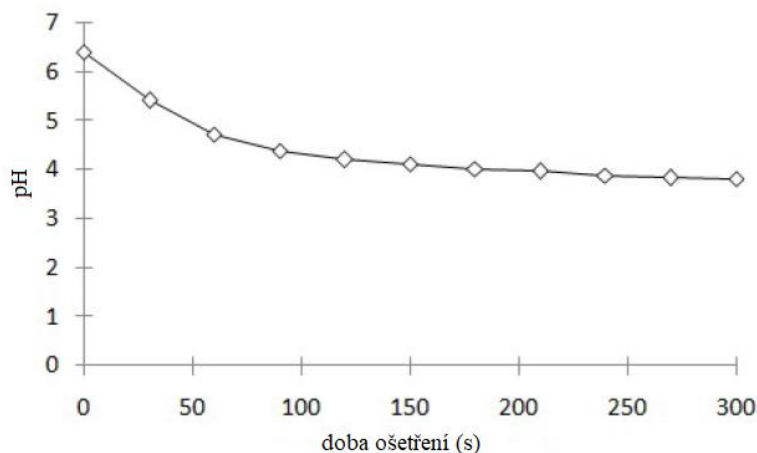


Graf č. 6: nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 10 cm

Poslední graf č. 6 ze série grafů při konstantní vzdálenosti potvrzuje předchozí tvrzení. I zde je nárůst koncentrace iontů H_3O^+ nejprudší během prvních minut ošetření a později se utlumuje. Dalo by se tedy očekávat její postupné utlumování až do doby, kdy by se již výrazněji neměnila. Porovnáme-li koncentrace H_3O^+ s předchozími grafy, získáváme zatím nejnižší hodnoty v rozmezí 200–600 mmol/m^3 . Ošetření probíhající 4 min se zde jeví jako nejúčinnější, což odporuje očekávanému výsledku. Koncentrace při době ošetření 6 min se chová zcela jinak v porovnání s grafy č. 3, 4 a 5, a to v souladu s očekáváním. Celkově se hodnoty nechovají standardně a jsou méně uspořádané. Příčinou bude pravděpodobně příliš velká vzdálenost, kdy může růst počet srážek částic uvolněných z plazmového vlákna s částicemi obsaženými ve vzduchu. Také bude hrát větší roli úhel mezi elektrodami a hladinou vody při vzdálenosti 10 cm než u ošetření při vzdálenosti 4 cm.



Graf č. 7: Pokles pH s rostoucím časem ošetření, převzato a upraveno z [32]

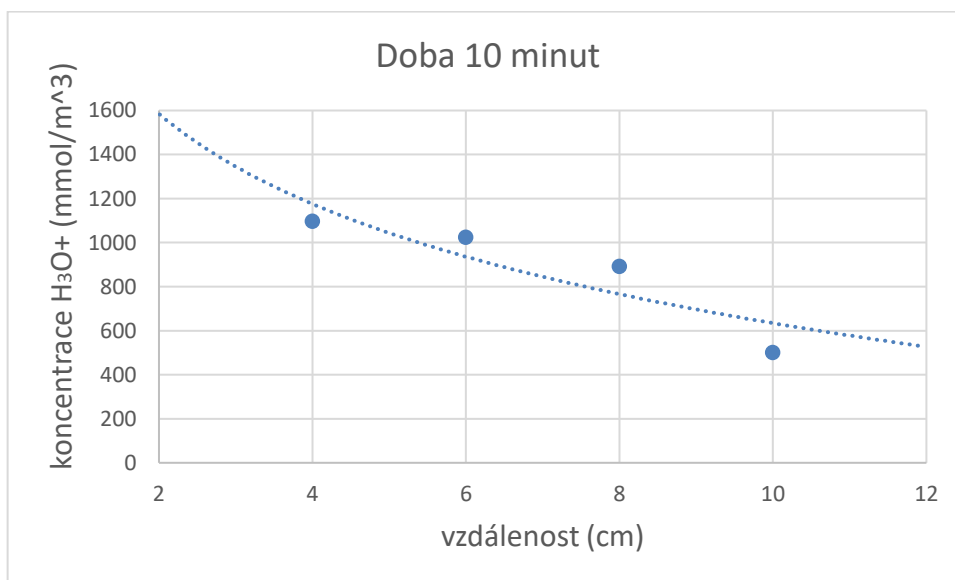


Graf č. 8: Pokles pH s rostoucím časem ošetření, převzato a upraveno z [46]

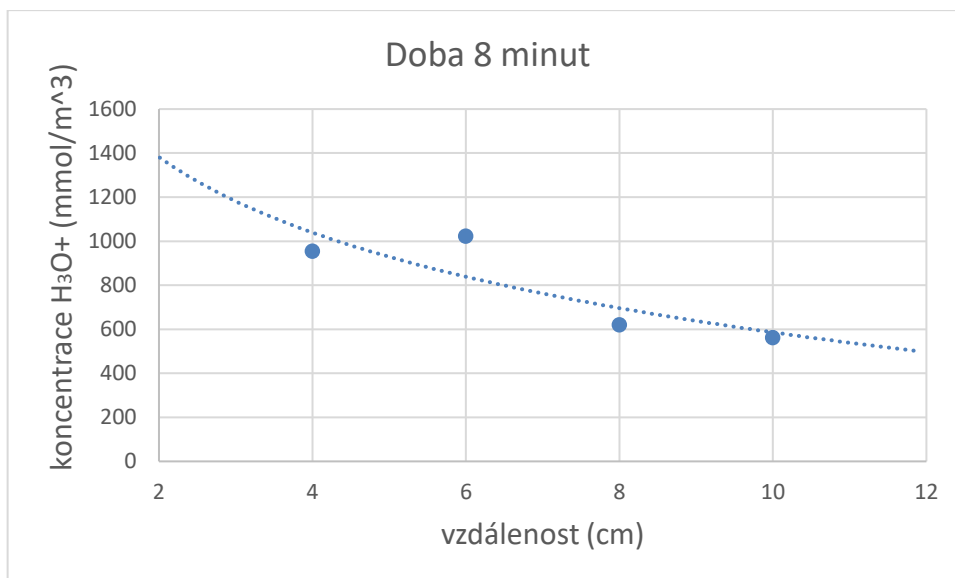
Grafy č. 7 a 8 potvrzují zmíněné tvrzení o postupném útlumu poklesu pH, tedy útlumu nárůstu koncentrace H_3O^+ , které vycházelo z pozorování chování křivek předchozích grafů. Graf č. 7 je ze studie výše zmíněné pod grafem č. 4 s velice podobným nastavením aparatury Gliding arc. Graf č. 8 pochází ze studie, která se nastavením své aparatury blíží nejvíce té v této práci, a dokonce se na ní podílel vedoucí této diplomové práce (Pavel Kříž, Cornel Häisan a Petr Špatenka). Právě podobnost prováděných ošetření umožňuje porovnání výsledků. Graf č. 7 lépe odpovídá zjištěným výsledkům, zatímco v grafu č. 8 se pH po 150 s již výrazněji nemění. V grafu č. 7 je možné si povšimnout změny chování poklesu mezi 6 a 10 min ošetření, kdy je pokles křivky méně strmý a naopak mezi 10 a 12 min, kdy se chová stejně jako v počátečních minutách. Tomuto jevu by bylo vhodné v budoucnu věnovat pozornost. [32][46]

3.4.2 Konstantní doba ošetření, měnící se vzdálenost

Nyní lze porovnat pokles koncentrace H_3O^+ za konstantního času, ale měnící se vzdálenosti. Ve všech grafech této kapitoly je spojnice trendu znovu logaritmická, neboť dosahuje nejvyšších hodnot spolehlivosti. Graf č. 9 obsahuje varianty ošetření prováděné po dobu 10 min a poukazuje na pokles koncentrace H_3O^+ s rostoucí vzdáleností hladiny vody od elektrod, čímž vystihuje očekávaný vývoj. Při nejmenší vzdálenosti je koncentrace H_3O^+ iontů největší a následně klesá s vítaným charakterem, kdy je koncentrace každé hodnoty nižší než ta předchozí. Při menší vzdálenosti je pravděpodobnost srážek částic uvolněných z plazmového vlákna s částicemi vzduchu menší a s rostoucí vzdáleností tato pravděpodobnost narůstá. Opět zde bude hrát roli úhel, jež svírají elektrody trysky a hladina vody. Koncentrace nabývají hodnot 1100–500 mmol/m^3 , pohybují se tedy v rozmezí 600 mmol/m^3 .

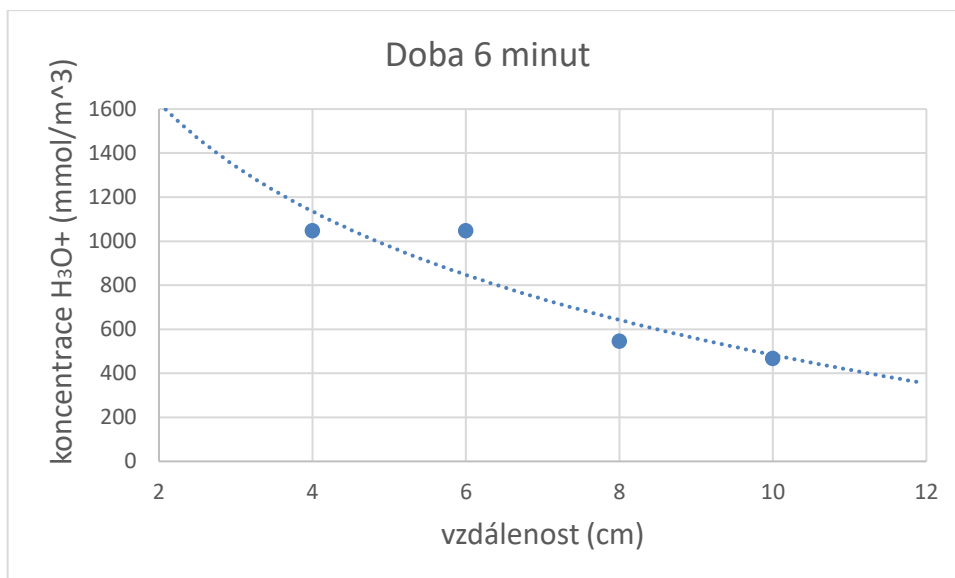


Graf č. 9: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 10 min



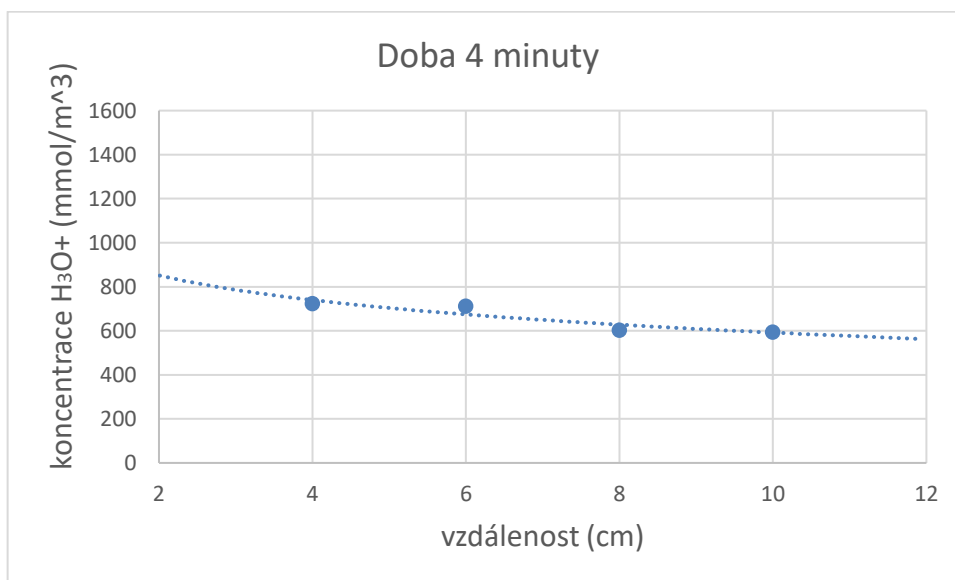
Graf č. 10: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 8 min

Graf č. 10 obsahuje varianty ošetření prováděné po dobu 8 min a je v souladu s předchozím grafem, až na anomálii při vzdálenosti 6 cm, kdy je koncentrace H_3O^+ iontů větší o $68 \text{ mmol}/\text{m}^3$ než koncentrace při vzdálenosti 4 cm, která by měla být naopak větší. Anomálii lze odůvodnit obdobně jako u grafu č. 3, tedy jiným úhlem, který svíraly elektrody a hladina destilované vody, různou vlhkostí a složením vzduchu. Koncentrace nabývají hodnot $1050\text{--}550 \text{ mmol}/\text{m}^3$, pohybují se tedy v rozmezí $500 \text{ mmol}/\text{m}^3$.



Graf č. 11: pokles koncentrace H₃O⁺ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 6 min

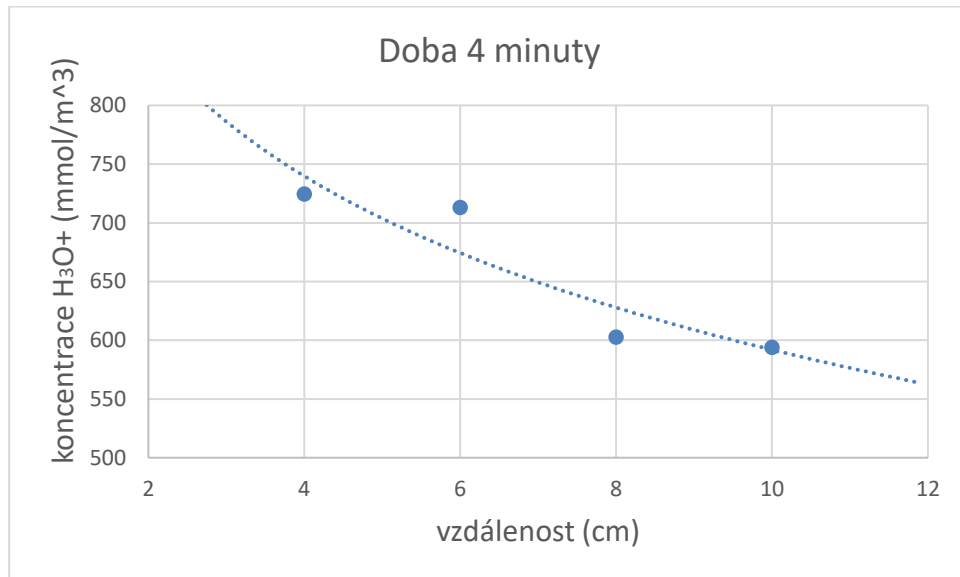
Graf č. 11 obsahuje varianty ošetření prováděné po dobu 6 min a splňuje očekávané chování, a to pokles koncentrace H₃O⁺ s rostoucí vzdáleností od elektrod. Koncentrace nabývají hodnot 1050–460 mmol/m³, pohybují se tedy v rozmezí 590 mmol/m³.



Graf č. 12: pokles koncentrace H₃O⁺ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 4 min

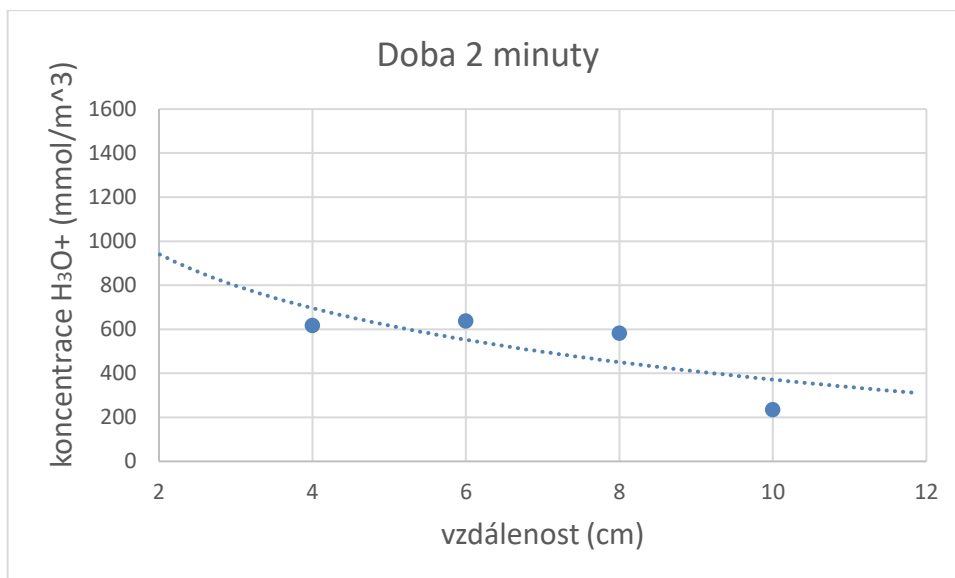
Graf č. 12 obsahuje varianty ošetření prováděné po dobu 4 min a potvrzuje předchozí tvrzení, že s rostoucí vzdáleností koncentrace iontů H₃O⁺ skutečně klesá. Zajímavý je celkem malý rozptyl hodnot, kdy se koncentrace pohybují mezi 750–600 mmol/m³, tedy pouze v rozmezí 150 mmol/m³. Malý rozptyl hodnot při

zachování stejného měřítka v grafu budí dojem změny chování v poklesu, protože v předchozích grafech č. 9, 10 a 11 byl sklon křivky podobný. Podobný sklon křivky je možné pozorovat i u grafu č. 12, pokud změním jeho měřítka.



Graf č. 13: změněné měřítka grafu č. 12

Graf č. 13 je graf č. 12 se změněným měřítkem. Zde se již objevuje očekávaný sklon křivky, nicméně pro porovnání grafů mezi sebou je vhodnější zachování stejného měřítka, a proto je graf č. 13 pouze pomocným ukazatelem sklonu křivky daného měření.



Graf č. 14: pokles koncentrace H₃O⁺ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 2 min

Graf č. 14 obsahuje varianty ošetření prováděné po dobu 2 min. Koncentrace nabývají hodnot 200–650 mmol/m³, pohybují se tedy v rozmezí 450 mmol/m³, což se liší oproti grafu č. 12, a rozmezím se blíží více grafům č. 9, 10 a 11. Při vzdálenosti 6 cm je koncentrace vyšší než při vzdálenosti 4 cm a vymyká se očekávanému trendu podobně jako koncentrace při vzdálenosti 6 cm v grafu č. 10. Taktéž při vzdálenosti 8 cm se hodnota koncentrace nechová podle očekávání a výrazněji se neliší od hodnoty při vzdálenosti 4 cm.

Na základě pozorování grafů č. 9, 10, 11, 12 a 14 si pravděpodobně můžeme dovolit vyslovit hypotézu, že při kratších vzdálenostech za konstantního času je koncentrace H₃O⁺ iontů vyšší, pH je tedy nižší, a při větších vzdálenostech za konstantního času je koncentrace H₃O⁺ iontů nižší, pH je tedy vyšší. Ačkoli to všechny grafy nepotvrzují, můžeme to obhájit pomocí tvrzení, že s rostoucí vzdáleností stoupá pravděpodobnost srážek částic uvolněných z plazmatického vlákna s částicemi vzduchu, při vyšších vzdálenostech se tedy více projeví výkyvy složení vzduchu než při vzdálenostech kratších, dále také úhel mezi elektrodami a hladinou ošetřované vody bude hrát významnější roli při větších vzdálenostech, a proto by bylo žádoucí nemanipulovat se samotnou tryskou, ale spíše s nádobou s ošetřovaným vzorkem. Nicméně i při manipulaci s nádobou by bylo stěžejní věnovat zvýšenou pozornost jejímu totožnému umístění při všech ošetřeních. Toho lze ale obtížně dosáhnout, pokud s tryskou manipuluje ještě někdo jiný, k čemuž ale docházelo.

	pH	ϑp	teplota °C	čas	vzdálenost
1. varianta	2,489	0,003	44,7	10 minut	4 cm
2. varianta	2,596	0,002	44,5	8 minut	4 cm
3. varianta	2,652	0,002	44,5	6 minut	4 cm
4. varianta	2,774	0,002	41,5	4 minuty	4 cm
5. varianta	3,108	0,001	35,7	2 minuty	4 cm
6. varianta	2,602	0,002	40,2	10 minut	6 cm
7. varianta	2,762	0,001	35,1	10 minut	8 cm
8. varianta	2,962	0,003	32,2	2 minuty	6 cm
9. varianta	3,047	0,002	29,5	2 minuty	8 cm
10. varianta	3,366	0,002	28,7	2 minuty	10 cm
11. varianta	2,898	0,005	34,5	4 minuty	10 cm
12. varianta	2,861	0,005	33,6	4 minuty	8 cm
13. varianta	2,707	0,002	37,0	4 minuty	6 cm
14. varianta	2,596	0,002	39,9	6 minut	6 cm
15. varianta	2,547	0,001	41,0	8 minut	6 cm
16. varianta	3,052	0,002	35,6	6 minut	10 cm
17. varianta	2,929	0,001	36,7	8 minut	10 cm
18. varianta	2,975	0,004	37,3	10 minut	10 cm
19. varianta	2,896	0,001	38,1	8 minut	8 cm
20. varianta	2,980	0,002	37,4	6 minut	8 cm

Tabulka č. 6: přepočtené pH na průměrné teploty

Tabulka č. 6 obsahuje hodnoty seřazené podle proběhnutého pořadí, průměrného pH přepočteného na odpovídající průměrné teploty ošetřených vzorků. Průměrná teplota vody první varianty ošetření je 44,7 °C a přepočtené pH na tuto teplotu je $2,489 \pm 0,003$. Průměrná teplota vody desáté varianty ošetření je 28,7 °C a přepočtené pH na tuto teplotu je $3,366 \pm 0,002$. Je zřejmé, že průměrná teplota první varianty ošetření je nejvyšší a naopak průměrné pH nejnižší, jelikož se jedná o nejdelší ošetření při nejmenší vzdálenosti, kdežto průměrná teplota desáté varianty ošetření je nejnižší a naopak průměrné pH je nejvyšší, jelikož se jedná o nejkratší ošetření při největší vzdálenosti.

	pH	teplota °C	pH při 20 °C	rozdíl
1. varianta	2,49	44,7	2,96	0,47
2. varianta	2,60	44,5	3,02	0,42
3. varianta	2,65	44,5	2,98	0,33
4. varianta	2,77	41,5	3,14	0,37
5. varianta	3,11	35,7	3,21	0,10
6. varianta	2,60	40,2	2,99	0,39
7. varianta	2,76	35,1	3,05	0,29
8. varianta	2,96	32,2	3,20	0,24
9. varianta	3,05	29,5	3,24	0,19
10. varianta	3,37	28,7	3,63	0,26
11. varianta	2,90	34,5	3,23	0,33
12. varianta	2,86	33,6	3,22	0,36
13. varianta	2,71	37,0	3,15	0,44
14. varianta	2,60	39,9	2,98	0,38
15. varianta	2,55	41,0	2,99	0,44
16. varianta	3,05	35,6	3,33	0,28
17. varianta	2,93	36,7	3,25	0,32
18. varianta	2,98	37,3	3,30	0,33
19. varianta	2,90	38,1	3,21	0,31
20. varianta	2,98	37,4	3,26	0,28

Tabulka č. 7: porovnání změny pH v závislosti na teplotě

V tabulce č. 7 je zaznamenán rozdíl mezi hodnotami pH přepočtených na průměrné teploty ošetřovaných vzorků s hodnotami pH přepočtených na referenční teplotu 20 °C. U první varianty ošetření se jedná o rozdíl 0,47 a u desáté varianty ošetření o rozdíl 0,26. Je tedy zřejmé, proč se muselo pH přepočítávat. Nejmenší rozdíl v pH při přepočtu byl zaznamenán u páté varianty ošetření, doba 2 min a vzdálenost 4 cm. Největší rozdíl pak u první varianty ošetření, doba 10 min a vzdálenost 4 cm.

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vlivu ošetření plazmovým zdrojem Gliding arc za různých parametrů na pH destilované vody. Mezi vybrané parametry patřily vzdálenost hladiny vody od trysky a doba ošetření. Zkoumané vzdálenosti byly 4, 6, 8 a 10 cm a doby ošetření 2, 4, 6, 8 a 10 min. Kritériem pro vybrání těchto parametrů byla bezpečnost a snaha nepoškození trysky.

Jako nejúčinnější se zdá být ošetření prováděné po dobu 10 min při vzdálenosti hladiny vody od trysky 4 cm. Nejméně účinné je ošetření prováděné po dobu 2 min při vzdálenosti hladiny vody od trysky 10 cm. Výsledky naznačují, že s rostoucím časem a klesající vzdáleností se vliv ošetření na pH zvětšuje. Tento rozdíl však není u všech měření tak výrazný, někdy se pohybuje například od 0,1 do 0,3, tedy v rámci chyby pH metru, či dokonce není žádný. Nicméně se zde vyskytla i taková měření, která toto tvrzení vyvrací. Rušivým vlivem by mohla být neschopnost měnit u aparatury pouze výšku nad hladinou a přesnost pH metru, protože obvykle se hodnota pH vzhledem k nejistotě měření zaokrouhluje na jedno desetinné místo. S největší pravděpodobností docházelo také ke změně úhlu mezi elektrodami a hladinou. Složení a vlhkost vzduchu v daný den ošetření se rovněž promítlo do konečného výsledku. Ukazuje se, že teplota skutečně výrazně ovlivňuje pH a při přepočtech činí rozdíl v hodnotách až 0,47. Hodnoty, které se zdály být na první pohled být odlišné, se při přepočtu na referenční teplotu 20 °C k sobě častokrát přiblížily. Nejlepším možným způsobem ověření správnosti výsledků by bylo ošetřené vzorky nechat zchladnout na počáteční teplotu a až poté změřit pH, avšak zde by se objevil problém. Vytvořené aktivní prvky v ošetřené vodě by mohly pravděpodobně po delší dobu reagovat s částicemi vzduchu a zkreslit výsledek. Například doba pro změnu teploty ošetřeného vzorku z 44,7 °C na 20 °C by byla již poměrně dlouhá. Pokud bychom poté chtěli porovnat tento výsledek s výsledkem ošetřeného vzorku, který dosáhl teploty 28,7 °C, jehož doba zchladnutí na 20 °C by se lišila, mohli bychom dostat zkreslené výsledky, jelikož každý vzorek by byl vystaven vzduchu po jinou dobu. Alespoň částečným řešením byla fixní doba zapisování hodnoty pH 20 s a 8 min po ukončení ošetření. Ideální by bylo umístit ošetřený vzorek mimo dosah vzduchu, aby s ním nemohl reagovat, avšak takové podmínky nebylo možné vytvořit.

V budoucnu by bylo vhodné se mimo měření pH věnovat také měření koncentrace jednotlivých produktů, které ve vodě vznikají během ošetření. Mohli bychom se například více věnovat z pohledu koncentrace dusičnanů zlomové šesté minutě a zjistit její vztah k výslednému pH. Při bakalářské práci bylo zjištěno, že si voda dokázala uchovat nízké pH po dobu delší než jeden rok, což dává další námět ke studiu. Chemické reakce vedoucí ke konečné podobě složení vody nekončí okamžitě po ukončení ošetřování, ale probíhají po určitou dobu. Námětem pro další výzkum by pak mohlo být provedení chemického rozboru vody bezprostředně po ukončení ošetřování a současně provádění rozborů s předem definovanými časovými úseky. Tímto postupem by bylo možné skutečně odhalit jednotlivé interakce.

Závěrem lze konstatovat, že výzkumné cíle byly částečně splněny. Měnící se parametry ošetření skutečně mají vliv na výslednou změnu pH. Z těchto parametrů pak můžeme vybrat ten nejefektivnější a nejméně efektivní. Vyslovit další závěr s jistotou nelze, ale pravděpodobně s rostoucím časem a klesající vzdáleností se vliv ošetření na pH zvětšuje a naopak s klesajícím časem a rostoucí vzdáleností se vliv ošetření na pH snižuje.

5 Seznam použité literatury

- [1] BOGAERTS, A., GIJBELS, R., MULLEN, J., NEYTS, E. Gas discharge plasmas and their applications. In: *Spectrochimica Acta Part B* [online]. 2002, **57**(4), str. 609-658 [cit. 2020-5-13]. ISSN: 0584-8547. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.531.3082&rep=rep1&type=pdf>
- [2] GÜNZEL, Martin. *Metody depozice tenkých vrstev pomocí nízkoteplotního plazmatu*. České Budějovice, 2013. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. Katedra aplikované fyziky a techniky.
- [3] *Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů* [online]. Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů: ©2018 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://www.rcptm.com/cs/business/services/thin-films-deposition/>
- [4] ČERNÝ, Martin, GROSMANNOVÁ, Hana, KRČMA, František, MIKOVÁ, Petra, ŘÁDKOVÁ, Lucie. *Metodika odstraňování vrstev korozních produktů z povrchu kovových předmětů pomocí nízkotlakého plazmatu*. Brno, 2015. Metodiky. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav fyzikální a spotřební chemie.
- [5] HUBÁČEK, Tomáš, ŠVORČÍK, Václav. Příprava a vlastnosti tenkých uhlíkových vrstev. *Chemické listy* [online]. 2016, **110**(6), str. 430-439 [cit. 2019-12-23]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2016_06_430-439.pdf
- [6] ASTANEI, D., CRETU, M., DUMITRACHE, L., HNATUIC, B., HNATIUC, M., SABĂU, A. Changing the surface properties on naval steel as result of non-thermal plasma treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2016, **145**(8). [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/145/8/082006>

- [7] C.-M. Chan, T.-M. Ko, H. Hiraoka, HIRAOKA, H., CHAN, C.-M., KO, T.-M. Polymer surface modification by plasmas and photons. *Surface Science Reports* [online]. 1996, **24**(1-2), s. 1-54 [cit. 2020-05-13]. ISSN 0167-5729. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0167572996800033>
- [8] DUCHÁČEK, V. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/012.html
- [9] MORENT, R. et al. Non-thermal plasma treatment of textiles. *Surface & Coatings Technology* [online]. 2008, **202**(14), s. 3427–3449 [cit. 2020-05-13]. ISSN 0257-8972. Dostupné z: <http://www.surfxtechnologies.com/fileaway-directory/full/009.%20Non-thermal%20plasma%20treatment%20of%20textiles.pdf>
- [10] HOLUB, Jiří. *Smáčivost povrchů vůči kapalinám a druhá viskozita kapalin*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav.
- [11] Grégr J.: Uhlíková vlákna, MONOKRYSTALY, Sborník Muzea Českého Ráje, Acta Musei Turnoviensis 2005, svazek 1, (vydalo MČR Turnov, edit. T. Řídkošil) str. 107-119, ISBN 80-239-6435-6.
- [12] BÁBÍK, Adam. *Polymerní kompozity s vyššími užitnými vlastnostmi*. Brno, 2013. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů.
- [13] BOUCHAL, Petr. *Technologie výroby a zpracování uhlíkových kompozit*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie.
- [14] KŘENEK, Lukáš. *Konstrukce přípravku pro zkoušku smykem dle DIN 53397*. Zlín, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická.
- [15] Uhlíkové vlákno. In: *Kordcarbon* [online]. [Cit. 2019-12-23]. Dostupné z: http://www.kordcarbon.cz/uhlikove_vlakno

- [16] Plazmové metody. Přednáška 9: Obloukový výboj. *České vysoké učení technické. Fakulta strojní. Ústav fyziky* [online]. Poslední změna 10.8.2011. [Cit. 2020-12-23]. Dostupné z: http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/pm/lectures/pm_prednaska9.pdf
- [17] KOVAŘÍK, Tomáš. *Technologie výroby kompozitových dílů s termoplastickou matricí*. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. Ústav strojírenské technologie.
- [18] ŽÁK, Petr. Vývojové tendence ve světelných zdrojích a svítidlech. In: *Elektrotechnika - TZB-info* [online]. 5.3.2012 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/8343-vyvojove-tendence-ve-svetelnych-zdrojich-a-svitidlech>
- [19] RS [online]. © RS Components SP. Z. o.o. [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/zarivkove-zarovky/8003735/>
- [20] PARMA, Mikuláš. Indukční výbojky, tzv. plazmové světelné zdroje. *Světlo* [online]. 2011, 5. [cit. 2019-12-23]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44766.pdf>
- [21] KOGELSCHATZ, Ulrich. Dielectric-Barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* [online]. 2002, 23(1), s. 1-46 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1022470901385>
- [22] NÝVLT, Václav. Legenda o nejlepší televizi končí. Porovnali jsme plazmu a OLED. In: *idnes.cz* [online]. 4.7.2018. [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/audio-foto-video/panasonic-plazma-plazmovy-televizor-oled-plazma-vs-oled.A180609_111207_tec_video_nyv
- [23] ZEMÁNEK, Pavel. Typy laserů. In: *Masarykova univerzita* [online]. 2015 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2015/F9190/um/4_TypyLaserub.pdf

[24] OZONTECH, s.r.o. - tradiční výrobce generátorů ozonu [online]. Ozontech s.r.o.: © 2020 [cit. 23.12.2019]. Dostupné z: <https://www.ozontech.cz/cs/prumysl/potravinarsky-prumysl>

[25] BOGAERTS, A., SNOECKX, R. Plasma Technology – a novel solution for CO₂ conversion? *Chem. Soc. Rev.* [online]. 2017, **46** [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/CS/C6CS00066E?fbclid=IwAR2BGnjrnkPagFVC2yQj0fULPZblbyhK4SK63TZHEcruUScLxyzaf0QEY8Q#!divAbstract>

[26] Česká geologická služba [online]. Praha. Dostupné z: <http://www.geology.cz/ccs/technologie-ccs/zachytavani>

[27] CIAHOTNÝ, Karel, ERLISA, Baraj, HLINČÍK, Tomáš, TEKÁČ, Viktor, Vagaský, Stanislav. Přeměna vodíku a oxidu uhličitého na methan. *Paliva* [online]. 2015, **7 (1)**, s. 7-12. [cit. 2019-12-23]. ISSN 1804 – 2058. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/cz/archiv-clanku/detail/26>

[28] JEŘÁBEK, Martin. *Elektrické charakteristiky klouzavého výboje*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací.

[29] GREGOR, Jan. *Studium procesů v klouzavém výboji*. Brno, 2018. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta. Ústav fyzikální elektroniky

[30] GROSSMANNOVÁ, Hana. *Diagnostika rozkladu těkavých organických látek v klouzavém obloukovém plazmatickém výboji*. Brno, 2008. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav fyzikální a spotřební chemie.

[31] ELSEBAEI, A., ESSAM, N., MOBASHER, M., SHAER EL, M., Gliding arc plasma for environmental friendly treatment of waste water. *ResearchGate* [online]. 2017.[cit.2020-05-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328319098_GLIDING_ARC_PLASMA_

[32] DORRANIAN, D., GHARAGOZALIAN, M., GHORANNEVISS, M. Water treatment by the AC gliding arc air plasma. In: *Journal of Theoretical and Applied Physics* [online]. 2017, **11**, s. 171-180. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40094-017-0254-z>

[33] BOSTANARU, Andra-Cristina, MARIANA, Grecu, NASTASA, Valentin, PASCA, Sorin Aurelian. Toxic amyloid formation in mice: A possible link between bisphenol A exposure and PAW administration using polycarbonate bottles. *Optim* [online]. 2017 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/318529142_Toxic_amyloid_formation_in_mice_A_possible_link_between_bisphenol_A_exposure_and_PAW_administration_using_polycarbonate_bottles

[34] POSPÍCHALOVÁ, Vendula. Speciální metody fyziologie živočichů - Laboratorní myš jako modelový organismus. In: *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. 23.5.2015. [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2015/Bi5611c/um/150415_VP_Specialni_metody_fyziologie_zivocichu_-_Laboratorni_mys.pdf

[35] *Anlab.cz* [online]. Praha. Dostupné z: <https://www.anlab.cz/>

[36] ŘEHOUT, Václav, Jindřich ČÍTEK a Lenka SÁKOVÁ. *Genetika I: (úvod do studia genetiky)*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7040-405-1.

[37] Příspěvatelé WikiSkript. *Amyloidóza* [online], ©2018. Poslední změna 5. 11. 2018 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Amyloid%C3%B3za#Diagnostika_syst.C3.A9mov.C3.A9_amyloid.C3.B3zy

[38] SMEJKAL, Petr. Nozokomiální infekce. In: *Klinika infekčních a tropických nemocí. I. lékařská fakulta, Univerzita Karlova a Nemocnice Na Bulovce* [online]. [cit.2020-05-13]. Dostupné z: https://www1.lf1.cuni.cz/~hrozs/nozkomPS1.htm?fbclid=IwAR3_kZXdw5o11OfRbwtCmju3NO2xHhsV1EYmZH93iQbo1OpsLj_JmONXLMg

[39] ČERNÝ, Vladimír, PROCHÁZKA, Bohumír, SCHREINEROVÁ GIROD, Miroslava, ŠEBESTOVÁ, Helena, ŠRÁMOVÁ, Helena. Prevalenční studie nozokomiálních infekcí v České republice v r. 2009 na odděleních ARO a JIP s invazivní umělou plicní ventilací. *Zprávy Centra epidemiologie a mikrobiologie* [online]. SZÚ, Praha, 2011; 20(8) [cit. 2019-12-23]. ISSN 1804 – 8676. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/CeM/Zpravy_EM/20_2011/08_srpen/280_290.pdf

[40] CHEN, W., WANG, F., WANG, X. et al. Non-equilibrium plasma prevention of *Schistosoma japonicum* transmission. *Scientific Reports* [online]. 2016, 6, article number: 35353. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/srep35353>

[41] SOUČEK, Miroslav a Petr SVAČINA. *Vnitřní lékařství v kostce*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2289-9.

[42] DU, Ming Ch., LI, Xia H., LIU, H., WANG, J., XIONG, Y., ZHANG, L. The application of a non-thermal plasma generated by gas–liquid gliding arc discharge in sterilization. *New Journal of Physics* [online]. 2012, 14 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/14/1/013010>

[43] KOBRLÉ, Lukáš. *Gliding Arc a jeho aplikace*. České Budějovice, 2017. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. Katedra aplikované fyziky a techniky.

[44] HAVELKA, Zbyněk. *Využití plazmových technologií ke zlepšení kvality krmiv*. České Budějovice, 2019. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta zemědělská.

[45] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-520-X.

[46] HĂISAN, Cornel, KŘÍŽ, Pavel, ŠPATENKA, Petr. Characterization of the Gliding Arc Device for Industry Applications. *2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, Brasov, 2012, s. 1337-1340, doi: 10.1109/OPTIM.2012.6231980.

Seznam obrázků:

Obrázek č. 1: Výboj Gliding arc

Obrázek č. 2: Přetržení plazmového vlákna

Obrázek č. 3: Otevřená tryska, převzato a upraveno z [44]

Obrázek č. 4: Zdroj vysokého napětí

Obrázek č. 5: Kompresor Orlík

Obrázek č. 6: Zachycené ošetření

Obrázek č. 7: pH metr značky HANNA

Seznam tabulek:

Tabulka č. 1: Vytvoření grafu pro získání rovnice

Tabulka č. 2: varianta ošetření T10_D04

Tabulka č. 3: varianta ošetření T02_D10

Tabulka č. 4: pH a teploty neošetřené destilované vody

Tabulka č. 5: souhrn všech pH po ošetření přepočtených na 20 °C

Tabulka č. 6: přepočtené pH na průměrné teploty

Tabulka č. 7: porovnání změny pH v závislosti na teplotě

Seznam grafů:

Graf č. 1: varianta ošetření T08_D04 pH ošetřené vody

Graf č. 2: model pro přepočet pH neošetřené destilované vody na 20 °C

Graf č. 3: Nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 4 cm

Graf č. 4: nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 6 cm

Graf č. 5: nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 8 cm

Graf č. 6: nárůst koncentrace H_3O^+ s rostoucí dobou ošetření při vzdálenosti 10 cm

Graf č. 7: Pokles pH s rostoucím časem ošetření, převzato a upraveno z [32]

Graf č. 8: Pokles pH s rostoucím časem ošetření, převzato a upraveno z [46]

Graf č. 9: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 10 min

Graf č. 10: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 8 min

Graf č. 11: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 6 min

Graf č. 12: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 4 min

Graf č. 13: změněné měřítko grafu č. 12

Graf č. 14: pokles koncentrace H_3O^+ iontů s rostoucí vzdáleností při čase 2 min

6 Přílohy

6.1 Naměřené hodnoty

1. varianta	10 minut	4 cm	pH vody 6,21 při 21 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,47	45,0		2,54	41,0
2,37	48,5		2,53	41,0
2,41	49,0		2,58	41,0
2,41	47,0		2,54	42,0
2,46	48,0		2,50	42,5
2,43	47,5		2,53	42,0
2,43	48,0		2,59	41,0
2,46	47,0		2,54	42,5
2,44	48,0		2,54	42,5
2,45	48,0		2,55	43,0

2. varianta	8 minut	4 cm	pH vody 6,18 při 20 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,56	46,5		2,62	41,0
2,57	47,0		2,65	41,5
2,55	47,0		2,66	42,0
2,55	46,5		2,64	41,0
2,54	47,0		2,63	42,0
2,54	47,5		2,64	42,0
2,55	47,0		2,64	42,5
2,55	47,5		2,64	43,0
2,54	47,0		2,65	42,5
2,55	47,5		2,65	42,5

3. varianta	6 minut	4 cm	pH vody 6,15 při 19,5 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,65	45,0		2,71	40,0
2,60	45,0		2,70	41,0
2,61	46,0		2,69	42,0
2,62	47,0		2,68	43,5
2,61	47,5		2,68	42,5
2,62	47,0		2,67	42,5
2,64	47,0		2,69	43,0
2,61	47,5		2,67	43,0
2,62	47,5		2,67	43,0
2,61	47,5		2,68	43,0

4. varianta	4 minuty	4 cm	pH vody 6,12 při 19,5 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,79	42,5		2,82	39,5
2,76	43,0		2,80	40,0
2,75	43,5		2,81	39,5
2,74	42,0		2,80	39,5
2,74	43,0		2,81	40,0
2,76	42,5		2,79	40,0
2,74	43,0		2,79	40,5
2,73	43,5		2,79	40,5
2,74	43,5		2,80	40,0
2,74	43,0		2,78	40,5

5. varianta	2 minuty	4 cm	pH vody 6,07 při 19 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
3,08	37,5		3,11	34,5
3,10	37,5		3,11	35,0
3,09	38,0		3,10	34,5
3,10	37,5		3,12	34,0
3,10	37,0		3,12	33,5
3,11	36,5		3,12	34,0
3,11	37,0		3,13	34,0
3,09	37,0		3,11	34,0
3,11	36,5		3,12	34,0
3,10	37,0		3,12	34,5

6. varianta	10 minut	6 cm	pH vody 6,09 při 19 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,59	39,5		2,66	36,0
2,57	41,0		2,64	38,0
2,57	41,5		2,63	38,5
2,57	42,0		2,63	39,0
2,58	42,0		2,64	39,0
2,56	42,5		2,64	39,0
2,56	42,0		2,63	39,0
2,55	42,5		2,63	39,5
2,56	42,0		2,63	39,0
2,56	42,0		2,64	39,0

7. varianta	10 minut	8 cm	pH vody 6,08 při 19 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,72	37,0		2,78	34,0
2,74	36,0		2,79	33,5
2,72	36,5		2,78	34,0
2,74	36,0		2,79	33,5
2,75	36,0		2,79	32,5
2,74	36,5		2,80	33,5
2,73	37,0		2,78	34,0
2,74	36,5		2,79	33,5
2,73	37,0		2,79	34,0
2,72	37,0		2,81	34,0

8. varianta	2 minuty	6 cm	pH vody 6,18 při 20,5 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,99	32,0		3,04	30,0
2,96	31,5		3,03	29,5
2,97	33,0		2,99	31,0
2,95	33,0		2,98	31,0
2,95	33,5		2,97	31,5
2,93	33,5		2,95	32,0
2,95	33,5		2,96	32,0
2,94	33,5		2,94	31,5
2,92	34,0		2,93	32,0
2,94	34,0		2,95	31,5

9. varianta	2 minuty	8 cm	pH vody 6,20 při 21 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
3,09	28,0		3,10	26,5
3,07	29,5		3,09	28,0
3,06	30,0		3,08	28,0
3,04	30,0		3,06	28,5
3,03	30,5		3,05	29,0
3,02	30,5		3,04	29,0
3,02	30,5		3,04	29,0
3,01	30,5		3,04	29,0
3,02	31,0		3,05	29,5
3,00	32,0		3,02	30,0

10. varianta	2 minuty	10 cm	pH vody 6,21 při 21°C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
3,43	27,5		3,45	26,0
3,38	28,5		3,41	27,5
3,37	29,0		3,38	28,0
3,35	29,5		3,37	28,5
3,36	29,5		3,37	28,5
3,36	29,5		3,38	28,5
3,34	29,5		3,36	28,5
3,33	30,0		3,35	28,5
3,33	30,0		3,34	29,0
3,32	30,0		3,34	28,5

11. varianta	4 minuty	10 cm	pH vody 6,12 při 20 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
3,00	32,0		3,05	30,0
2,92	35,0		2,96	32,5
2,89	35,0		2,93	33,0
2,86	36,0		2,90	34,0
2,84	37,0		2,88	35,0
2,88	37,5		2,92	35,5
2,87	37,0		2,91	34,0
2,84	36,0		2,88	33,5
2,83	35,5		2,88	33,0
2,84	36,0		2,87	33,0

12. varianta	4 minuty	8 cm	pH vody 6,14 při 20,5°C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,95	32,5		3,00	30,0
2,92	33,0		2,96	30,5
2,88	35,0		2,90	33,0
2,84	35,0		2,86	32,5
2,84	35,0		2,87	32,5
2,81	35,5		2,83	33,0
2,79	36,0		2,82	33,5
2,81	35,5		2,84	33,0
2,80	36,0		2,82	33,5
2,82	35,0		2,85	32,0

13. varianta	4 minuty	6 cm	pH vody 6,17 při 21°C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,80	33,0		2,87	31,5
2,71	36,0		2,76	34,0
2,68	38,0		2,74	36,0
2,66	39,0		2,72	37,0
2,68	38,5		2,72	37,0
2,65	39,0		2,71	37,0
2,63	39,5		2,71	37,0
2,66	39,0		2,70	37,0
2,67	38,5		2,73	36,5
2,65	39,0		2,69	37,5

14. varianta	6 minut	6 cm	pH vody 6,20 při 21 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,65	38,0		2,68	35,5
2,56	42,0		2,63	39,0
2,55	42,0		2,62	38,5
2,56	41,5		2,61	38,5
2,55	41,5		2,61	38,0
2,57	41,0		2,62	38,0
2,57	41,5		2,63	38,5
2,56	42,0		2,61	39,0
2,55	42,0		2,62	39,0
2,55	42,5		2,61	39,5

15. varianta	8 minut	6 cm	pH vody 6,15 při 21 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,53	42,0		2,59	39,0
2,50	43,0		2,57	39,5
2,50	43,5		2,58	39,5
2,52	42,0		2,60	38,5
2,52	42,0		2,59	40,0
2,52	42,5		2,58	39,5
2,51	42,5		2,57	39,0
2,52	42,5		2,58	40,0
2,51	42,5		2,58	39,5
2,50	43,0		2,57	40,0

16. varianta	6 minut	10 cm	pH vody 6,19 při 22°C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
3,10	33,0		3,14	30,5
3,05	36,0		3,09	34,0
3,02	37,0		3,06	35,5
3,04	36,5		3,08	34,5
3,01	37,0		3,05	35,0
3,01	37,5		3,05	35,0
3,02	38,0		3,07	35,5
3,01	38,0		3,06	34,5
3,00	37,5		3,07	34,0
3,02	38,0		3,08	34,0

17. varianta	8 minut	10 cm	pH vody 6,20 při 22°C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,92	37,0		2,97	34,0
2,90	37,5		2,95	34,5
2,89	38,5		2,96	35,0
2,88	39,0		2,94	36,0
2,89	38,5		2,94	35,5
2,91	38,0		2,98	34,5
2,90	38,0		2,96	35,0
2,90	38,5		2,96	35,0
2,88	39,0		2,97	36,0
2,89	39,0		2,98	35,5

18. varianta	10 minut	10 cm	pH vody 6,22 při 22 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
3,03	37,5		3,09	34,5
2,93	39,5		2,99	36,0
2,94	39,0		2,99	36,0
2,93	39,5		2,98	36,5
2,95	39,5		3,01	36,5
2,93	39,0		2,97	36,0
2,96	38,5		3,00	35,5
2,95	38,5		2,99	35,5
2,95	38,5		2,98	35,5
2,94	39,0		2,99	36,0

19. varianta	8 minut	8 cm	pH vody 6,21 při 22 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,90	37,5		2,94	35,5
2,89	38,5		2,94	36,0
2,88	39,0		2,93	36,5
2,86	39,5		2,90	37,0
2,87	39,5		2,93	37,0
2,85	40,0		2,90	37,0
2,87	40,0		2,92	37,5
2,87	40,5		2,92	37,5
2,86	40,0		2,91	37,0
2,87	40,0		2,91	37,0

20. varianta	6 minut	8 cm	pH vody 6,18 při 21,5 °C	
ustálení	při °C		po 8 min	při °C
2,99	36,5		3,03	34,5
2,95	38,0		2,99	36,0
2,94	38,5		2,99	36,0
2,96	38,0		3,00	35,5
2,94	39,0		2,99	36,5
2,95	39,0		3,00	36,5
2,95	39,5		3,00	37,0
2,98	38,5		3,02	36,0
2,95	39,5		3,00	36,5
2,96	39,5		3,01	36,5

6.2 Modely pro přepočítání pH na referenční teplotu

