

AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH
IM. EUGENIUSZA GEPPERTA WE WROCŁAWIU

WYDZIAŁ CERAMIKI I SZKŁA



AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH
IM. EUGENIUSZA GEPPERTA
WE WROCŁAWIU

Interaktywne światło – wykorzystanie wyładowań plazmowych w gazach szlachetnych jako medium sztuki użytkowej.

Praca doktorska w dziedzinie sztuki,
w dyscyplinie sztuki plastyczne i konserwacja dzieł sztuki,
zrealizowana w ramach II edycji programu „Doktorat Wdrożeniowy”.

Autorka mgr Kamila Mróz

Promotor prof. Kazimierz Pawlak

Wrocław 2022

Spis treści

Wstęp.....	3
ROZDZIAŁ I. Plasma Art.....	5
ROZDZIAŁ II. Neon IRSA – partner biznesowy.....	14
II. 1. Charakterystyka problemu badawczego.....	14
II. 2. Cel badań.....	19
II. 3. Rozwiązanie/wdrożenie.....	20
ROZDZIAŁ III. Rozdział techniczny.....	21
III. 1. Zasada działania lamp wyładowczych.....	21
III. 2. System próżniowo – pompowy – opis i zasada działania.....	28
III. 3. Procedura odpompowywanie i napełniania obiektów plazmowych i neonowych....	34
III. 4. Mieszanki gazów – uzyskane efekty.....	44
III. 5. Źródła zasilania.....	50
ROZDZIAŁ IV. Dotykanie światła.....	55
VI. 1. Haptyczne aspekty światła.....	55
IV. 2. Idea.....	60
IV. 3. W poszukiwaniu światła – droga artystyczno-zawodowa.....	67
Podsumowanie.....	79
Dokumentacja fotograficzna.....	81
Bibliografia.....	97

Wstęp

Połączenie fascynacji fenomenem barwnych wyładowań świetlnych w gazach szlachetnych, złożoności tego procesu, analizy zjawisk wchodzących w jego skład i niepoahamowanej chęci zdobywania wiedzy, a także nowych umiejętności w zakresie formowania szkła w płomieniu palnika stały się podstawą do rozpoczęcia badań w ramach studiów doktoranckich.

W pierwszym rozdziale opisuję zjawisko plazmy we wszechświecie, obszary jej występowania w środowisku naturalnym, urządzeniach wytworzonych przez człowieka oraz jej wykorzystanie w sztuce określanej mianem *Plasma Art'u*. Przybliżam subiektywnie wybrane sylwetki twórców reprezentujących tę dziedzinę, których osiągnięcia uważam za szczególnie interesujące.

Drugi rozdział poświęcony jest firmie Neon Irsa - partnerowi biznesowemu, we współpracy z którym zrealizowałam program doktoratu wdrożeniowego. Scharakteryzowałam problemy występujące w przedsiębiorstwie w zakresie merytorycznej wiedzy z zakresu technologii produkcji rur neonowych, jakości wytwarzanych produktów oraz technologicznych błędów. Określiłam cel badań, jakim było całkowite wyeliminowanie puli wad powstałych przez wieloletnie nieprawidłowości w procesie wytwórczym, których skutkiem była krótsza żywotność produktów oraz konieczność częstszych napraw. Ponadto istotnym elementem mojego działania było wykonanie projektów oraz prototypów użytkowych obiektów świetlnych, opracowanie procesu technologicznego wraz ze środkami technicznymi, służącymi do jego efektywnego prowadzenia tak, aby możliwe było połączenie obróbki klasycznych rur neonowych, napełnianie tradycyjnych systemów neonowych nowymi mieszankami gazowymi oraz uzyskiwanie efektów właściwych dla *Plasma Art'u*. Jako rozwiązanie zaproponowałam modyfikację dotychczas stosowanej procedury wytwórczej, zoptymalizowanej dla istniejącej stacji pompowo - bombardującej, oraz zaprototypowanie nowego stanowiska pompowego.

W następnej części przedstawiłam zasady działania lamp wyładowczych, szczegółowo opisałam prototyp systemu próżniowo – pompowego, wykonane urządzenia i części aparatury pomiarowej. Podkreślam wagę prawidłowo przeprowadzonego procesu bombardowania, jego wpływu na trwałość rur neonowych oraz omówiłam krok po kroku procedurę odpompowywania i napełniania rur neonowych i obiektów plazmowych metodą bombardowania i piecową. Zaprezentowałam także efekty świetlne uzyskane w trakcie badań z różnych mieszanek gazów oraz dostępne źródła zasilania dla obiektów plazmowych.

Czwarty rozdział w całości poświęcam opisowi części artystycznej pracy doktorskiej – idei dotykania światła. Na wstępie omawiam haptyczne aspekty światła na przykładzie twórczości Jamesa Turrella i architektów Jamesa Carpentera oraz Juhaniego Pallasmaa'y. Głównym punktem wyjścia jest dla mnie reaktywność świetlnych wyładowań plazmowych na dotyk. Stawiam szkło w roli skóry, nieprzekraczalnej bariery, na powierzchni której następuje styk dwóch światów i możliwe jest przekazywanie bodźców w obu kierunkach. Staram się przekonać widza/odbiorcę do wejścia w relacje z energią lamp plazmowych, do próby dotknięcia światła - zapomnieniu o istniejących granicach i doświadczeniu hipnotyzującej magii. W ostatniej części opowiadam o ścieżce zawodowo – artystycznej, zaczynając od pierwszych doświadczeń ze szkłem jako materiałem rzeźbiarskim, kończąc na rozpoczęciu studiów doktoranckich.

ROZDZIAŁ I. Plasma Art.

Plazma jest czwartym stanem skupienia materii. Poza ciałami stałymi, cieczeniami oraz gazami to plazma właśnie składa się na większość znanej materii we wszechświecie. Jest definiowana jako zbiór naładowanych cząstek zawierający mniej więcej równą liczbę pozytywnych jonów i elektronów, wykazujący pewne własności gazów, ale różniący się od nich dobrym przewodnictwem elektrycznym oraz podatnością na oddziaływania pól magnetycznych. Plazma generowana jest przez jonizację gazów na drodze ogrzewania ich do wysokich temperatur bądź przez przyłożenie wysokiego potencjału elektrycznego. Elektrony zewnętrznych powłok atomów gazu szlachetnego są odrywane od swych jąder atomowych i przemieszczają się swobodnie w chaosie innych wibrujących atomów. Te wolne elektrony umożliwiają plazmie przewodzenie prądu elektrycznego, z którego pobierają energię potrzebną im do oswobodzenia się z powłoki jądra by po krótkiej, swobodnej wędrówce oddać ją w postaci ciepła i światła powracając na swoje miejsce. To proces, w którym plazma zyskuje swój blask.

Przykładami dużych skupisk plazmy w naturze są wszystkie gwiazdy, włącznie z naszym słońcem i zorzą polarną¹. Towarzyszące nam w codziennym życiu źródła światła takie jak: neony, żarówki fluorescencyjne, świetlówki, żarówki rtęciowe, sodowe, siarkowe również wykorzystują plazmę. Charakter i kolor blasku, który emitują zależy od użytego gazu, przyłożonego napięcia oraz częstotliwości, a nawet rozmiaru i geometrii swej szklanej powłoki. Tę ostatnią musi z kolei cechować jednocześnie szczelność, przezierność, wysoka izolacyjność elektryczna, obojętność chemiczna oraz możliwość zastosowania jako medium rzeźbiarskiego. Jedynym materiałem spełniającym wszystkie te wymagania jest szkło.

I tutaj właśnie zaczyna się dla artysty – formierza szkła – pole do eksploracji i prowadzenia badań nad nadaniem pozornie zwykłym, choć bazującym na tak złożonych zjawiskach, źródłom światła formy oraz treści niosącej artystyczny przekaz. Wielobarwne widowisko, pozostająca w ciągłym ruchu plazma, nigdy niepowtarzające się wyładowania, wprowadzają wrażenie trzeciego bytu w dialogu widz – obiekt. Choć ich działanie oparte jest na prawach fizyki, to efekt zdaje się być wynikiem alchemicznego misterium. Wstęgi plazmy zagęszczają się w kierunku przyłożonej dłoni, ponieważ ma ona potencjał ziemi – 0 V i różnica energii w miejscu dotknięcia jest większa, niż między dowolnym innym punktem obiektu a zasilającą

¹ https://pwg.gsfc.nasa.gov/polar/EPO/auroral_poster/aurora_all.pdf (dostęp 27.12.2021)

go elektrodą. Odnosi się jednak wrażenie intencjonalnej odpowiedzi wypełniającego obiekt światła.

Powstałym w Stanach Zjednoczonych pojęciem *Plasma Art* lub *Art of Plasma*, określa się dziedzinę łączącą sztukę i tradycje rzemiosła szklarskiego z fizyką eksperymentalną. Jest to relatywnie młoda dziedzina, reprezentowana zwykle przez artystów/naukowców, którzy bądź to wzbogacają nauki ścisłe sztuką, bądź sztukę uzupełniają fizyką i chemią. Ze względu na duże skomplikowanie dyscyplina ta wymaga zarówno przygotowania artystycznego, jak i ścisłego oraz rozbudowanego warsztatu. Twórca posługuje się kolażem technik hutniczych, palnikowych, w tym wielu technik dmuchania szkła laboratoryjnego i obróbki erozyjnej. Musi być zarówno niezłym chemikiem, przywoitym fizykiem, elektrotechnikiem, a często też autorem własnych, niepowtarzalnych i skomplikowanych urządzeń i narzędzi. W pracowni, obok wszelkich środków kształtowania szkła, znajdziemy arsenał środków o niespotykanym składzie: specjalistyczne piece, pompy wysokiej próżni, rozdzielacze wielogazowe, transformatory wysokiego napięcia, butle z gazami szlachetnymi o wysokiej czystości, kontrolery przepływu masowego, kącik elektroniczny czy zapas luminoforów.

Z nielicznego grona osób reprezentujących *Plasma Art* w skali światowej wymienić należy: Erika Franklina, Eda Kirshnera, Bernda Weinmayera – ludzi bezgranicznie oddanych swej pasji, którzy na drodze wieloletnich doświadczeń osiągnęli wyjątkowe, rozpoznawalne na arenie międzynarodowej rezultaty swej twórczości.

Mundy Hepburn (urodzony w 1955 w Westbrook, Connecticut, Stany Zjednoczone) – artysta, alchemik, typ „szalonego naukowca”, zajmujący się sztuką światła od 1976 roku, człowiek o niezwyklej energii, który konstruuje w warsztacie mieszczącym się w piwnicy własnego domu najróżniejsze urządzenia i narzędzia pozwalające mu osiągnąć mistrzowskie i jedyne w swoim rodzaju efekty. Jego podejście do iluminujących rzeźb szklanych wyróżnia się na tle innych twórców przede wszystkim skalą (największe prace sięgają 3 m wysokości) oraz użyciem tzw. miękkiego szkła² (większość artystów wykorzystuje szkło borokrzemowe). Eksperymentując przez lata, stworzył swój charakterystyczny styl miękkich, opływowych form wypełnionych wielobarwną, ciągle zmieniającą się energią świetlną, a możliwe to było dzięki opracowanym mieszankom gazowym, kompozycji szkła oraz własnym transformatorom zasilającym.

² Szklę miękką określa się szkła sodowe, sodowo-wapienne, ołowiowe, szkłem twardym szkło borokrzemowe. Twardość nie odnosi się do twardości powierzchniowej, a do lepkości w wysokiej temperaturze.



Ilustracja 1. Po lewej stronie: Mundy Hepburn, po prawej stronie jego rzeźba pt. „Hummingbird”, 2003 (źródło: prywatne archiwum artysty)

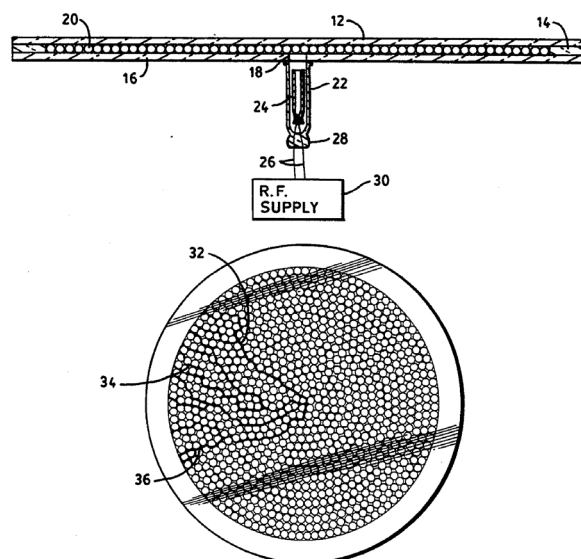
Wayne Strattman (urodzony w 1952 w Bostonie, Stany Zjednoczone) – inżynier, wynalazca, artysta, naukowiec, edukator - od blisko 40 lat, zajmuje się *zamienianiem energii elektrycznej w światło przy użyciu szkła jako medium, gazów szlachetnych i konstruowanych urządzeń elektronicznych*³. Na przestrzeni lat 1987-1998 opublikował 100 artykułów w najstarszym amerykańskim czasopiśmie poświęconym sztuce i reklamie neonowej *Sign of the Time*, jest autorem książki/podręcznika *Neon Techniques, 4th edition*, uzyskał 3 patenty (*Luminous display device*⁴, *Apparatus for providing a kinetic lightning effect*⁵, *Electrode assembly and discharge lamp comprising the same*⁶). *Lumiglas* (komercyjna nazwa produktu opartego o patent nr US5383295 z 1992 r.) to płaskie panele o dowolnym kształcie składające się z trzech zgrzanych ze sobą tafli szkła, gdzie środkowa część wypełniona jest szklanymi kulkami. Po dołączeniu elektrody, odpompowaniu i wypełnieniu odpowiednią mieszanką gazów szlachetnych i zasileniu w przestrzeni zawierającej szklane kulki powstają losowo generowane, responsywne na dotyk, kolorowe, piorunowe wyładowania plazmowe.

³ <https://www.waynestrattman.com/about> (dostęp 27.12.2021)

⁴ <https://patents.google.com/patent/US5383295A/en> (dostęp 27.12.2021)

⁵ <https://patents.google.com/patent/US6924598B2/en> (dostęp 27.12.2021)

⁶ <https://patents.google.com/patent/US6362568B1> (dostęp 27.12.2021)



Ilustracja 2. Budowa Lumiglas. (źródło: patents.google.com/patent/US5383295A/en)



Ilustracja 3. Panele Lumiglas. (źródło: www.coroflot.com/luminlgas)

Strattman Design, firma założona przez Wayne'a w 1983 roku, wyprodukowała i sprzedawała około 344000⁷ (dane z 2008 r.) paneli *Lumiglas*, które znalazły zastosowanie w sklepach, muzeach, klubach nocnych oraz na planach teatralnych i filmowych⁸. W 2008 roku Strattman otrzymał tytuł doktora za swój wkład w rozwój sztuki neonowej nadany mu przez Uniwersytet Sunderland w Wielkiej Brytanii. Jako edukator przez lata prowadził kursy z zakresu sztuki

⁷ W. Strattman, *Contributions to the Advancement of the Neon Arts*, rozprawa doktorska, University of Sunderland, 2008, s. 15, <https://sure.sunderland.ac.uk/id/eprint/3538/> (dostęp 27.12.2021)

⁸ Panele *Lumiglas* były wykorzystane jako element scenografii m.in. w filmie *Star Trek: Pierwszy kontakt* (*Star Trek: First Contact*, 1996, reż. J. Frakes)

neonowej⁹, a w ostatnim czasie z *Plasma Art'u* (w 2015 r. w *Pilchuck Glass School*¹⁰, w 2017 r. w *Corning Museum of Glass*¹¹, w 2019 r. podczas *International Festival of Glass*¹²).

Wystawa *The Art of Plasma*, w której wzięło udział 32 artystów i artystek miała miejsce w Museum of Neon Art w Glendale (California, USA) w 2017 roku, wyraźnie prezentowała, że hipnotyzujący efekt rzeźb plazmowych to doskonałe połączenie nauki, sztuki i rzemiosła. Na tej wystawie Strattman pokazał swoje najnowsze prace z serii *Emergent, Mesmer*. Prace te niezaprzeczalnie przywodzą na myśl neurony, rodzaj elektrycznie pobudliwych komórek zdolnych do przewodzenia i przetwarzania informacji, które u Strattmana podkreślone są za pomocą gazów szlachetnych, dając efekt ciągłego przesyłania sygnału elektrycznego. Budowę można tak samo, jak w neuronie podzielić na ciało komórki oraz odchodzące od niego wypustki, a dzięki szklanej przejrzystej materii jesteśmy w stanie obserwować zachodzące we wnętrzu procesy.



Ilustracja 4. Wayne Strattmana, po lewej: „Emergent #4 Energy”, 2016, po prawej: „Emergent #3 Response”, 2016 (źródło: katalog wystawy)

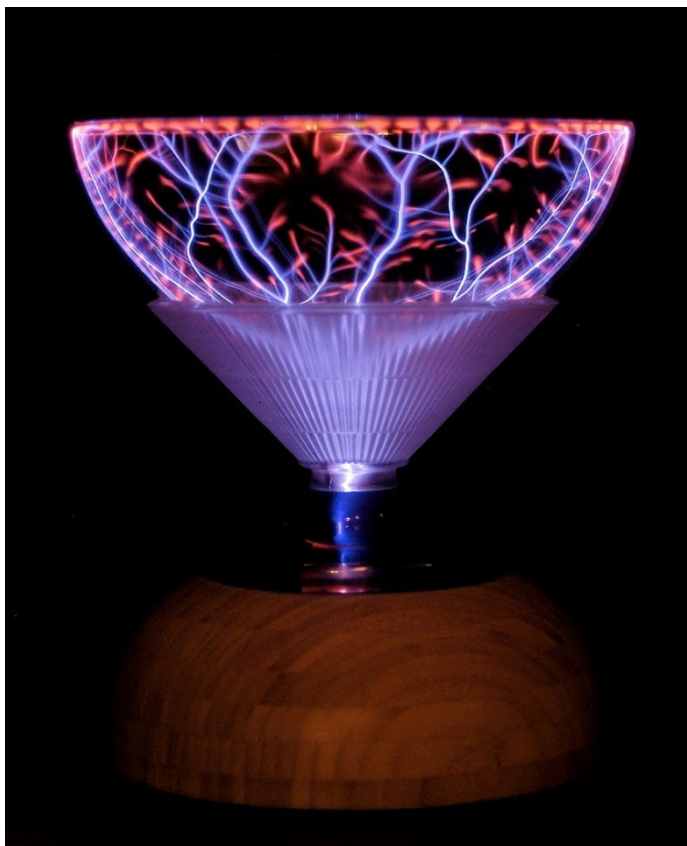
⁹ W latach 1983 – 1997 prowadził kursy dla dorosłych w Bostonie i Cambridge (łącznie poprowadził 100 kursów).

¹⁰ Pilchuck Glass School – międzynarodowe centrum edukacyjne z zakresu szkła artystycznego. <https://www.pilchuck.org/> (dostęp 27.12.2021)

¹¹ Nagranie pokazu: <https://youtu.be/hktpkqbiwIs> (dostęp 27.12.2021)

¹² *International Festival of Glass* odbywa się co dwa lata w Stourbridge w Wielkiej Brytanii, <https://www.ifg.org.uk/> (dostęp 27.12.2021)

Ed Kirshner¹³ (urodzony w 1940 r. w Nowym Jorku, Stany Zjednoczone) zainspirowany teorią samoorganizującego się chaosu¹⁴ i koncepcją emergencji¹⁵, a także naturalną manifestacją plazmy gazowej występującej podczas zorzy polarnej, w wieku 55 lat skierował swoją uwagę na sztukę i rzemiosło szkła. Nie był to oczywiście wybór przypadkowy, gdyż tylko w szklanych zasobnikach można przechowywać gazy i obserwować ich plazmową postać w ziemskich realiach. Ed postawił sobie za cel stworzenie własnych samoorganizujących się chaosów w czasie i przestrzeni oraz próbę przekroczenia granicy pomiędzy tym, co przypadkowe a kontrolowane, jak sam mówi: „Wielu artystów plazmowych i neonowych stawia na dramatyczne, bardzo dynamiczne efekty [...] ale to mnie nie interesuje. Zawsze dążę do czegoś co, zmysłowe... bardziej powolne i eteryczne niż elektryzujące”¹⁶.



Ilustracja 5. Ed Kirshner, „Fiery Bowl”, szkło wykonane przez Bernda Weinmayera, 2012 (źródło: prywatne archiwum artysty)

Przez lata eksperymentów metodą prób i błędów wypracował własny zestaw narzędzi, mieszanek gazów oraz urządzeń elektronicznych, nie osiągnął jednak zadowalających go umiejętności w zakresie formowania szkła, pomimo intensywnej edukacji w tym obszarze. Przyczyniło się to do opracowania niedrogiej w użyciu metody klejenia ze sobą szkieł płaskich, wykorzystywania gotowych przedmiotów szklanych jako elementów rzeźb plazmowych oraz do

¹³ Strona artysty: <https://www.aurorasculpture.com/> (dostęp 27.12.2021)

¹⁴ „Przez samoorganizację rozumie się proces spontanicznego formowania się przestrzennych, czasowych oraz czasoprzestrzennych struktur czy też funkcji układu zbudowanego z kilku lub wielu komponentów. Zjawisko to występuje w fizyce, chemii i biologii w układach otwartych w stanach odległych od stanu równowagi termicznej.” M. Szydłowski, M. Hereć, P. Tambor, *Samoorganizujący się Wszechświat w różnych skalach - miejsce, gdzie nauka spotyka się z filozofią*, s.1, https://www.kul.pl/files/57/transfer_idei/szydowski.pdf. (dostęp 27.12.2021)

¹⁵ „Podstawowym wynikiem samoorganizacji układu jest wyłonienie się w nim pewnych własności emergentnych, czyli najogólniej rzecz biorąc, takich własności, które nie przysługiwały poszczególnym elementom zbioru, a pojawiły się w układzie (emergowały) po złożeniu tych elementów w pewien zorganizowany układ.”, Ibidem, s. 3.

¹⁶ DK Sweet, *Between Randomness and Chaos with Ed Kirshner*, “World Art Glass Quarterly”, 2017, Volume 2, s. 94.

współpracy z mistrzami/formierzami szkła laboratoryjnego – jednym z nich był Bernd Weinmayer. Panowie pierwszy raz spotkali się podczas konferencji *Glass Art Society* w 2003 r. w Seattle (Waszyngton, Stany Zjednoczone), by pół roku później nawiązać współpracę, która przerodziła się w wieloletnią przyjaźń.

Bernd Weinmayer¹⁷ (urodzony w 1971 r. w Monachium, Niemcy) dmuchacz szkła laboratoryjnego, artysta, rzemieślnik, który osiągnął mistrzostwo w swojej dziedzinie. Mieszka w Mariastein (Tyrol, Austria) gdzie prowadzi własną pracownię, wytwarzając w płomieniu palnika niezwykle skomplikowaną szklaną aparaturę na potrzeby przemysłu, badań naukowych, prywatnych zleceń oraz innych artystów. Jego pierwsze spotkanie z *Plasma Art'em* miało miej-



Ilustracja 6. Eric Franklin i jego praca pt. „Embodiment”, 2006-2008 (źródło: www.ericfranklin.com)

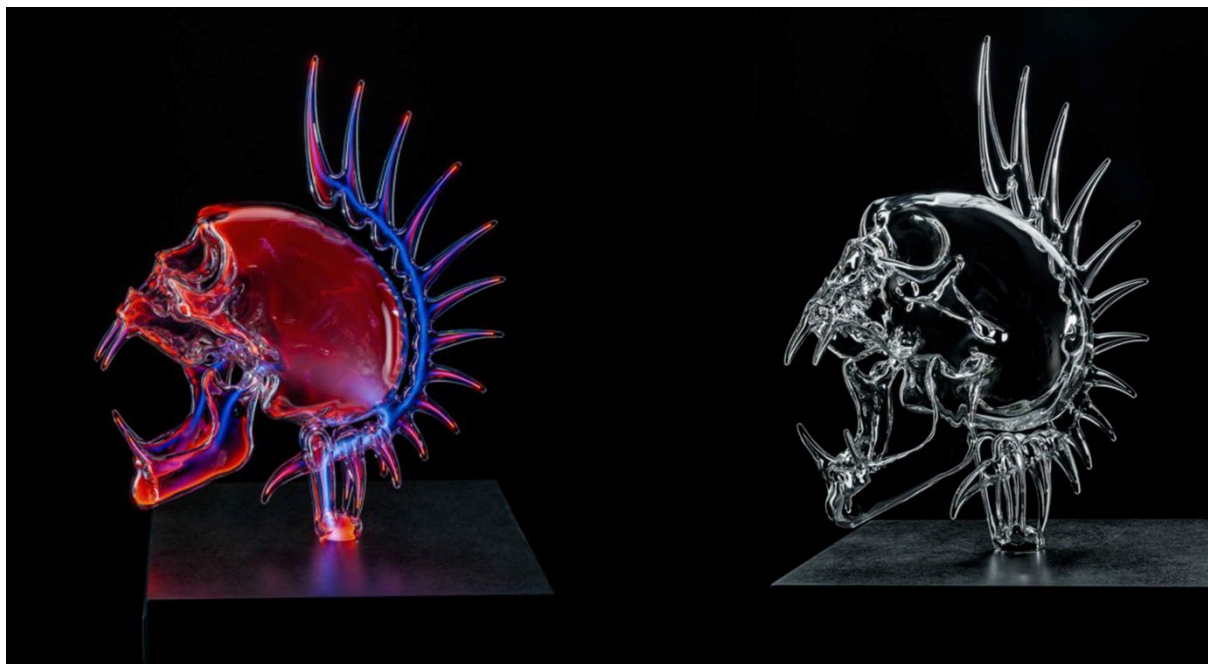
sce w Museum of Contemporary Craft w Portland (Oregon, Stany Zjednoczone) na wystawie Erica Franklina pt. „*Embodied Cognition*” w 2003 r.

W tym miejscu pragnę zaznaczyć, że moja fascynacja tą techniką również rozpoczęła się od pracy Erica – było to zdjęcie szklanej rzeźby w formie ludzkiego szkieletu naturalnych rozmiarów, wypełnionego niezwykle jasnym światłem – oniemiałam z zachwytu.

Wracając do Bernda, podczas wystawy głównej *European Glass Festival* we Wrocławiu w 2016 r. miałam okazję zobaczyć osobiście jego rzeźbę plazmową pt. „Joker”. To, co zwróciło moją szczególną uwagę to perfekcyjnie wykonana szklana forma, nienosząca śladu żadnego narzędzia, z idealnie równą grubością ścianki. Oprócz znakomitej techniki warto podkreślić mistrzowskie odwzorowanie detalu, subtelne wycucie formy pomimo prowokującej symboliki dzieła oraz

¹⁷ Strona artysty: <http://www.weinmayer.at/> (dostęp 27.12.2021)

wyraziste zaznaczenie koloru. Choć estetyka jego twórczości jest daleka od moich osobistych preferencji, pozostaje on w moich oczach niekwestionowanym autorytetem swojej dziedziny.



Ilustracja 7. Bernd Weinmayer, „Joker”, 2010 (źródło: www.weinmayer.at)

Ostatnią twórczynią, której działalność w zakresie sztuki plazmy chciałabym przybliżyć jest Harriet Schwarzrock. Artystka szkła z Australii, która *Plazma Art'em* zaczęła interesować się stosunkowo niedawno – w 2016 r. Podczas rezydencji artystycznej w *Canberra Glassworks*¹⁸ wzięła udział w warsztatach neonowych prowadzonych przez Richarda Wheatera¹⁹ (artystę z Anglii), w których trakcie oprócz klasycznej nauki gięcia szklanych rur miała możliwość użycia szkła formowanego hutniczo i wykorzystując technikę pompowania piecowego²⁰ wypełnić jego wnętrze neonem i argonem. Uczestnicy warsztatów eksperymentowali również z jednoelektrodowymi obiektami i właśnie w tym czasie Harriet wykonała formy w kształcie serca, które zyskały nowe życie dzięki plazmowemu wnętrzu. Od tego momentu plazma zaważnęła jej umysłem, z pomocą mentora w zakresie sztuki neonowej Stevena Cole'a²¹ oraz partnera życiowego i artystycznego Matthew Curtis (razem prowadzą studio szkła Curtis Glass Art Studio²²) rozpoczęła budowanie własnego warsztatu z niezbędnymi urządzeniami do tworzenia *Plasma Art'u*. W 2019 r. otrzymała stypendium *Stephen Procter Fellowship*

¹⁸ <https://canberraglassworks.com/> (dostęp 27.12.2021)

¹⁹ <https://www.richardwheater.com/> (dostęp 27.12.2021)

²⁰ Więcej o tej technice piszę w rozdziale III. 3. Procedura odpompowywania i napełniania obiektów plazmowych i neonowych.

²¹ <http://www.stevencole.com.au/> (dostęp 27.12.2021)

²² <https://www.curtisglassart.com/> (dostęp 27.12.2021)

*Program*²³, które umożliwiło jej wyjazd do Stanów Zjednoczonych na warsztaty plazmowe prowadzone przez Jaime'go Guerrero i Eda Kirschnera, odwiedziła również pracownię Mundiego Hepburna i Wayne'a Stratmana. Wystawa „*Spaces between movement and stillness*”²⁴, która miała miejsce w 2021 w National Portrait Gallery w Canberze to ponad 120 obiektów plazmowych w formie szklanych serc. Autorka eksploruje idee procesów emocjonalnych i ich fizycznej reprezentacji poprzez przedstawienie różnorodnych stanów - od spokoju do ekscytacji - za pomocą zjonizowanych gazów. Formę serc traktuje jako sposób unaocznienia i opisanie wzajemnego oddziaływania, różnorodności i podobieństw pomiędzy ludźmi, a użycie plazmy pozwala jej podkreślić rolę impulsów elektrycznych w naszym organizmie.



Ilustracja 8. Harriet Schwarzrock „*Spaces between movement and stillness*” (źródło: www.curtisglassart.com)

²³ <https://soad.cass.anu.edu.au/school/scholarships-patrons/stephen-procter-fellowship> (dostęp 27.12.2021)

²⁴ <https://www.portrait.gov.au/exhibitions/harriet-schwarzrock-2021> (dostęp 27.12.2021)

ROZDZIAŁ II. Neon IRSA – partner biznesowy.

II. 1. Charakterystyka problemu badawczego.

W Polsce brak jest edukacji i kursów specjalistycznych z dziedziny wytwarzania rur neonowych, a ostatnia publikacja w języku polskim pt. „*Reklamy świetlne jarzeniowe*” autorstwa mgr inż. Janusza Koprowicza i dr inż. Stanisława Krakowiaka została wydana w 1971 r. W mojej ocenie jest to rzetelne opracowanie, jednak w wielu aspektach nieaktualne. Opisana w książce technika obróbki próżniowej rur neonowych przy jednoczesnym wygrzewaniu w piecu elektrycznym²⁵ jest bardzo skuteczna, ale żadna z obecnie działających firm w Polsce nie używa tej metody. (Nie mam danych historycznych na ten temat, ale z relacji osób pamiętających okres PRL ta technika nie była stosowana). Według mojej wiedzy w Europie jest tylko kilka firm, która stosuje ten sposób obróbki, m.in. *Nordiska Neon & Diod AB Västerås*²⁶ w Szwecji (jest to jedyna firma produkująca neony w całej Skandynawii) i *Glasblazerij Jaap de Graaf bv*²⁷ w Holandii, która zajmuje się wytwarzaniem specjalistycznych lamp oraz szkła laboratoryjnego. Niedostępne są, rekomendowane przez autorów do używania w rurach z parami rtęci (rtęć umieszczona była w szklanej kapsułce oplecionej niklową taśmą, która umożliwiała rozerwanie jej pod wpływem nagrzewania indukcyjnego generatorem wysokiej częstotliwości)²⁸. Bardzo rzadko stosowana jest ręczna technika pokrywania rur luminoforem metodą na sucho lub mokro²⁹. Obecnie najczęściej korzysta się z rur luminoforowanych fabrycznie produkowanych we Włoszech (przez firmy *Glostertube*³⁰ i *Tecnolux*³¹) lub w Chinach (te niestety często charakteryzują się niską jakością, która ujawnia się dopiero po zakończeniu procesu obróbki próżniowej w postaci ciemnych plam na warstwie luminoforu). Zdezaktualizowały się informacje dotyczące transformatorów wysokiego napięcia służących do zasilania rur neonowych, sposobów animacji neonów, możliwości regulowania intensywności świecenia, a także (co zrozumiałe) brak informacji o elektronicznych zasilaczach wysokiego napięcia, bardzo chętnie stosowanych, które zyskały na popularności ze względu na swoje niewielkie rozmiary i atrakcyjną cenę.

²⁵ J. Koprowicz i S. Krakowiak, *Reklamy świetlne jarzeniowe*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1971 r., s. 37-45.

²⁶ <https://www.nordiskand.se/> (dostęp: 10.01.2022)

²⁷ <https://www.glasblazerij.nl/> (dostęp: 10.01.2022)

²⁸ Ibidem, s. 26

²⁹ Ibidem, s. 36

³⁰ <http://www.glostertube.com/tubie.htm> (dostęp: 10.01.2022)

³¹ <https://www.tecnolux.com/> (dostęp: 10.01.2022)

Fakt, że w Polsce aktualnie działa kilkadziesiąt przedsiębiorstw zajmujących się produkcją reklam neonowych zawdzięczamy w dużej mierze władzom komunistycznym, które traktowały neony jako ozdobę, nocny, świadomie projektowany ornament miasta³² z funkcją informacyjną oraz element oficjalnej propagandy politycznej. Choć neony obecne były w Polsce już przed II wojną światową (pierwsza reklama neonowa zapłonęła w Warszawie w 1926 r.³³) największą popularność zawdzięczają socjalistycznemu programowi „neonizacji kraju”. Rozpoczyna się on od odwilży w 1956 r., w latach 60. neony przeżywają swój rozkwit i w większości dużych miast prężnie działają państwowe przedsiębiorstwa reklamowe (m.in. „Reklama”, „Stołeczne Przedsiębiorstwo Instalacji Reklam Świetlnych (SPIRŚ)”, „Spójnia”, „Lumen”, „WUTEH”, Zakład Identyfikacji Wizualnej Kolei), kryzys przychodzi w latach 80. XX w. wraz z upadkiem gospodarczym kraju i wprowadzeniem stanu wojennego. Po zmianach ustrojowych w 1989 r. państwowe przedsiębiorstwa reklamowe przekształcane były w prywatne przedsiębiorstwa lub ich pracownicy otwierali własne biznesy.



Ilustracja 9. Uroczyste włączenie neonu na elewacji budynku, w którym mieści się siedziba firmy Neon Irsa, ul. Dębowa 16a/2 w Katowicach, 2021.

³² J. Zieliński, *Neony ulotny ornament warszawskiej nocy*, Fundacja Hereditas, Warszawa, 2010, s. 55.

³³ Ibidem, s. 14.

Żywym przykładem jest historia firmy Neon Irsa założonej w 1989 r. przez Zbigniewa Łankiewicza, który był głównym projektantem technicznym w przedsiębiorstwie „Reklama” w Katowicach³⁴. Zbigniew Łankiewicz zaszczerpił miłość do neonów u swoich synów, starszy Michał nauczył się formować szklane rury w *Państwowym Przedsiębiorstwie Produkcji i Montażu Urządzeń Reklamowych WUTEH*, później do firmy dołączył również młodszy syn Miłosz. Założyciel Neon Irsy zmarł w 2015 r., a działalność firmy kontynuują jego synowie, z którymi współpracuję.

Opierając się na pogłębionych wywiadach z właścicielami oraz analizie występujących usterek w wytwarzanych rurach neonowych dostrzegłam następujące problemy. Merytoryczna wiedza z zakresu technologii wytwarzania rur neonowych przekazywana była z pokolenia na pokolenie, przez co uległa rozmyciu, spłyceniu i mitologizacji. Nieznajomość lub błędne rozumienie zjawisk fizycznych zachodzących w rurach neonowych doprowadziły do wypaczenia prawidłowych procedur produkcyjnych, przekładając się w efekcie na spadek niezawodności i obniżenie walorów estetycznych neonów. Wywołało to wzrost uprzedzenia klientów do tej dość kosztownej formy reklamy, która przestała spełniać początkowe obietnice o swej trwałości. Dodatkowo bardzo duże trudności dla tej branży w latach 90.tych i dwutysięcznych spowodowane zostały zachłystnięciem się technologią LED, bardzo małą liczbą nowych zamówień (neony kojarzone były z ustrojem socjalistycznym, o którym społeczeństwo chciało zapomnieć), „walką” o zlecenia, problemami z płatnościami (cytat: Michał Łankiewicz „W latach 90.tych nikt nikomu nie płacił.”), które w efekcie doprowadziły do upadku wielu przedsiębiorstw oraz do braku wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy firmami. Każdy trzymał swoje rozwiązania technologiczne w tajemnicy przed konkurencją. Przy realizacji dyplomu magisterskiego również spotkałam się taką postawą, próbując zdobyć wiedzę na temat produkcji neonów, kontaktowałam się z wieloma firmami i najczęściej byłam zbywana, udzielano mi ogólnikowych odpowiedzi lub wprost informowano mnie, że to o co pytam to „tajemnica przedsiębiorstwa”.

Kolejnym obszarem, któremu się przyjrzałam to jakość wytwarzanych produktów. W firmie korzysta się z dobrej jakości materiałów produkcyjnych - rury szklane, elektrody, transformatory kupowane są bezpośrednio u producentów we Włoszech. Zdolności manualne formierza szkła są na bardzo wysokim poziomie, konstrukcje wsporcze wykonywane są

³⁴ Podobną historię ma wiele firm w Polsce, są to m.in. Reklama-Neony Piotr Heinze mieszcząca się w Poznaniu <http://reklama.poznan.pl/> , Kapilar Reklama z Antoniewa pod Łodzią <https://neonownia.com/> , Hanak Reklama Wizualna w Warszawie <https://www.neony.pl/> (dostęp: 10.01.2022)

w warsztacie ślusarskim przez wykwalifikowanego pracownika i to mogłoby wskazywać na końcowy produkt doskonałej jakości. Pojęcie jakości traktuję jako zgodność produktu z założeniami producenta, czyli zapewnienie o trwałości, starannej rzemieślniczej pracy, bezawaryjności i wieloletnim zadowoleniem z produktu wykonywanego na zamówienie. Dobra jakość to zatem zgodność efektu końcowego z obietnicą producenta względem wybranej grupy odbiorców oraz niezawodność globalna, uwzględniająca dotrzymanie charakterystyk technicznych, ekonomicznych i socjologicznych obiektów. Choć pozornie na każdym etapie produkcji dba się o te wartości, dostrzegam tutaj przestrzeń do rozwoju. Dla przykładu gwarancja producenta na wytwarzane produkty to 24 miesiące, co w praktyce oznacza, że jeśli produkt ulegnie awarii po tym okresie klient będzie musiał ponieść koszty naprawy, a serwis reklam neonowych staje się częścią zarobkowej działalności firmy. Tym sposobem również, wysiłek i uwaga niedużego, wysoko kwalifikowanego zespołu zostaje nadmiernie podzielona pomiędzy nowe instalacje i utrzymanie dotychczasowych realizacji, zwiększając funkcję ryzyka wytwarzanego produktu (funkcję intensywności ubywania jakości/niezawodności)³⁵. Ów powoli postępujący proces doprowadza produkt do krytycznej (nietolerowanej przez użytkowników) wartości niezawodności³⁶, przybliżając obiekty sztuki neonowej, zarówno jednostkowe jak i jako całościowy koncept do kresu życia³⁷. Ten nadchodzi, gdy nie wytwarza się obiektów nowych (koncept), a istniejącym nie przywraca sprawności (jednostka) ze względów ekonomicznych, lecz także towarzyszących im nieracjonalnych jak moda, gust, estetyka, powszechna opinia, obyczaje i inne. Taki stan rzeczy można nazwać postarzeniem produktu przez zaniechanie, ponieważ największe wartości niezawodności uzyskiwane w światowej technice neonowej sięgają kilku dekad.

Do następnych zidentyfikowanych problemów zaliczam przestarzałe i nieserwisowane stanowisko do obróbki próżniowej oraz poleganie na ludzkich zmysłach podczas etapów produkcji, które mogłyby być oparte o współczesną technikę pomiaru próżni. Nawykowe trzymanie się procedury obróbki próżniowej dalekiej od optymalnej, bo przeniesione z archaicznych dawno niestosowanych już szklanych stanowisk próżniowych. Istnienie lokalnej puli wad typowych dla produktów konkretnego warsztatu, uznawanych za pewniki i zjawiska naturalnie towarzyszące obróbce rur szklanych, do których występowania należy się przyzwyczaić, ponieważ rozwiązanie problemu zbyt wykracza poza „znane” ramy rzemiosła artystycznego, wkraczając na pole nauk ścisłych. Przykładem być tu może występujący regularnie problem

³⁵ E. Macha, *Niezawodność maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole, 2001, s. 7-8.

³⁶ Ibidem, s. 11.

³⁷ Ibidem, s. 9-10.

oddzielania się elektrod od systemów neonowych³⁸ po krótkim okresie funkcjonowania, powtarzalnie na wysokości pierścieni ceramicznych³⁹. Efekt ten postrzegany jest jako swego rodzaju wada materiałowa o nieznanym podłożu. Analiza zjawiska oraz konsultacje z ekspertami, pozwoliły mi określić, że przyczyna leży w pozornie nieistotnej decyzji o zastąpieniu specjalistycznej farby typu „block-out”, którą pokrywane są elektrody, inną powłoką malarską dobraną na podstawie zdolności przylegania do powierzchni szkła, a z pominięciem innych istotnych właściwości. Zamiennik, w przeciwieństwie do farby właściwej, zawiera w swym składzie metaliczne pigmenty i obciążniki, powodujące powstanie na powierzchni elektrody warstwy będącej wiszącą, „pasożytniczą” pojemnością elektryczną. Prowadzi to do zmniejszenia skuteczności kołnierza przeciwelektrocyjnego ampulki elektrody i stworzenia warunków dogodnych do powstawania wyładowań ostrzowych na jej krawędzi. Wyładowania takie długookresowo forsując stałą dielektryczną szkła, zubożają wewnętrzną jego powierzchnię w sód, pozostawiając odsłonięty szkielet krzemionkowy o podwyższonej kruchości oraz porowatej powierzchni wprowadzającej dodatkowo działanie karbu.

³⁸ System neonowy to pojedynczy element reklamy neonowej, składający się z rury zakończonej z obu stron elektrodami.

³⁹ Pierścień ceramiczny chroni przed niszczącym wyładowaniem ostrzowym krawędź cylindra elektrody. J. Koprończak i S. Krakowiak, op. cit., s. 25-26.

II. 2. Cel badań.

Podstawowym celem badań jest wyeliminowanie nawarstwiających się przez lata nieprawidłowości w procesie wytwarzania rur neonowych, które skutkują krótszą żywotnością rur neonowych, wymagają częstych napraw i serwisów. W myśl idei zrównoważonego rozwoju - neony jako reklamy świetlne i oświetlenie wewnętrzne mogą być długowieczne pod warunkiem zachowania ścisłych zasad i procedur obróbki próżniowej oraz użycie odpowiedniego sprzętu. Istotne jest również przeciwstawienie się ekonomii ciągłego powiększania przychodów i zwrócenie uwagi na całkowitą eliminację procesu „postarzania produktu”. Wytwarzanie trwałych produktów, maksymalne ograniczenie liczby napraw, ponieważ uszkodzone lub poddane nieodpowiedniej obróbce próżniowej rury zawierające mieszkankę gazów neonu i argonu oraz rtęć nie nadają się do naprawy ze względu na narażenie formierza szkła na wdychanie par rtęci. Takie rury, poza wyjątkowo cennymi historycznie, trafiają do utylizacji i konieczne jest wykonanie całego elementu raz jeszcze.

Równolegle z korygowaniem zadawnionych nawyków i błędów technicznych, bardzo ważnym elementem mojego działania jest opracowanie projektów oraz wykonanie prototypów użytkowych obiektów świetlnych, możliwych do wdrożenia do produkcji z zachowaniem ich unikatowego charakteru. Głównym celem jest zaprojektowanie oryginalnych przedmiotów świetlnych przeznaczonych do aranżacji wnętrz, z którymi odbiorca będzie mógł nawiązać kontakt – obiekty będą reagować na dotyk. Do ich tworzenia wykorzystuję *Plasma Art* i dzięki takiemu innowacyjnemu rozwiązaniu technologicznemu możliwe jest stworzenie relacji pomiędzy użytkownikiem a przedmiotem. Istotnym przedmiotem moich zainteresowań jest powtarzalność, stabilność w czasie, wydajność świetlna i efektywność energetyczna otrzymywanych zjawisk. Ponadto za niezbędne uważam opracowanie procesu technologicznego wraz ze środkami technicznymi, służącymi do jego efektywnego prowadzenia takiego, aby możliwym było połączenie obróbki klasycznych rur neonowych, napełnianie tradycyjnych systemów neonowych nowymi mieszkankami gazowymi oraz uzyskiwanie efektów właściwych dla *Plasma Art'u*. Operacje te powinny być możliwe do realizacji za pomocą jednego zespołu urządzeń, umożliwiającego jednocześnie zachowanie stałej jakości poprzez dokładne monitorowanie kluczowych parametrów.

II. 3. Rozwiązanie/wdrożenie.

Obecnie, ze względu na rozwój mediów społecznościowych możliwa jest wymiana wiedzy i poszukiwanie rozwiązań wśród członków międzynarodowych grup specjalistycznych, np. *Neon Lighting Professionals*⁴⁰ czy *Plasma Art Alliance*⁴¹, gdzie w większości przypadków nie ma tajemnic i można uzyskać rzetelne wsparcie, szczególnie wśród członków ze Stanów Zjednoczonych. Dużo większy jest również dostęp do publikacji anglojęzycznych dotyczących wytwarzania rur neonowych (np. *The Neon Superguide - Complete How-to Manual by Randall Caba*, *Neon Technique – Handbook of Neon Sign and Cold-Cathode Lighting 4th Edition*). Oprócz tego dostępne są podcasty (rozmowy z artystami) *Taming Lightning by Percy Echols II*⁴², *Mondo Neon*⁴³. Głównie dzięki temu możliwe były moje badania, poszukiwanie rozwiązań i realizacja projektu wdrożeniowego.

Po przeprowadzonym w toku moich badań audycie technologicznym, podczas którego poddałam wnikliwej analizie narzędzia, techniki i procesy obróbki rur neonowych, zaproponowałam środki zaradcze pod postacią modyfikacji dotychczas stosowanej procedury wytwórczej, zoptymalizowanej dla istniejącej, tradycyjnej stacji pompowo - bombardującej, oraz zaprototypowanie nowego stanowiska pompowego. Nowe rozwiązanie wykorzystuje zapożyczoną z repertuaru technik szklarstwa laboratoryjnego, metodę pompowania piecowego (stosowaną do uzyskiwania wysokiej jakości próżni w szklanej, płaszczowej aparaturze badawczej – naczyniach Dewar’a, osłonach IR, kriostatach), poszerza liczbę możliwych do zastosowania gazów, a także wprowadza opcję monitorowania wielu parametrów i archiwizacji części z nich. Co najistotniejsze, jego możliwości nie kończą się na poprawie jakości wytwarzania klasycznych systemów neonowych, ponieważ moje prekursorskie urządzenie, otwiera drogę do komercyjnego wykorzystywania możliwości *Plasma Art*’u.

⁴⁰ Zamknięta grupa na platformie Facebook, licząca 1027 członków.
<https://www.facebook.com/groups/365369900264639/> (dostęp: 10.01.2022)

⁴¹ <https://plasmaartalliance.com/> (dostęp: 10.01.2022)

⁴² <http://www.percyechols.com/podcast.html> (dostęp: 10.01.2022)

⁴³ <https://www.mondoneon.com/mondo-neon-podcast> (dostęp: 10.01.2022)

ROZDZIAŁ III. Rozdział techniczny.

III. 1. Zasada działania lamp wyładowczych.

Lampy neonowe, są rodzajem zimnokatodowych⁴⁴ lamp wyładowczych, to jest lamp generujących promieniowanie elektromagnetyczne (w tym interesujące nas spektrum widzialne) w wyniku wyładowania elektrycznego w gazach lub parach o obniżonym ciśnieniu (wyładowania jarzeniowego bądź plazmowego). W praktyce neoniarskiej medium gazowym jest najczęściej czysty neon, argon, ich mieszaniny w stosunku 75/25 lub 25/75⁴⁵, a także pary rtęci. W sztuce *Plasma Art*, stosowane są wszystkie (poza radonem – we względu na jego promieniotwórczość) gazy szlachetne i obojętne, pary metali (rtęci, galu), substancje gazowe (tlenek i dwutlenek węgla, heksafluorek siarki) oraz wybrane halogenki (brom, jod, fluor) oraz ich mieszanki w rozmaitych stosunkach parcjalnych i kombinacjach składu.

Zasada ich działania opiera się na zjawisku, iż w wymienionych mediach naturalnie znajduje się pewna liczba jonów – to jest atomów lub cząsteczek, posiadających ujemny (aniony) lub dodatni (kationy) ładunek, ze względu na posiadanie nadmiaru lub niedoboru elektronów. Jonizacja ta spowodowana jest głównie działaniem pola elektrycznego elektrod (wzbudzeniem), jak również oddziaływaniem naturalnego promieniowania elektromagnetycznego oraz kolizjami z innymi atomami, jonami, cząsteczkami i cząsteczkami subatomowymi. Ponadto na jon umieszczony w polu elektromagnetycznym (w naszym przypadku będzie to przestrzeń położona pomiędzy zasilonymi elektrodami, albo elektrodą a najbliższą dużą pojemnością elektryczną i ograniczona ścianami szklanej formy), działa siła przemieszczająca je w kierunku przeciwnej naładowanej elektrody. Takie rozpędzone działaniem pola jony (oraz uwolnione w przypadku utworzenia anionu elektrony), po pokonaniu niewielkiego dystansu (zależnego tu od ciśnienia medium, a więc tzw. swobodnej drogi bezkolizyjnej), wchodzi w kolizję z neutralnymi atomami lub cząsteczkami (możliwych typów kolizji jest więcej). W wyniku tego zdarzenia tworzą kolejną parę – anion / wolny elektron i rozpoczynają swoją dalszą podróż w polu (jonizacja) lub przyłączają nadmiarowy elektron tworząc kation, który dążąc do osiągnięcia swego stanu podstawowego i stania się z powrotem neutralną cząsteczką (rekombinacja) lub atomem, pozbywa się zyskanego ładunku (nadmiarowego elektronu). Tu właśnie stajemy się świadkami kluczowej dla nas części mechanizmu wyładowania

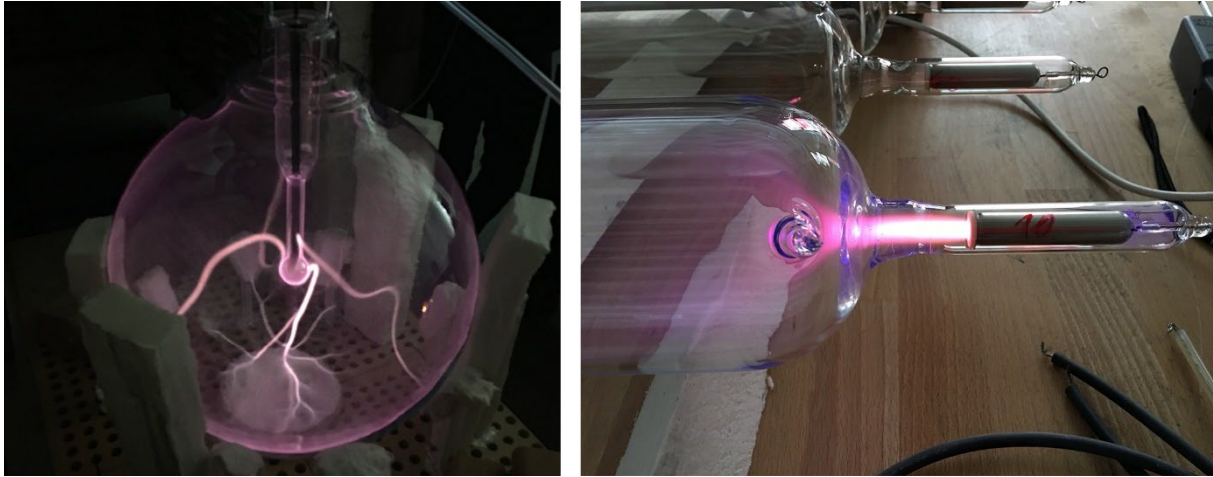
⁴⁴ J. Sawicki, *Lampy elektronowe i elementy półprzewodnikowe*, Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego, Warszawa, 1966, s.208-210.

⁴⁵ Zastosowanie odpowiedniej mieszanki zależy od zakresu temperatur środowiska pracy lampy.

plazmowego w gazie, ponieważ zgodnie z zasadami zachowania energii w układach, tak powstały jon energię przekazaną podczas kolizji, emituje pod postacią kwantu światła. Zjawisko ma charakter lawinowo narastających kaskad jonów i trwa do momentu ustania oddziaływania pola elektromagnetycznego. Lampę określamy jako zimnokatodową, jeśli jej elektrody nie wymagają żarzenia do działania, czyli na ich powierzchni dochodzi do emisji większej liczby elektronów, niż wynikałoby to z ich temperatury (emisji termionowej).

Kolor świecenia wyładowania jarzeniowego w lampie neonowej zależy od spektrum emisyjnego atomów wchodzących w skład mieszanki gazowej, ciśnienia, gęstości oraz częstotliwości prądu. Kolor świecenia lampy wyładowczej zależy ponadto od barwy użytego na jej ścianki szkła, jego opalescencji i przezierności. Możliwe jest również użycie luminoforów – pokryć wewnętrznych, składających się z proszków o strukturze krystalicznej, złożonych z pierwiastków ziem rzadkich, wykazujących fluorescencję, czyli zdolność emisji światła na skutek pochłonięcia innego promieniowania elektromagnetycznego. W praktyce neoniarskiej, do wzbudzenia luminoforów najczęściej stosuje się widmo argonu z rtęcią – zdominowane przez wysokoenergetyczną ultrafioletową linię 254nm, zapewniającą efektywną aktywację. (W mojej praktyce w tym samym celu stosuję również argon domieszkowany kryptonem o nieco mniej energetycznej charakterystyce widmowej, zbliżonej jednak na tyle do widma rtęci, iż pozwala na efektywne ograniczenie jej stosowania.)

Chociaż efekty świetlne w lampach plazmowych zachodzą w wyniku tych samych fundamentalnych zjawisk, to ich natura jest jednak wielokrotnie bardziej złożona. W dalszym ciągu mamy do czynienia z wyładowaniem plazmowym, jednak w miejscu typowego wyładowania jarzeniowego, pojawia się wyładowanie koronowe. Jego rozwój rozpoczyna się na drodze opisanych powyżej zjawisk, lecz w tym przypadku nie mamy pola elektrycznego pomiędzy parą elektrod zamieniających się znakami z częstotliwością prądu, a pojedynczą elektrodę metaliczną (typ elektrodowy), wewnętrzną elektrodę szklaną (typ „Dewar’a”) lub zewnętrzną elektrodę indukcyjną (typ „kociołkowy” / „cauldron”). Elektroda ta dostarcza do wewnątrz oraz do bezpośredniej bliskości szklanej powłoki lampy, szybkozmienny (w zakresie częstotliwości radiowych) prąd o napięciu rzędu 3-6kV. Również ciśnienie wewnątrz lampy plazmowej jest wielokrotnie wyższe od panującego w rurach neonowych, co skraca wspomnianą swobodną drogę bezkolizyjną (uzyskiwaną przez obniżenie ciśnienia), konieczną dla rozwijania kaskad jonowych w wyładowaniu jarzeniowym. Jak zatem dochodzi do charakterystycznych, ruchliwych i wielobarwnych wyładowań w tym typie lampy?



Ilustracja 10. Po lewej stronie elektroda wewnętrzna typ Dewar'a, po prawej stronie elektroda metaliczna z powłoką ułatwiającą emisję fotoelektronową.

Otóż dochodzi tutaj do wyładowań niezupełnych, o charakterze koronowo – jarzeniowym, czyli efektu forsowania rezystancji warstwy gazu zawartego wewnątrz szklanej formy z jednoczesnym uwidocznieniem efektów świetlnych właściwych dla widm składników danej mieszaniny gazowej. Jest to swego rodzaju dążenie do przebicia elektrycznego ośrodka niezawierającego elementów przewodzących pod wpływem stresu wywołanego wysokim napięciem (mieszanina gazów w rzeźbie plazmowej znajduje się pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego, droga swobodna cząstki jest niewielka a energia jonizacji duża, więc zachowuje się ona jak izolator). Zjawisko zachodzi, kiedy potencjał przekracza jakąś wartość, charakterystyczną nie tylko dla składu, ale też dla miąższości warstwy mieszanki i stałej dielektrycznej użytego szkła w powiązaniu z jego grubością. (Ta grubość warstw gazu i szkła jest kolejnym po składzie mieszanki czynnikiem, którego modyfikacja pozwala artyście plazmowemu na kontrolę charakteru i intensywności zjawiska a przez to efektu świetlnego.) Jednocześnie owa wartość napięcia nie może być zbyt duża, aby nie dochodziło do całkowitego sforsowania i wyzwolenia łuku elektrycznego.

Kontrolą parametrów napięciowych i częstotliwości zajmuje się tu specjalnie zaprojektowany zasilacz wykorzystujący objętość szklanej rzeźby jako pojemność rezonansową, ze sprzężeniem zwrotnym do bramki tranzystora przez ferrytowy transformator wysokiego napięcia. W chwili, gdy warunki napięcia i ciśnienia przybierają wartości optymalne dla danej geometrii i składu wypełnienia lampy, staje się możliwym przemieszczanie ładunków na skutek jonizacji medium gazowego i dochodzi do wytworzenia plazmy wokół elektrody.



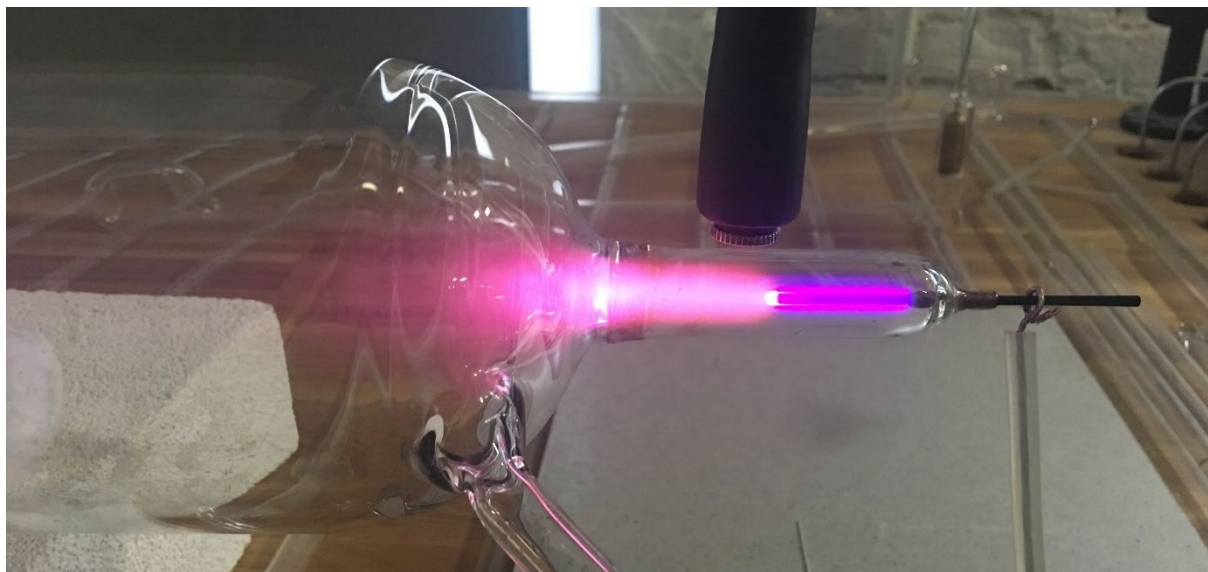
Ilustracja 11. Elektroda o bardzo małym promieniu, zaostzona.

Nie bez znaczenia jest też kształt samej elektrody i operowanie nim ma duży wpływ na rodzaj uzyskiwanego wyładowania. Elektrody o niewielkim promieniu, cienkie, czy wręcz zaostrome oraz o dużej szorstkości powierzchni, powodują powstawanie dużego nastromienia potencjału i pełniejszej, choć punktowej jonizacji z powstawaniem kanałów plazmowych o formach grawitujących w kierunku wyładowań iskrowych lub łuków. Natomiast elektrody obłe, o dużych promieniach i gładkim, bezkierunkowym wykończeniu powierzchni, sprzyjają częściowej jonizacji i „zapalaniu” klasycznego wyładowania koronowego, które tak naprawdę składa się z dwóch typów różniących się, choć współistniejących zjawisk.

Ten brak symetrii wywodzi się z różnej natury cząstek elementarnych zyskujących różniomienne ładunki w pobliżu elektrody. Niosące ujemny ładunek elektrony są niezwykle lekkie w porównaniu z naładowanymi dodatnio jonami, więc choć źródło napięciowe używane w tej technice operuje w zakresie około 35kHz i obserwujemy plazmę jako spójną, to w czasie „półówek” tych szybkozmiennych cykli, oba typy nośników ładunków w odmienny i specyficzny sposób składają się na obraz wyładowania.

Zrozumienie tych zależności pozwala artyście na wykorzystanie ich jako kolejnego narzędzia do kształtowania efektu świetlnego lampy plazmowej. Poprzez manipulowanie konstrukcją transformatora zasilającego i wypełnieniem sygnału do niego podawanego, może on wpływać na rodzaj generowanego prądu, napięcie oraz częstotliwość a tym samym na intensywność, oraz

czas trwania obu lub jednego typu wyładowania i tym sposobem modyfikować sposób wytwarzania plazmy.



Ilustracja 12. Korona dodatnia.

Może również wybrać jeden preferowany typ korony i operować w jego zakresie. Jest to istotne, ponieważ na przykład korona dodatnia, rozkładająca się równomiernie na skutek działania tych kaskad jonowych z cząstek oblepiających elektrodę, występuje na ogół przy powierzchni elektrody i zderzenia cząstek dotyczą głównie powierzchni elektrody. Chociaż jest sama w sobie widoczna najczęściej jako ściśle oblepiająca ją niebieskawa lub biało – fioletowa poświata uzupełniona o barwy widm składników mieszanki i może niezbyt atrakcyjna wizualnie, to operując w strefie najbardziej stromego potencjału, wytwarza głównie niedostrzegalne dla człowieka promieniowanie ultrafioletowe, którego wysoka energia wywołuje efekt fotoelektryczny, ułatwiając tworzenie kaskad jonowych w „głębszych” obszarach warstwy gazów otoczonych szklaną skórą obiektu. Daje najczęściej rozproszone, miękkie efekty z barwnymi gradientami w miejscach zacienionych przez własną geometrię obiektu lub tam, gdzie zmienia się grubość warstwy gazu i samodzielne jej użycie najlepiej sprawdza się w formach o mniejszych przekrojach. Ponadto promieniowanie to może zostać wykorzystane bardziej bezpośrednio, na przykład do pobudzania do świecenia powłok luminoforowych, nanoszonych na wnętrzu szkła różnymi technikami quasi-malarskimi, jak czynią to wspomniani wcześniej artyści Mundy Hepburn, czy Harriet Schwarzrock. Miejscem, w którym istnieje największy potencjał dla większości plazmowej, wizualnej „magii” jest natomiast korona ujemna, która najlepiej nadaje się do zastosowań artystycznych. Tutaj większość wysokoenergetycznych, międzycząsteczkowych reakcji zachodzi w „toni” mieszaniny gazowej skomponowanej przez artystę.

Tutaj parametry pola elektrycznego umożliwiają tworzenie charakterystycznych, pętających, rozgałęziających się zgrubień. Tutaj większość elektronów jest uwalniana nie z emisji wtórnej⁴⁶ z cząsteczek przy powierzchni elektrody ani w wyniku bezpośredniej emisji fotoelektronowej⁴⁷, a wewnątrz narastających kaskad kolejnych zderzeń. Jest ich też więcej i na ogół mają niższą energię niż w koronie dodatniej.



Ilustracja 13. Przykład wykorzystania wpływu jaki wywiera geometria oraz grubość warstwy gazu na intensywność emisji wtórnej z cząsteczek oblepiających wewnętrzne szklanej formy. Widoczne charakterystyczne gradienty i zwiększona intensywność emisji w uchylkach o najmniejszym przekroju.

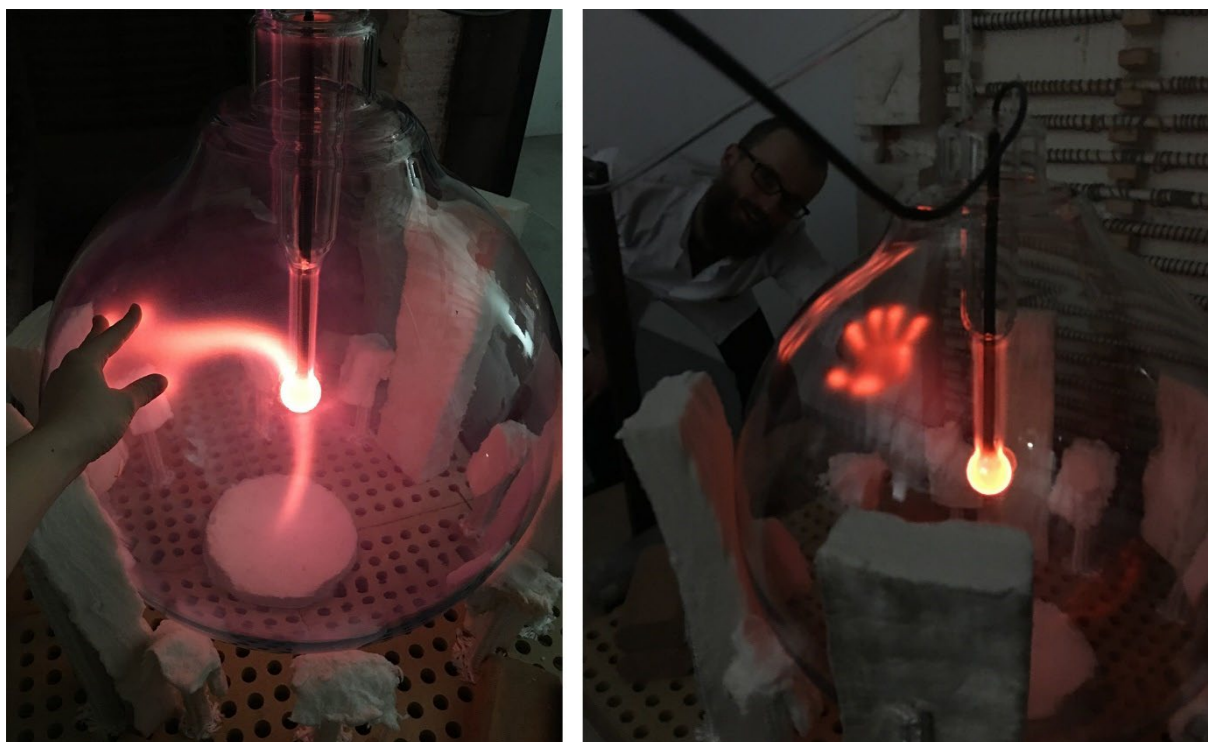
Jest to korzystne, ponieważ ten parametr łatwiej kontrolować napięciem/zasięgiem pola, jeśli wymaga tego szczególnie wysoka energia aktywacji któregoś ze składników mieszaniny gazowej. Natomiast niższe energie elektronów najczęściej sprzyjają tworzeniu kolejnych jonów i wbrew intuicji, pozwalają na lepsze podgrzewanie jonów, zachęcając je do rekombinacji i częstszego uczestnictwa w kolejnych reakcjach. Ów efekt podgrzewania (do pewnego stopnia) uczestniczy w konwekcyjnym przepływie i “mieszaniu” gazów będącym jednym ze składników ruchliwego i zmiennego zachowania wyładowań. Mamy tu do czynienia z wpływem najmniejszych i elementarnych zjawisk na pokrój i zachowanie skali makro fragmentów niewielkiego układu/izolowanego szklaną barierą świata.

⁴⁶ Ibidem, s.30.

⁴⁷ Ibidem, s.31.

Taka samoorganizacja występuje w plazmie na wielu poziomach. Pojedyncza gałązka usiłuje zająć w przestrzeni rzeźby i na powierzchni elektrody wystarczającą ilość miejsca, by móc oddawać swoją minimalną energię wzbudzenia do świata na zewnątrz swego układu przez szklaną przegrodę. W miarę, jak w jej obrębie wyczerpują się dostępne do zjonizowania atomy i cząsteczki, a przekazywana moc rośnie, jej pojemność zostaje przekroczona i tworzy się nowa gałązka. Kolejne odgałęzienia powstają i zaczynają konkurować o możliwość “dotknięcia” dostępnej im powierzchni szkła. Wszystkie posiadają jednoimienny ładunek, więc odpychają się wzajemnie, tworząc między sobą ciemne granice.

Dotknięcie przez zewnętrznego widza rzeźby stwarza dogodne warunki do przepływu energii, ponieważ ciało stawia mniejszy opór oraz ulega polaryzacji łatwiej niż reszta otoczenia i daje tym samym dogodną drogę ujścia wyładowania o niskiej rezystancji, jest lepszym odbiornikiem mocy emitowanej z tego plazmowego mikrokosmosu. Wzmoczony przepływ takiego “dotkniętego” wyładowania sprawia, że nasilają się wokół niego jego własne efekty magnetyczno-hydrodynamiczne⁴⁸ i połączona z odbiorcą gałązka zacieśnia się i jaśnieje jakby w odpowiedzi na to spotkanie.



Ilustracja 14. Dotknięcie.

⁴⁸ hasło: efekt magnetohydrodynamiczny, [w:] *Encyklopedia Techniki podstawy techniki*, (red. nacz.) H. Chmielewski, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1974, s. 389.

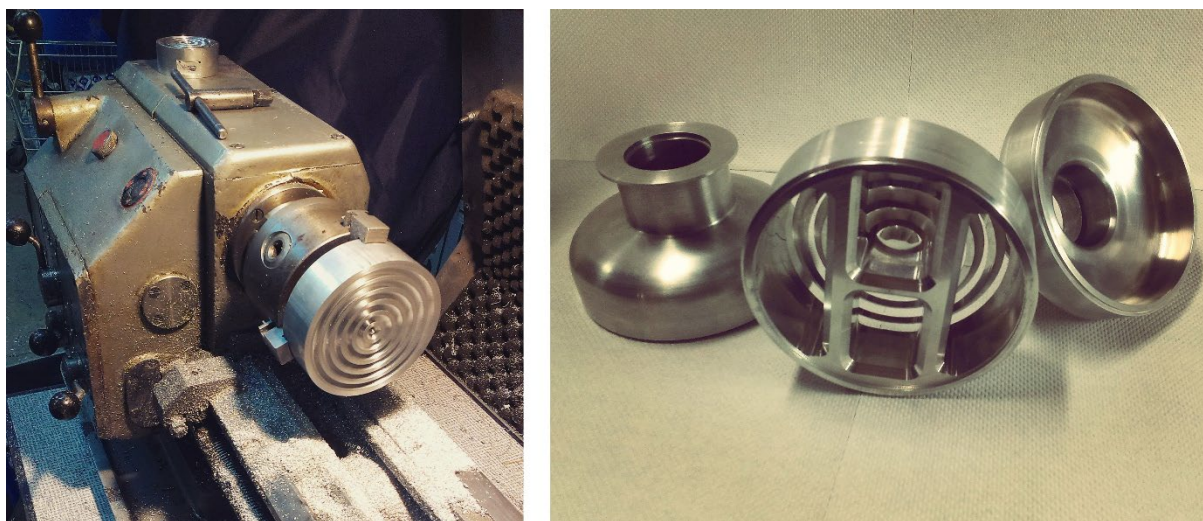
III. 2. System próżniowo – pompowy – opis i zasada działania.

W pracy nad aparaturą przeznaczoną do uzyskiwania wykorzystywanych przeze mnie efektów świetlnych rozważałam wiele rozwiązań technologicznych. Na drodze zgłębiania literatury fachowej i wymiany informacji z innymi artystami szkła i plazmy oraz osobami ze świata przemysłu i nauki stosującymi zbliżone technologie miałam okazję zapoznać się z metodologią konstruowania małej objętości układów precyzyjnego wytwarzania gazowych atmosfer procesowych. W wyniku tych konsultacji postanowiłam podzielić zagadnienie na dwie grupy problemów technicznych. Pierwsza związana jest z uzyskaniem w tworzonych obiektach próżni wysokiej, natomiast druga pokrywa zagadnienia wytwarzania pożądaných mieszanek gazowych.

Brałam pod uwagę kilka typów pomp próżniowych, idealną wydawała się pompa turbomolekularna ze względu na prędkość pompowania w zakresie ciśnień niskich, łatwość przygotowania do pracy oraz możliwość uzyskania próżni bezolejowej o wysokiej czystości. Drugą opcją była dwustopniowa pompa mechaniczna, która jest rozwiązaniem niezawodnym i łatwym do pozyskania. Trzecia opcja to pompa dyfuzyjna pozbawiona elementów ruchomych o niezrównanej wydajności. Niestety każda z osobna okazała się mieć wady i tak pompa turbomolekularna jest niezwykle wrażliwa na nagłe zmiany ciśnienia, które mogą powstać w wyniku pęknięcia szklanej formy, pompa mechaniczna dwustopniowa jest wolna w działaniu, a jedynie najnowsze modele są w stanie osiągnąć wymagany poziom podciśnienia. W związku z powyższym mój wybór padł na zespół pompowy złożony z metalowej, trzystopniowej, olejowej, frakcjonującej pompy dyfuzyjnej wspartej dwustopniową, łopatkową pompą mechaniczną, ponieważ takie rozwiązanie oferuje dobre wartości próżni końcowej i odporność na nagłe wtargnięcie powietrza atmosferycznego.

Urządzenie marki Leybold Hereus, które odremontowałam działa na następujących zasadach: pary wrzącego w części dyfuzyjnej oleju, które przez system dysz kierowane są z wysoką prędkością w kierunku pompy mechanicznej przekazują cząsteczkom gazu w układzie część swojej energii kinetycznej wymuszając ich ruch w stronę wylotu układu, gdzie część rotacyjna jest w stanie odciąć porcję tak nagromadzonej mieszanki, sprężyć i usuwać je do atmosfery. Ze względu na fakt, iż taki zespół generuje w czasie wielogodzinnego cyklu pracy pewną ilość par oleju, które mogłyby migrować do wyżej położonych porcji układu i zanieczyszczać część dozującą – pomiarową oraz poddawane obróbce elementy szklane, konieczne

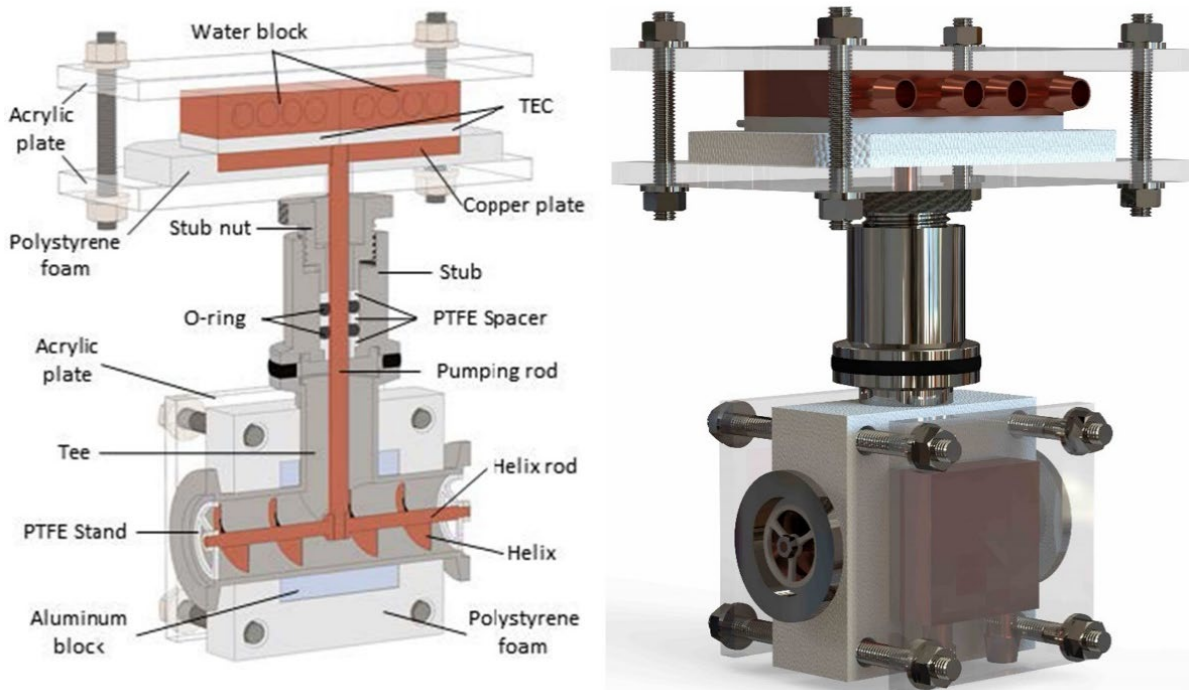
było zastosowanie odrzutnika par. Urządzenie to, choć podobne rozwiązania są znane w przemyśle, okazało się wymagać odrębnego potraktowania przez wzgląd na niezbędne w technice neonowej duże prędkości pompowania i konieczność utrzymania zanieczyszczeń pozostałościami węglowodorów i siloksanów na możliwie najniższym poziomie, gdyż moje doświadczenie wskazuje, że mają one olbrzymi wpływ na jakość przetwarzania wszelkich form luminoforowanych (występowanie nieestetycznego i zmniejszającego emisję światła płamienia na obrabianym szkłe luminoforowanym jest jednym z często nawracających w praktyce przedsiębiorstwa problemów).



Ilustracja 15. Odrzutnik par, pierwsza próba wykonania.

Powyżej zobrazowane jest pierwsze podejście do skonstruowania kompaktowego odrzutnika par, połączonego jednocześnie z zimną pułapką – czyli kolejnym ustrojem koniecznym do zapobiegania krzyżowemu zanieczyszczeniu szkła przez emisje z systemu próżniowego i zespołu pompującego przez pył luminoforu oraz pary rtęci. Widoczne są dzwony – górny i dolny, zaopatrzone w standaryzowane złącza ISO-KF, oraz część zasadnicza – optycznie gęsty, koncentryczny, pierścieniowy dyfuzor stwarzający dla przepompowywanych mediów labirynt, zmuszający cząstki zanieczyszczeń do „wylądowania” na powierzchni o temperaturze kriogenicznej, gdzie zostają tymczasowo związane. Co istotne, sumaryczny przekrój szczelin jest większy od światła linii pompowej, przez co element ten nie stwarza zbyt dużego oporu molekularnego i nie spowalnia odpompowywania. Pułapka ta umożliwi osiągnięcie temperatur rzędu -103°C , przy których zachodzi efektywne wiązanie niepożądanych substancji. Jako materiał wybrałam aluminium PA-9 ze względu na relatywną łatwość obróbki w dostępnych mi warunkach, odporność na atmosfery procesowe, z jakimi część ta wchodzi w kontakt oraz doskonale przewodnictwo termiczne. Wersja ta nie została użyta w prototypowym systemie

i pozostaje w opracowaniu. Konieczne jest w jej przypadku zaadaptowanie odpowiedniej mocy miniaturowej sprężarki mroźniczej, jednak wiąże z nią duże nadzieje, ponieważ podwójna funkcja, standaryzowane złącza i bardzo kompaktowe wymiary predysponują ją do potencjalnego zastosowania w wielu istniejących neonowych systemach pompowych.

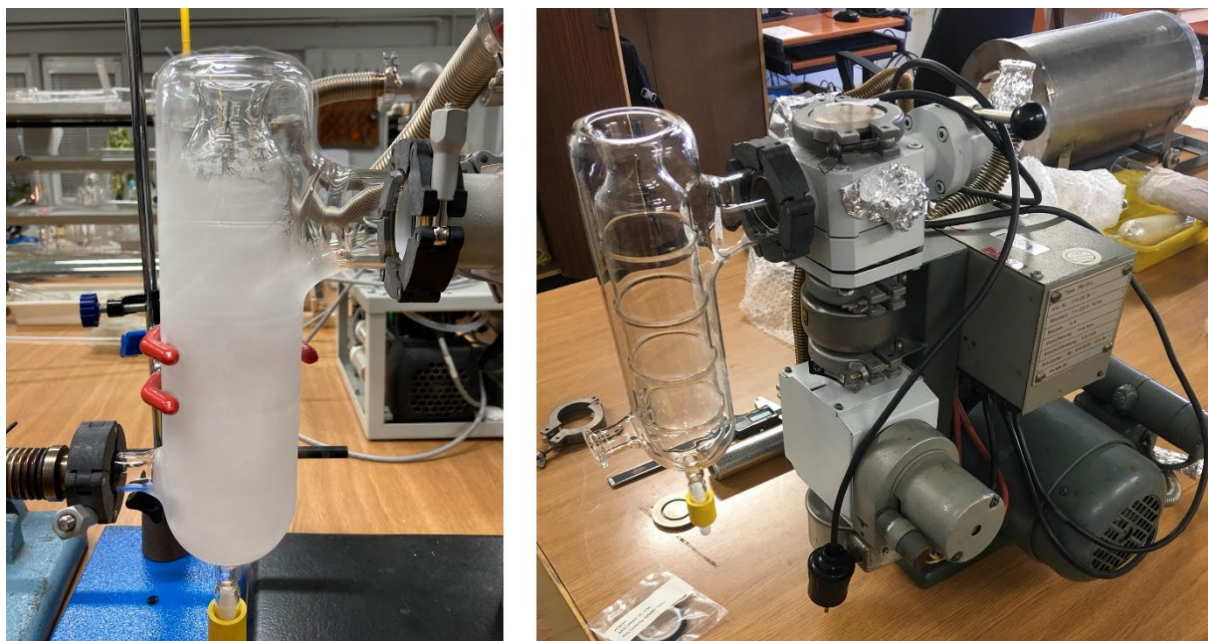


Ilustracja 16. Źródło: www.researchgate.net/publication/323133556_Virtual_prototype_of_a_low-cost_vacuum_baffle_based_on_thermoelectric_cooling/citations

Powyższy rysunek przedstawia rozwiązanie zaproponowane przez parę naukowców z Argentyny Juana Manuela Conde Garridoę i Josefina Marię Silveyrę⁴⁹. Jest to koncepcja bazująca na ogniwie lub stosie (w zależności od potrzebnej mocy mroźniczej układu) ogniw Peltiera. Dizajn jest o tyle wart uwagi, że stawia na „produkowalność”, gdyż bazuje na dużej liczbie części i podzespołów typowych, o dość dobrym rozpowszechnieniu i dostępności w przemyśle, posiada dobrą serwisowalność, wysokie prognozyki trwałości oraz niezwykle wysoką sprawność energetyczną, co jest bardzo istotne przy implementacji nowych części aktywnych w istniejących systemach pompowych, ponieważ nie podnosi zapotrzebowania na moc. Całość skonstruowana jest na bazie standardowego trójnika ISO-KF, w którego wnętrzu autorzy projektu umieścili helikalny, optycznie gęsty, miedziany dyfuzor, połączony

⁴⁹ J.M.C. Garrido, J.M. Silveyra, *Virtual prototype of a low-cost vacuum baffle based on thermoelectric cooling*, w: *Vacuum* 151, 2018. https://www.researchgate.net/publication/323133556_Virtual_prototype_of_a_low-cost_vacuum_baffle_based_on_thermoelectric_cooling/citations (dostęp możliwy po zalogowaniu, 12.02.2022)

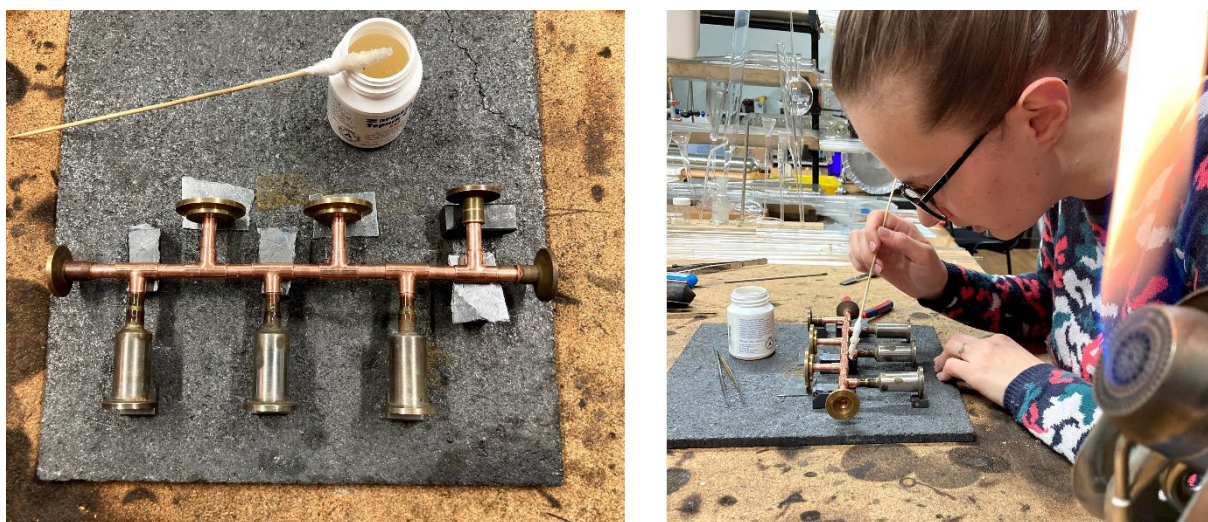
z miedzianym „heat-pipe’em” osadzonym w standardowej przejściówce ISO – zacisk. Do heat-pipe’a, ściśle przylega ogniwo Peltiera, umożliwiając skuteczne odtransportowywanie ciepła poza układ i tym samym „postawienie” na drodze potencjalnych zanieczyszczeń przegrody o temperaturze kriogenicznej, co jak już wspomniałam powoduje ich wywiązanie z układu. Ogniwo może być zaopatrzone w zwyczajny, chłodzony powietrzem radiator lub opcjonalne, małej objętości chłodzenie cieczą. Potencjał chłodniczy kształtuje się w okolicach -30°C dla pojedynczego ogniwa, co jest już wartością korzystną dla poprawy funkcjonowania wielu systemów pompowych, a temperatura teoretyczna w okolicach -100°C jest bardzo obiecująca. Całość, korzystnie będzie zaizolować pianką neoprenową. Szacowany koszt na poziomie $\sim 250\text{USD}$ w parze z prostotą i niskim poborem mocy, czynią z tego projektu rozwiązanie z wyboru. Podobnie jak poprzednie, nie zostało ono użyte w prototypowej instalacji, ze względu na ograniczenia spowodowane przez pandemię.



Ilustracja 17. Szklana pułapka zimna.

Rozwiązaniem, które udało mi się finalnie zrealizować i zaimplementować w zbudowanym prototypie zespołu pompującego jest tandem mechanicznego odrzutnika par zestawiony ze szklaną, azotową zimną pułapką. Obie części wyposażone są w standaryzowane złącza ISO-KF. Odrzutnik wykonany jest z elementów armatury nierdzewnej, spawanej w metodzie TIG oraz stojącej na drodze strumienia par, miedzianej blendy połączonej z korpusem twardo lutowanymi „wąsami” zapewniającymi termiczne połączenie dysku z obudową. Kolejno, zanieczyszczenia natrafić muszą na swej drodze na szklaną zimną pułapkę (wykonaną we współpracy z pracownią szkła laboratoryjnego INTiBS PAN), o temperaturze ciekłego azotu (-195°C)

umożliwiającej skuteczne wywiązanie z układu zanieczyszczeń, ale również zabezpieczenie przed halogenami (fluorem, chlorem, bromem, jodem), bardzo reaktywnymi pierwiastkami stosowanymi do domieszkiwania mieszanek gazowych w sztuce *Plasma Art*. Ta cenna właściwość rekompensuje konieczność cyklicznego uzupełniania cieczy kriogenicznej, jednak jak wspomniałam, wystarczające temperatury będzie można docelowo osiągać skutecznie przy pomocy rozwiązania opisanego powyżej.



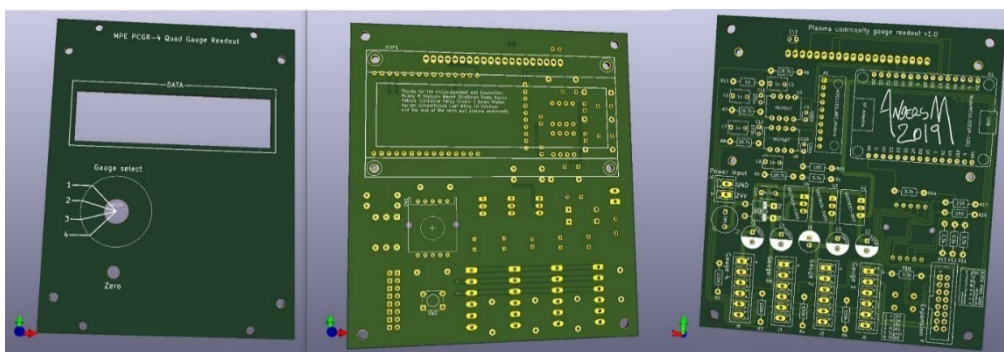
Ilustracja 18. Lutowanie miękkie elementów rozdzielacza wykonanych z miedzi, mosiądzu i stali nierdzewnej lutowiem należącym do grupy tzw. Superstopów (cyna, srebro i krzem metaliczny).

Całe stanowisko zostało zbudowane w oparciu o podzespoły pozyskiwane z drugiego obiegu i samodzielnie regenerowane, części wytwarzane we własnym zakresie z rozmaitych materiałów i według własnych projektów. Stosowałam również elementy maszyn i podzespołów przemysłowych, którym częstokroć nadawałam nowe funkcje, odmienne od ich pierwotnego zastosowania. Przykładem może być wyparzarka gastronomiczna, której budowa pozwalała na takie przekonstruowanie urządzenia, by mogło spełniać funkcję pieca komorowego typu dzwonowego (wzorowanego na rozwiązaniach firmy „Wilt”⁵⁰) – wybranego ze względu na oszczędność energii, cennej przestrzeni warsztatowej i ergonomię pracy podczas przyłączania systemów neonowych lub szklanych form plazmowych do linii pompowej. Materiały zdobywałam głównie przeszukując polskie i europejskie portale aukcyjne i ogłoszeniowe lub prowadząc handel wymienny ze znajomymi artystami i naukowcami związanymi z *Plasma Art'em*. Zastosowanie takich rozwiązań podyktowane było częściowo czynnikami ekonomicznymi oraz dostępnością niezbędnych a często niezwykle kosztownych komponentów, częściowo chęcią zachowania umiaru w zakresie wpływu wywieranego przez ten egzotyczny proces twórczy na

⁵⁰ <http://www.wiltindustries.com/150B.htm?fbclid=IwAR3ww-cseNc2hs44Bzath-QSRL-liX9ILL8zNsRS98MmasEBtkNfHx7-lFfY> (dostęp: 12.02.2022)

środowisko naturalne, a częściowo procesem wzajemnego oddziaływania na siebie artyści, jego procesu twórczego i szeroko pojętych narzędzi w jego warsztacie.

Bardzo istotnym elementem układu jest pomiar niskich ciśnień. W ramach szerszego projektu stworzenia systemu pomiaru niskich ciśnień rozwijanego we współpracy ze światową społecznością artystów plazmowych powstał elektroniczny kontroler parametrów układów ultraniskiego ciśnienia mogący obsługiwać do 4 głowic kombinowanych Penninga/Piraniego lub baratronowych oraz pojemnościowych (przeponowych) przetworników ciśnienia w dowolnej konfiguracji. Layout płytek drukowanych kontrolera oraz oprogramowanie powstało dzięki Andersowi Mikkelsenowi inżynierowi elektroniki, który na co dzień pracuje w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN w Szwajcarii. Jak mówi o swoim projekcie „Jego celem było stworzenie takiego sterownika, który zawierałby w sobie wszystkie potrzebne funkcjonalności przy zachowaniu bardzo minimalistycznego i czytelnego interfejsu bez rozbudowanych menu i ukrytych stanów. Jednocześnie zdolnego samodzielnie adaptować się do bibliotek i protokołów komunikacji jak największej liczny producentów głowic, baratronów i podobnych urządzeń monitorowania ciśnienia”. Ważnym elementem tej części projektu było nadanie charakteru społecznościowego i zbudowanie takiego narzędzia, które byłoby łatwo adaptowane do różnorodnych stanowisk pompowych w warsztatach neonowych z uwzględnieniem mnogości spotykanych rozwiązań technologicznych i bardzo różnego poziomu wiedzy specjalistycznej prezentowanej przez operatorów. Całość prac nad kontrolerem przebiegała na drodze korespondencyjnej wymiany uwag rozpoczętej na przełomie 2018 i 2019 r. Z początkiem 2021 r., do mnie oraz kilkorga innych testerów ze społeczności *Glass and Plasma Art*’u na świecie, trafiły ukończone płytki drukowane wraz z wykazem pozostałych potrzebnych elementów elektronicznych i plikiem z oprogramowaniem. Po zgromadzeniu wszystkich części, montażem oraz instalacją oprogramowania zajął się Dawid Marczewski (młody, utalentowany polski elektronik, aktywnie udzielający się w społecznościach *Plasma Art* oraz budowniczych cewek Tesli, współpracujący również z takimi sławami sztuki plazmowej jak Chris Burak).



Ilustracja 19. Layout płytek drukowanych kontrolera autorstwa Andersa Mikkelsena.

III. 3. Procedura odpompowywanie i napełniania obiektów plazmowych i neonowych.

Większość warsztatów neonowych (włączając firmę Neon Irsa) do produkcji rur neonowych stosuje stacje pompowo-bombardujące. Przed napełnieniem gazami szlachetnymi rury neonowej konieczne jest wytworzenie w niej próżni. „Próżnią nazywa się tu stan wyrażający się tysięcznymi, milionowymi, a nawet jeszcze mniejszymi częściami ciśnienia atmosferycznego. Jednostką pomiarową ciśnienia jest 1 Tr (tor), przy czym $1 \text{ Tr} = 133,3 \text{ N/m}^2$ ”⁵¹. Bombardowanie to proces podgrzewania za pomocą wyładowania plazmowego wszystkich elementów uformowanej rury neonowej, łącznie z elektrodami, przy jednoczesnym obniżaniu ciśnienia wewnątrz (odpompowywaniu). W tym przypadku wykorzystujemy fakt, że wyładowania plazmowe w gazach są nieinduktywne, więc nie ma teoretycznych ograniczeń dla wartości prądów jakie mogą popłynąć w takim wyładowaniu. Pozwala to na stosowanie zewnętrznych, precyzyjnie regulowanych źródeł prądowych w celu rozgrzewania szklanych rur neonowych, przy jednoczesnym wystawieniu ich wewnętrznych powierzchni na działanie bardzo reaktywnych w podwyższonych temperaturach, wolnych rodników tlenowych pochodzących z powietrza atmosferycznego stosowanego w tym procesie. Ich działanie umożliwia pozbycie się zanieczyszczeń organicznych, w szczególności skutecznie usuwany jest tą metodą węgiel, niemożliwy do usunięcia większością innych metod, para wodna powstała w wyniku wdmuchiwania wydychanego powietrza przez formierza oraz ta związana w luminoforze i porach szkła. Poprawnie przeprowadzony proces bombardowania, odpompowywania i napełniania rur neonowych gazami szlachetnymi jest kluczowy dla ich trwałości. Szczegółowe instrukcje na ten temat są dostępne w zagranicznej literaturze branżowej, lecz każda z nich wydaje się być niekompletna. Wiele celnych uwag pozyskałam również od twórców w bezpośrednich rozmowach. Przeanalizowałam dostępne mi materiały i wyselekcjonowałam najistotniejsze z nich, tak aby maksymalnie poprawić procedurę, zapewnić kontrolowane rezultaty i wydłużyć żywotność wytwarzanych produktów. Należy jednak pamiętać, że na ten proces wpływa bardzo dużo zmiennych takich jak: średnica i długość rur, pokrycie luminoforem, jego rodzaj, sposób nakładania, producent elektrod, szczelność i czystość układu próżniowego, efektywność pomp próżniowych i wiele innych. Zestawione poniżej akcje są uniwersalne dla ogólnego zastosowania, jednak stosując je trzeba brać pod uwagę powyższe zmienne.

⁵¹ J. Koprowicz i S. Krakowiak, op. cit., s. 37.

1. Przyłączamy do układu pompowego rurę neonową. Aby przyspieszyć proces można procesować dwie rury jednocześnie, pod warunkiem, że mają one taką samą średnicę i zbliżoną długość. Są to warunki krytyczne, bombardowanie jednocześnie rur o różnych średnicach spowoduje wcześniejsze nagrzanie się tej o mniejszej średnicy.
2. Zamykamy zawór zapowietrzający układ.
3. Powoli otwieramy główny zawór pompy próżniowej (pracują obie pompy dyfuzyjna i mechaniczna). Gwałtowne otwarcie zaworu może spowodować częściowe zerwanie warstwy luminoforu.
4. Podpinamy przewody transformatora bombardującego do elektrod oraz wkładamy fragmenty płyty mikanitu⁵² we wszystkie miejsca, w których zagięcia na rurze są w niedużej odległości od siebie. Ten krok często jest pomijany lub wykonywany pobieżnie, co najczęściej prowadzi do niedogrzenia rury w obawie przed sforsowaniem właściwości dielektrycznych szkła przez punktowe wyładowanie łukowe, potocznie zwane przebicciem. W mojej ocenie warto poświęcić dodatkowy czas, który jest niewspółmiernie krótszy od wykonania nowej rury, na dokładne odizolowanie poszczególnych segmentów. Ustawiamy w odpowiedniej pozycji termometr laserowy lub podłączamy termometr klipsowy najczęściej zaopatrzonego w termoparę typu K.
5. Otwieramy zawór próżniomierza i na odczycie sprawdzamy, czy ciśnienie wewnątrz układu maleje. Na tym etapie jesteśmy w stanie określić czy w układzie występują wyraźne nieszczelności. Jeśli wskazanie próżniomierza zatrzymało się na pewnym poziomie oznacza to, że w układzie jest nieszczelność.
6. Wykrywanie nieszczelności:
 - a) Zamykamy zawór próżniomierza – wyładowanie iskrownika (poroskoku iskrowego) może spowodować uszkodzenie głowicy próżniowej.
 - b) Za pomocą iskrownika sprawdzamy wszystkie miejsca spawania szkła oraz miejsca zmiany kierunku prowadzenia rury.
 - c) Gdy znajdziemy nieszczelność oraz oznaczymy roboczo jej położenie, zamykamy główny zawór pompy.
 - d) Powoli otwieramy zawór zapowietrzający.
 - e) Naprawiamy nieszczelność i powtarzamy wszystkie kroki od początku.
7. Zamykamy zawór próżniomierza i główny zawór pompy.

⁵² Mikanit to materiał wytworzony z miki naturalnej i syntetycznej, charakteryzuje się wysoką odpornością termiczną i dielektryczną.

8. Powoli otwieramy zawór zapowietrzający i napełniamy układ do 3 – 4Tr. Bombardujemy rury prądem o natężeniu 150 – 200mA aż osiągnie temperaturę 110°C. Jeśli w trakcie bombardowania ciśnienie przekroczy 5Tr, przerywamy proces i obniżamy ciśnienie do 3Tr i kontynuujemy bombardowanie. Ten proces określa się wstępnym bombardowaniem i dzięki niemu usuwa się znaczną część wilgoci znajdującej się wewnątrz rur. Baczna uwaga należy zwracać na absolutną rozdzielność obsługiwanie części próżniowej i napięciowej układu, tzn. w trakcie korygowania ciśnienia bombarder pozostaje nieaktywny i na odwrót – podczas bombardowania, należy jedynie obserwować ciśnienie w układzie, a wszelkich korekt dokonywać jedynie po uprzednim zgazowaniu wyładowania. Korzystnie jest powtarzać ten krok do momentu, gdy osiągnane na tym etapie ciśnienie ustabilizuje się i nie będzie więcej wzrastać, bez podniesienia temperatury. Ten zabieg wstępnego wygrzewania pozwala wyeliminować większość wilgoci, której resztki mogą doprowadzać do odbarwiania luminoforów na dalszych, bardziej intensywnych etapach bombardowania, a także ulegać w pewnym stopniu hydrolyzie i ponieważ wodór jest relatywnie trudny do usunięcia z układu (pomimo teoretycznie korzystniejszych ze względu na rozmiar cząsteczki warunków przepływu), prowadzi do przedwczesnej redukcji powłoki emisyjnej, uszkadzając ją.
9. Otwieramy główny zawór pompy i czekamy, aż szkło wystygnie do temperatury około 40°C.
10. Zamykamy główny zawór pompy. Powoli otwieramy zawór zapowietrzający i napełniamy układ do 1,5 – 2Tr.
11. Rozpoczynamy bombardowanie właściwe – ustawiamy wartość prądu na około 200mA i kontynuujemy bombardowanie do osiągnięcia 150°C na powierzchni szkła. Podczas tej części procesu, zacznie dochodzić do uwalniania wody chemicznie związanej z lepiscza (w przypadku rur luminoforowanych), oraz zanieczyszczeń organicznych, a także wzmożonego uwalniania gazów i par zaadsorbowanych w szkło, więc należy obserwować ciśnienie, i jeśli osiągnie ono wartość graniczną 3 – 4Tr - wyłączyć bombarder i przywrócić ciśnienie 2Tr. W przypadku obróbki rur o dużej średnicy lub długości, szczególnie białych, luminoforowanych w systemie Tri-Phosphor, może zachodzić potrzeba wielokrotnej korekty ciśnienia, której należy zawsze dokonywać ostrożnie i płynnie, w celu uniknięcia zerwania luminoforu z zagięć przez desorbujące gazy⁵³.

⁵³ J. Groszkowski, *Technika wysokiej próżni*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1978, s. 115, 116.

12. Przy 150°C upewniamy się, że ciśnienie w układzie oscyluje w pobliżu 2Tr, w razie potrzeby dokonując korekty oraz zwiększamy natężenie prądu do 300mA i tą wartością bombardujemy do temperatury 200°C. (Przy obrabianiu rur o mniejszej średnicy, może nie być konieczne.) UWAGA, BARDZO ISTOTNE! Aby proces bombardowania przebiegał poprawnie, szkło na tym etapie musi rozgrzewać się szybciej niż elektrody. Jeśli elektrody rozgrzeją się do słabo – czerwonego żaru, zanim szkło osiągnie przynajmniej 175°C, dojdzie do przedwczesnego uwolnienia zanieczyszczeń z elektrod oraz ich depozycji na zbyt zimnym szkłe zamiast usunięcia poza układ, co w dalszej kolejności doprowadzi do powstania ciemnych przebarwień i plam na szkłe, pogarszających się w czasie szczególnie w rurach luminoforowanych. Aby temu zjawisku zapobiec, należy na tym etapie prowadzić rozgrzewanie wyładowaniem przerywanym okresowo dla obniżenia obciążenia elektrod.
13. Przy 200°C ponownie korygujemy (w razie potrzeby) ciśnienie oraz zwiększamy prąd do 400mA. Jeśli obrabiamy rury o małej średnicy i w poprzednim kroku nie zwiększaliśmy prądu, to teraz podnosimy go do wartości 250 – 300mA. Elektrody w tym etapie powinny zacząć zmieniać kolor na ciemno – czerwony do częściowo ciemno – pomarańczowego.
14. Utrzymujemy ciśnienie tuż poniżej 3Tr, dochodząc zadany prąd do temperatury 250°C. Około 240 – 245°C dochodzi do karbonizacji lepiszcza i zanieczyszczeń organicznych, więc należy pamiętać, że w tym zakresie możemy obserwować wzmożone przyrosty ciśnienia.
15. Przy 250°C, obniżamy ciśnienie do 1,5 – 2Tr, (co spowoduje „utwardzenie” wyładowania i zauważalne przesunięcie miejsca wydzielania mocy pod postacią ciepła z całości rury, głównie na elektrody) oraz zwiększamy prąd do dziesięcio–piętnastokrotności wartości nominalnej dla danej wielkości i typu elektrody (przykładowo – dla elektrod o nominalnym prądzie pracy na poziomie 30mA, zwiększamy prąd bombardowania do 300 – 450mA, dla elektrod o wartości nominalnej 50mA, zwiększamy prąd bombardowania do 500 – 750mA itd.). Należy przy tym uważać, aby nie przekraczać najwyższych wartości prądu bombardowania, które mogą różnić się w zależności od producenta.
16. Prowadzimy bombardowanie zadany prąd (pilnując ciśnienia w granicach 1,5 – 2Tr) do chwili, gdy ampulki elektrod przybiorą głęboki, pomarańczowy kolor na całej swojej długości – od kołnierza ceramicznego, aż do doprowadnika. Jest niezwykle istotnym, by cała powierzchnia wewnętrznej ampulki osiągnęła temperaturę w zakresie 890 – 1000°C i utrzymała ją przez kilkanaście sekund dla zapewnienia całkowitej konwersji

powłoki emisyjnej⁵⁴. Nie powinno się przyspieszać tego etapu poprzez dalsze zwiększenie prądu, ponieważ zwykle prowadzi to do uszkodzenia zewnętrznej niklowej powłoki ampułki przez ablację, co ogromnie obniża trwałość tak przeciążonych elektrod. Jednocześnie w tym końcowym etapie, ściśle monitorujemy temperaturę szkła – interesujący nas zakres, to minimum 275 do 300°C, jednak nie należy zbyt zbliżyć się do zakresu 310 – 315°C, aby nie ryzykować „zapadnięcia” się szkła w miejscach, gdzie jego grubość uległa zmniejszeniu na skutek gięcia.

17. Po osiągnięciu 275 – 300°C na powierzchni szkła i całkowitym wygrzaniu elektrod, wyłączamy bombarder oraz płynnie przechodzimy do odpompowywania do próżni końcowej, przez otwarcie zaworu głównego stanowiska pompowego.
18. W czasie pompowania, ogrzewamy palnikiem widelkowym rurkę odpompową skupiając się na miejscu, gdzie zostanie wykonane ostateczne odtopienie (omijając jednocześnie zbiorniczek z rtęcią, jeśli ma zastosowanie w przypadku rur luminoforowanych). Ma to na celu usunięcie zanieczyszczeń osadzonych na tym nierozgrzewanym bombardowaniem miejscu, aby nie dopuścić do ich wtórnego wprowadzenia do rury neonowej przez odparowanie w czasie odtapiania lub porwania ich przez wytrząsaną ze zasobnika kroplę rtęci. Ważne, aby ten krok przeprowadzić tuż po zakończeniu bombardowania, kiedy szkło jest jeszcze maksymalnie gorące.
19. Kiedy cały czas odpompowywana rura neonowa ostygnie do temperatury 70 – 80°C, możemy przystąpić do napełniania gazem lub mieszanką gazów właściwą dla zamierzonego efektu. Można również na tym etapie (choć nie jest to niezbędne, jeśli powyższa procedura została przeprowadzona starannie) przepłukać obrabiany system niewielką ilością (ok. 1Tr) docelowego gazu lub helu, jeśli akurat nasz system jest wciąż wyposażony i odpompować ponownie do próżni końcowej przed docelowym napełnieniem.
20. Napełniamy rurę neonową właściwym gazem lub mieszanką i odtapiamy od układu pompowego.

⁵⁴ W finalnej fazie bombardowania następuje proces aktywowania elektrod, czyli redukcji węglanów baru, strontu i wapnia, którymi pokryte są elektrody, najpierw do tlenków, a później do czystych metali. Metale te obniżają pracę wyjścia elektronu, a tym samym zmniejszają katodowy spadek napięcia, zwiększając ponadto emisję termoelektronową. - J. Koprończak i S. Krakowiak, op. cit., s. 43.

UWAGI.

Aby, z zastosowaniem powyższej procedury, uzyskiwać w sposób powtarzalny wysokiej jakości rury neonowe, układ pompowy musi być czysty, szczelny, dobrze zaprojektowany oraz spełniać minimalne wymagania przepustowości, pozwalające na zachowanie następującej dynamiki końcowego pompowania w funkcji temperatury stygnącego szkła, w czasie⁵⁵:

220 – 200°C ~ 5E-3 Tr

185 – 175°C ~ 3E-3 Tr

150 – 140°C ~ 1E-3 Tr

Minimalna wartość próżni (maksymalne ciśnienie końcowe), osiągana wewnątrz odpompowywanej rury neonowej nie może być gorsza niż 1,33E-3 Tr przed napełnianiem. Wartością optymalną i zapewniającą najwyższą trwałość w stosunku do czasu obróbki jest 5E-4 Tr i należy do niej dążyć, jeśli tylko pozwalają na to uwarunkowania konkretnego stanowiska pompowego.

Po osiągnięciu wprawy przez operatora, przeprowadzanie opisanej procedury powinno zajmować nie mniej, niż 5 minut. Nie należy dążyć do zbytniego skrócenia czasu bombardowania, gdyż powolne rozgrzewanie i wytrzymanie systemu w podwyższonej temperaturze stwarza lepsze warunki pompowania, zbliżone do przepływu molekularnego⁵⁶, korzystne z punktu widzenia tzw. szybkości przepływu gazu na drugim końcu przewodu⁵⁷ (okolic „dalszej” elektrody, przeciwnej do odpompowej). Nigdy nie należy testować poziomu próżni końcowej, w czasie finalnego odpompowywania, poprzez próby zainicjowania chwilowego wyładowania plazmowego przy użyciu bombardera. Ta praktyka prowadzi do uszkodzania ampulek elektrod w pobliżu kołnierzy antyablacyjnych, tworząc ogniska materiału o punktowo obniżonej pracy wyjścia, co sprzyja późniejszemu rozwinięciu zespołu zjawisk o charakterze ablacja – gettering – depozycja, działających niezwykle degradowo na gotowy system neonowy.

Producenci elektrod (zapewne) w procesie optymalizacji kosztów produkcji używają tańszych materiałów, które pomimo spełniania ogólnych cech użytkowych generują pewne problemy w trakcie bombardowania. Porównując „zachowanie” podczas bombardowania elektrod wyprodukowanych około 40 lat temu, ze współczesnymi można zauważyć, że przy tych samych parametrach procesowych te drugie nie osiągają pożądanej temperatury transformacji.

⁵⁵ Ibidem, s.72.

⁵⁶ Ibidem, s.93.

⁵⁷ Ibidem, s.89.

Podniesienie natężenia prądu bombardującego nie jest tutaj rozwiązaniem, ponieważ w procesie ewolucji neony uległy miniaturyzacji⁵⁸ i wyższe natężenie może powodować uszkodzenie szkła. Przy napotkaniu trudności w rozgrzewaniu niektórych typów elektrod lub, gdy ze względów np. dostępności i dopasowania elektrod szczególnie do rur o małych średnicach, rozgrzewanie do temperatury konwersji na drodze bombardowania staje się zbyt ryzykowne, możemy posłużyć się urządzeniem do indukcyjnego generowania prądów wirowych w ferromagnetycznych częściach elektrody. W momencie, gdy szkło osiągnie już temperaturę 230 – 270°C pomocne będzie dogrzanie elektrod za pomocą generatora wysokiej częstotliwości. Do tego zastosowania bardzo dobrze sprawdza się podgrzewacz indukcyjny⁵⁹ ze specjalnie dostosowaną cewką miękką owiniętą wokół ferrytowego koncentratora linii pola ze szczeliną powietrzną.



Ilustracja 20. Po lewej stronie podgrzewacz indukcyjny Ideal Inductor 1.5kW. Po prawej stronie specjalnie dostosowana cewka wykonana samodzielnie.

Metodę pompowania piecowego wykorzystuje się do procesowania obiektów neonowych (posiadających dwie elektrody), których forma wykracza poza klasyczny kształt rury, posiada niejednorodną grubość ścianek lub wykonana jest ze szkła borokrzemowego, co umożliwia równomierne rozgrzanie całości za pomocą wyładowania plazmowego, tak aby elektrody nie zostały przegrzane. Tym sposobem odpompowywane są również jednoelektrodowe

⁵⁸ Obecnie większość neonów wykonuje się z rur o średnicy 8, 10 i 12 mm, a ich forma bardzo często jest niezwykle skomplikowana (na 1mb rury wykonanych może być nawet 35 zagięć), w przeszłości neony były wielkoformatowe, używano rur o średnicach do 35 mm, często stosując proste odcinki rur lub z kilkoma zagięciami.

⁵⁹ Przykładowe urządzenie <https://allweld.pl/podgrzewacz-indukcyjny-ideal-inductor-1-5> (dostęp: 27.02.2022)

obiekty plazmowe. Procedura w obu przypadkach prowadzona jest według tych samych zasad, a ciepło potrzebne do rozgrzania przedmiotów dostarczane jest przez piec elektryczny.

1. Wykonujemy spawanie rurki odpompowej systemu neonowego lub obiektu plazmowego do grzebienia rozdzielacza. W przypadku tej metody możemy obrabiać wiele rur neonowych jednocześnie pod warunkiem, że będą miały zbliżoną średnicę oraz długość (zgodnie ze standardową tabelą stosunku długości systemów neonowych do ciśnień napełniania), oraz mają być napełnione tym samym gazem lub mieszanką. Przy pompowaniu obiektów plazmowych tą metodą, nie ma wymagania dobierania zbliżonych objętości, jednak należy liczyć się z uzyskaniem jednego efektu dla każdorazowo obrabianej grupy (co jest korzystne w razie pompowania obiektów seryjnych, bądź grup obiektów stanowiących część większej instalacji). Jeśli chcemy uzyskać różnorodne efekty konieczne będzie napełnianie od najniższych ciśnień i modyfikacja efektów kolejno odtapianych obiektów przez sumowanie ciśnień parcjalnych składników mieszanek. (Pozwala to uniknąć niepotrzebnej utraty gazów procesowych. Ograniczeniem liczby jednocześnie napełnianych obiektów jest tu również zależność minimalnego, efektywnego postąpienia ciśnienia w relacji do oczekiwanego efektu).
2. Uruchamiamy pompę mechaniczną i powoli otwieramy zawór główny zachowując szczególną ostrożność w przypadku obiektów luminoforowanych (szczególnie technikami suchymi). Odczekujemy kilkadziesiąt sekund na wstępne obniżenie ciśnienia i gdy zauważymy, że wolna wilgoć została usunięta (obserwujemy to jako pasaż strefy kondensacji wzdłuż rurki odpompowej), przystępujemy do testu w kierunku mikroporowatych nieszczelności przy użyciu poroskopu iskrowego (generatora Oudin'a) lub odpowiednio zmodyfikowanej cewki Tesli. Po dokładnym omięceniu powierzchni obiektu wyładowaniem testera i upewnieniu się, że jest szczelna, umieszczamy termoelement stanowiska w pobliżu powierzchni szkła (nie dotyczy stanowisk ogrzewanych promieniami podczerwieni) i rozpoczynamy rozgrzewanie pieca.
3. Możliwie łagodnie dochodzimy do temperatury 110°C i utrzymujemy ją przez kilka minut do przegrzania obiektu na wskroś. Na tym etapie usuwana jest wilgoć międzykryształiczna pomiędzy cząstek luminoforu (jeśli został zastosowany) oraz uwięziona w porach szkła. W zależności od wielkości obiektu ten proces może być dość intensywny i pary do odprowadzenia może powstawać na tyle dużo, że korzystnie będzie otworzyć zawór balastu gazowego pompy lub minimalnie rozszczelnić zaworek zapowietrzający linii pompowej. Ułatwi to pompie mechanicznej sprężanie mieszaniny par

i gazów oraz nie dopuści do emulgowania wody z olejem w pompie, co zmniejsza żywotność oleju i prowadzi do konieczności długiego odgazowywania.

4. Po kroku osuszającym możemy rozpocząć dochodzenie do temperatury docelowej - minimum 275°C (optymalnie 300°C) dla wszystkich typów szkieł miękkich i 400°C dla szkła borokrzemowego. Przy odpompowywaniu obiektów luminoforowanych, zawór głowic próżniowych lub manowakuometru powinien być zawsze zamknięty do momentu osiągnięcia 245°C i kilkuminutowego przetrzymania. W tej temperaturze dochodzi bowiem do usuwania wody konstytucyjnej, czyli wbudowanej w związek chemiczny (w tym przypadku jej źródłem są składniki lepiszcza) i wody chemicznie związanej z niektórymi składnikami pomocniczymi luminoforu.
5. Po dojściu do 275°C możemy otworzyć zawór próżniomierza oraz uruchomić pompę dyfuzyjną.
6. Obserwujemy wskazania przyrządów i przy próżni minimum E-2 Tr i 300°C, otwieramy piec oraz aktywujemy powłokę emisyjną elektrody (w przypadku stosowania elektrod neonowych), przy użyciu nagrzewnicy indukcyjnej z cewką spiralną lub ferrytowym koncentratorem pola. Ampułka elektrody musi zostać rozgrzana równomiernie od końca do końca, do momentu osiągnięcia ciemno - pomarańczowego żaru i utrzymana w tym stanie przez kilkanaście sekund. Należy uważać przy tym, aby nie dopuścić do rozgrzania przepustu metal-szkło, ponieważ nagrzewanie indukcyjne jest selektywne i może doprowadzić do powstania w okolicy przepustu wysokiego gradientu temperatur, co może spowodować pęknięcie lub rozszczelnienie przepustu.
7. Natychmiast zamykamy ponownie piec i doprowadzamy do ujednoczenia temperatury ochłodzonego w czasie aktywacji elektrod obiektu, po czym utrzymujemy ją do czasu ustabilizowania ciśnienia.. Następnie kończymy ogrzewanie i prowadzimy odpompowywanie do czasu osiągnięcia próżni docelowej E-4 Tr lub lepszej. Możemy teraz już ochładzać obiekt przy otwartym piecu.
8. Po ochłodzeniu do 55°C możemy przystąpić do napełniania obiektu zamierzonym gazem lub mieszaniną, albo rozpocząć artystyczne komponowanie mieszanki i wprowadzanie korekt ciśnienia in situ, do osiągnięcia satysfakcjonującej charakterystyki wyładowania. Monitorujemy jednocześnie dopasowanie częstotliwości rezonansowej i energii aktywacji mieszaniny, aby nie dopuścić do stworzenia wypełnienia, które będzie przeciążało wybrane źródło zasilania.
9. To również odpowiedni moment do odbicia pieczęci ampułek transportowych, zawierających domieszki halogenowe, jeśli mają zastosowanie. Po skruszeniu kapilar

zamykających delikatnie ogrzewamy palnikiem dodawane związki i rurkę odpompową za strefą ich przejścia, żeby ułatwić transport. Po zakończeniu domieszkowania niezwłocznie odcinamy płomieniem ampułki w celu zatrzymania dalszego uwalniania domieszek do obiektu.

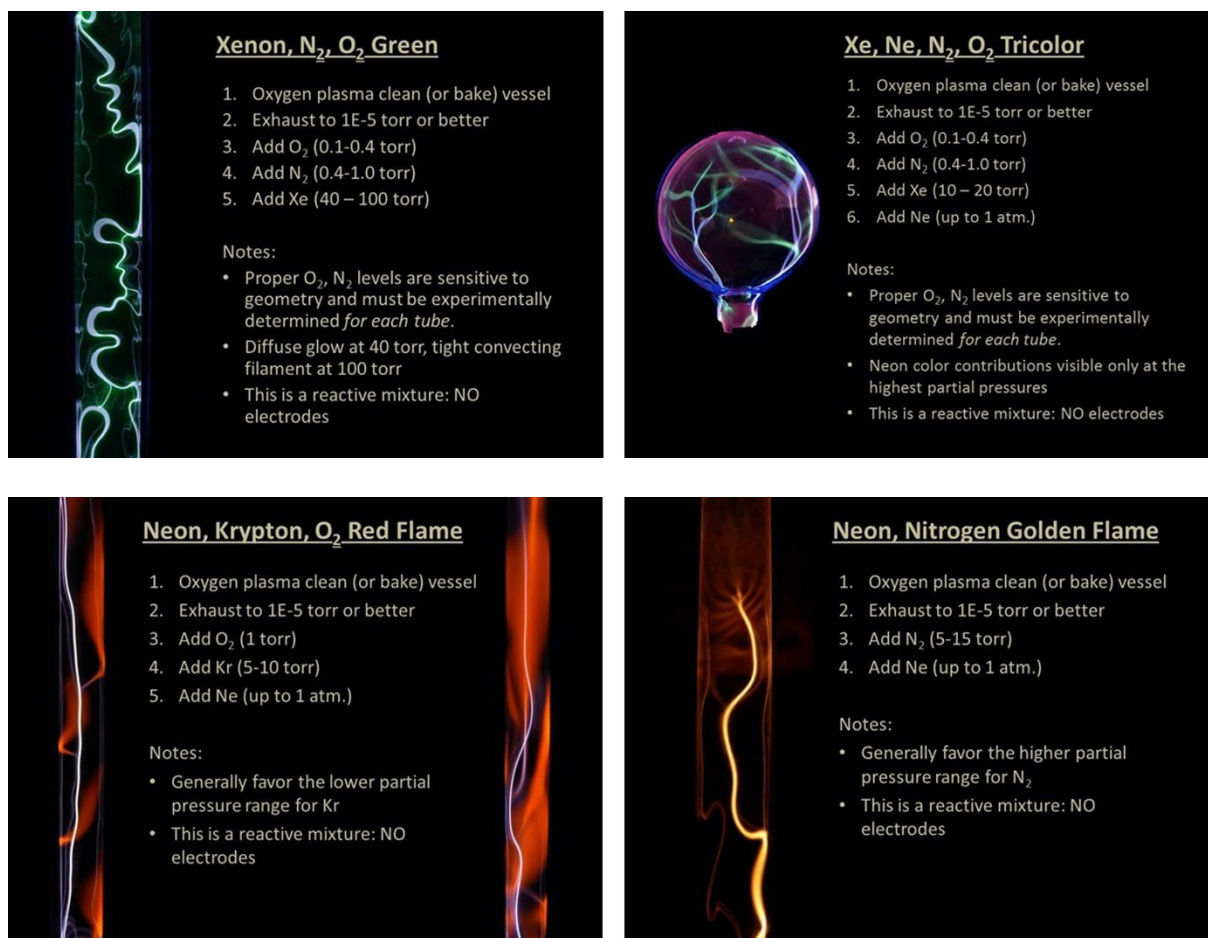
10. Lampę z gotową mieszanką odtapiamy od stanowiska, zachowując jednak przynajmniej kilkucentymetrowy kawałek rurki odpompowej. Ma to na celu umożliwienie ponownego przyłączenia do rozdzielacza w razie, gdyby w trakcie starzenia zaszły duże odchyłki od pożądanego obrazu plazmy.
11. Podłączamy ukończony obiekt do zasilacza o nieco większej mocy od nominalnej i w ciągu kilkugodzinnej próby pod zwiększonym obciążeniem analogicznej do etapu “wyświetlania” rur neonowych, testujemy stabilność wyładowań w mieszance.
12. Jeśli etap starzenia przebiegł pomyślnie, odtapiamy finalnie rurkę odpompową, którą w przypadku lamp z mieszankami unikatowymi warto jest zachować jako archiwalnego “świadka”, gdyż zawiera skład i ciśnienia parcjalne identyczne ze stworzonym obiektem i w razie utraty receptury, umożliwia jej odtworzenie na drodze badania spektroskopowego.

III. 4. Mieszanki gazów – uzyskane efekty.

Zastosowanie rozumienia procesów fizykochemicznych w twórczości artystycznej często jest niedostrzegane, czy wręcz celowo pomijane przy rozpatrywaniu wpływu nauki na zjawiska socjologiczne takie jak sztuka. *Plasma Art* porusza się w przestrzeni podobieństw, różnic i związków pomiędzy artystyczną i naukową kreatywnością oraz myślą. Powiemy, że sztuka to wiedza, a nauka - poszukiwanie wiedzy. Kiedy słuchając muzyki malujemy obraz, w przerwach czytając książkę nie mamy zwykle świadomości, jak bliskie sobie są te dziedziny. Artyście plazmowemu, towarzyszy ona nieprzerwanie, literalnie oddycha on swoim medium, tworzy on odniesienia pomiędzy pozornie niezwiązanymi ze sobą dziedzinami, niby „grę szklanych paciorków”. O ile ilustrowanie nauki przez sztukę, od początku obu dyscyplin wydaje się być naturalne, o tyle w sztuce szkła i plazmy dochodzi do bezpośredniego formowania surowych, fundamentalnych zjawisk, fizycznych nie we wzory i równania a w utwory. Twórca szkła i plazmy używa sztuki do zacierania różnicy pomiędzy umysłem kontemplującym koncepcje światła i masy a takim, który rozważa właściwości światła i cienia. Energie wzbudzenia i jonizacji są mu pulpitem i piórem, ciśnienie i ciepło, to malmedium, widma emisyjne pigmentami a właściwości pól fizycznych - dłutem. Rozumie on jednak pomimo swojej wiedzy tak, jak rozumieli to wielu świata nauki, że wszechświat jest zbyt złożony jedynie dla umysłu. Nie, że jest niepojęty w ogóle ale, że jest niepojęty dla nas i, że najpiękniejsze w sztuce i nauce jest niespodziewane, oraz że najlepszym źródłem niespodziewanego jest połączenie nauki ze sztuką.

Mieszając w szklanych formach gazy szlachetne, operując reduktorami, kontrolerami przepływu i precyzyjnymi zaworami, niby pędzlem i malarską szpachlą, powołujemy do istnienia takie właśnie niespodziewane, bo wiecznozmiennie obrazy. Niewielkie, otoczone szklaną skórą małe światy, wypełnione plazmowym medium, które samo staje się częścią przekazu. Znamy zależności energii wzbudzenia i jonizacji, niby reguły perspektywy, poziomy energetyczne gazów mając za paletę. Choć zamiast reguł wypracowanych przez wielkich mistrzów, towarzyszą nam niezłomne prawa fizyki i pociągnięcia molekularnego pędzla stawiamy celowo, z ostrożnością i rozmysłem, to ukończenie dzieła jest zarazem dopiero jego początkiem, bo jego sercem staje się plazma. Jeśli pravidła na poły alchemicznej procedury napełniania zostaną spełnione właściwie, to rozpoczyna ona swój taniec, niby obdarzony własnym życiem alfabet nieznanego dialektu, którego zgłosek znaczenie częściowo potrafimy tłumaczyć, jednak nie jesteśmy w stanie wymówić. Starożytnymi rytami czekającymi odcyfrowania

i wiadomością, która istniała zanim ją odnaleźliśmy. Symbolami o tyleż nieprzeniknionym, co inherentnym znaczeniu, łączącym widza - odbiorcę z przyczyną wszechświata. Komunikującymi ją w rdzennym, synestetycznie płynnym języku, bliskim matematyce obleczonej w barwy, płynnej geometrii początku wszechrzeczy. Każda jej pętla wstęga tworzy nowy symbol powołany twórczo do istnienia, choć nie będący już niczyją kreacją. Poznajemy go dotykem, wydobywany z hipotetycznego, wyczekującego quasi trwania, starszego niż jakikolwiek obserwator.



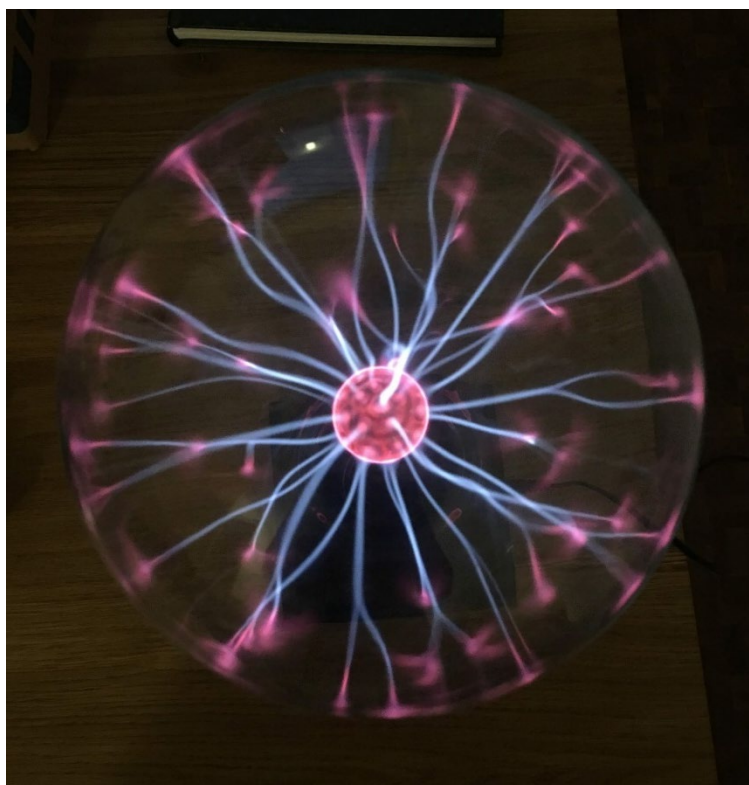
Ilustracja 21. Skład mieszanek gazowych opracowanych przez Carla Willisa. (źródło: prywatne archiwum twórcy)

Powyższe grafiki przedstawiają jedno z nielicznych, zarejestrowanych, gotowych receptur mieszanek plazmowych skomponowanych przez Carla Willisa. Proponuje on jednocześnie metodę przygotowania szklanych form polegającą na wygenerowaniu wewnątrz plazmy tlenu, bogatej w wysoce reaktywne wolne rodniki, w celu usunięcia zanieczyszczeń organicznych. Jest to metoda do pewnego stopnia alternatywna dla obróbki piecowej, jednak możliwa do zastosowania jedynie w przypadku form typu „cauldron” zaopatrzonych w elektrodę indukcyjną lub elektrodę wewnętrzną typ Dewar’a. Ograniczenie to jest spowodowane niszczącym działaniem plazmy tlenu na metaliczne elementy klasycznych elektrod, a w szczególności na

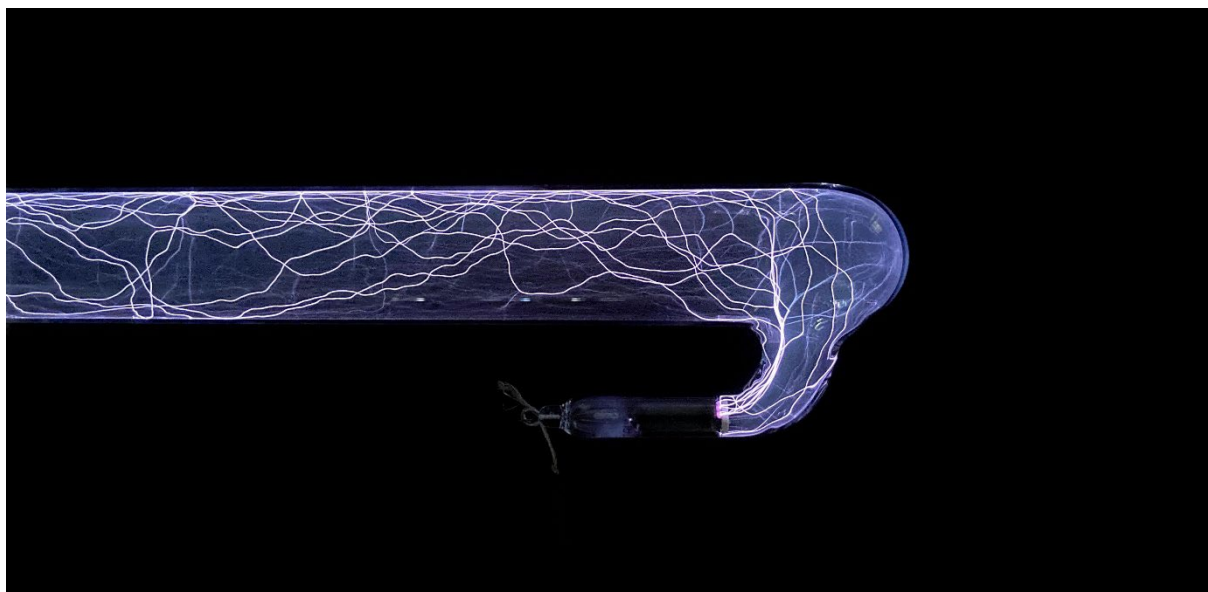
ich powłokę emisyjną. Kolejnym powodem jest użycie tlenu oraz azotu w składzie samych mieszanek, ponieważ w warunkach plazmy, te pierwiastki tworzą in situ tlenki azotu - dość trwałe związki również oddziałujące korozyjnie na materiały elektrod i przepustów. Warto dodać, iż w toku badań nad zestawionymi przez Carla mieszankami, odkryłam, że kompozycja dająca efekt zielony, po modyfikacji ciśnienia całkowitego oraz ciśnienia parcjalego azotu, nie wymaga udziału tlenu dla tworzenia stabilnego w czasie, zielonego wyładowania, przez co stało się możliwe wykorzystywanie jej do komercyjnych obiektów. Przykładem lampy działającej na tej kompozycji jest element „delta” w obiekcie stworzonym na potrzeby marketingowe firmy Air Products.

Ciekawy efekt prezentuje jedna z podstawowych, stabilnych plazmowych mieszanek: układ neon-argon-ksenon. Do ewakuowanej uprzednio przestrzeni, w pierwszej kolejności wprowadzany jest neon, do ciśnienia około 700Tr i lampa jest energetyzowana dopasowanym źródłem zasilania. Wewnątrz na tym etapie zapala się rozrzedzone, wypełniające całą objętość naczynia, czerwono-pomarańczowe wyładowanie. Kolejno domieszkowane jest 85 - 100Tr argonu, co powoduje wystąpienie zgęstków plazmy w formie cienkich, skupionych, biało-niebieskich do biało-różowych „promieni” konkurujących ze sobą o dzieloną powierzchnię na elektrodzie i zachowujących odstępny ze względu na jednoimienny ładunek. Na koniec, dozuje się niewielką ilość ksenonu, uzyskując puszyste, czerwone zgrubienia na końcach kanałów neonowo-argonowej plazmy.

Ten efekt wywołany jest mechanizmami występującymi w płynach, umieszczonych w gradientie potencjału (przypominam - gazy oraz ich mieszaniny są płynami), gdzie bardzo duże cząsteczki ksenonu dążą do utrzymania się przy „powierzchni” strefy zasięgu pola, lub tak daleko, jak umożliwia to szklana powłoka.



Ilustracja 22. Mieszanka neon-argon-ksenon.



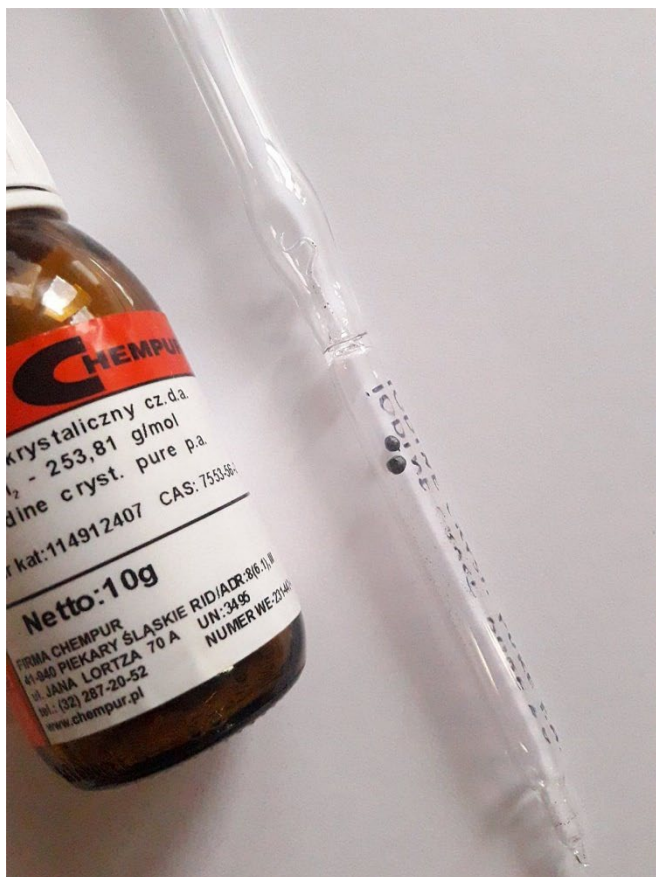
Ilustracja 23. Argon ciśnienie zbliżone do 950 - 970Tr, rura o średnicy 45 mm. Źródło zasilania własnej konstrukcji.

Powyżej sfotografowany jest interesujący przykład wzbudzenia bardzo ruchliwej i dynamicznej lawiny wyładowań w czystym argonie, przy wykorzystaniu wysokich „pików” napięciowych średniej częstotliwości przez zasilenie klasycznego, rozproszeniowego źródła napięciowego poprzez generator impulsów (próbka efektu dla jednego z klientów).

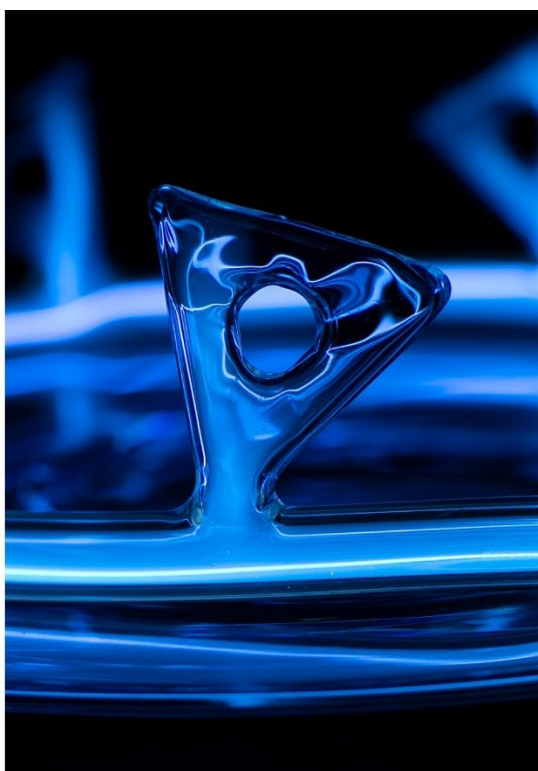
Artysta wizualny Peter Voss-Knude⁶⁰ zaprosił mnie do współpracy przy tworzeniu wystawy pt. „Anti-terror Album”. W efekcie tej współpracy zrealizowałam plazmowy obiekt rzeźbiarski, który pozwolił mi zbadać w jaki sposób pary jodu w argonie wpływają na kolor, kształt oraz responsywność wyładowania. W tym celu opanowałam technikę wykonywania szklanych ampuł transportowych ze zbijaną pieczęcią przeznaczonych do manipulacji pierwiastkami o wysokiej reaktywności w warunkach próżni wysokiej. Zbadałam praktyczne możliwości domieszkowania gazów halogenkami, wykonałam lampę plazmowo – halogenową w której uzyskałam silne, ruchliwe wyładowanie o intensywnej jasno-niebieskiej barwie świecenia (zjawisko *blue shift*⁶¹). Jest to kierunek, który będę eksplorowała dalej ze względu na konieczność kontrolowania efektów towarzyszących pod postacią niskiej wzbudności wymagającej stosowania wyższych częstotliwości lub wyższych mocy zasilania. Stosowanie tego typu domieszkowania przynosi interesujące efekty przy zastosowaniu tańszych i bardziej rozpowszechnionych gazów takich jak azot i argon.

⁶⁰ <http://voss-knude.com/> (dostęp 2.03.2022)

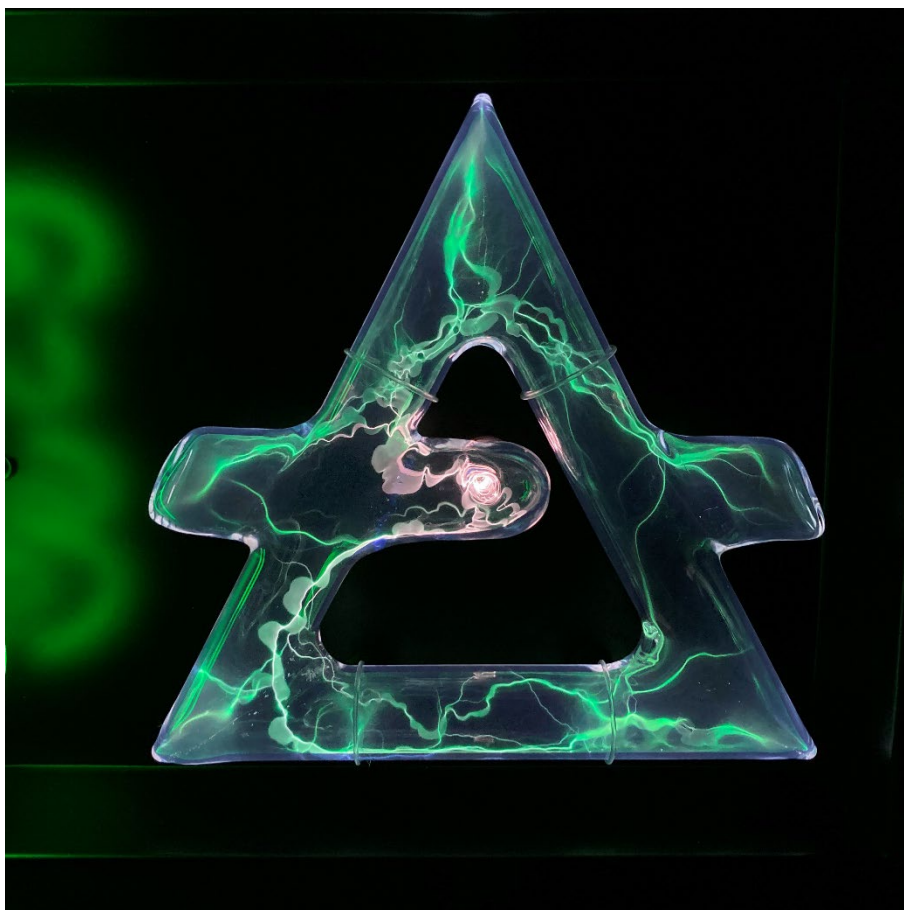
⁶¹ Zjawisko *blue shift* - charakterystyczne przesunięcie widma w kierunku niebieskim, w wyniku wytwarzania in statu nascendi chwilowych dimerów jodu z argonem. J.A. Beswick, N. Halberstadt, K.C. Janda, *Structure and dynamics of noble gas-halogen and noble gas ionic clusters: When theory meets experiment*, w: *Chemical Physics* 399, 2012.



Ilustracja 24. Po lewej stronie jod krystaliczny w szklanej ampule transportowej. Po prawej stronie zbliżenie na zbijaną pieczęć.



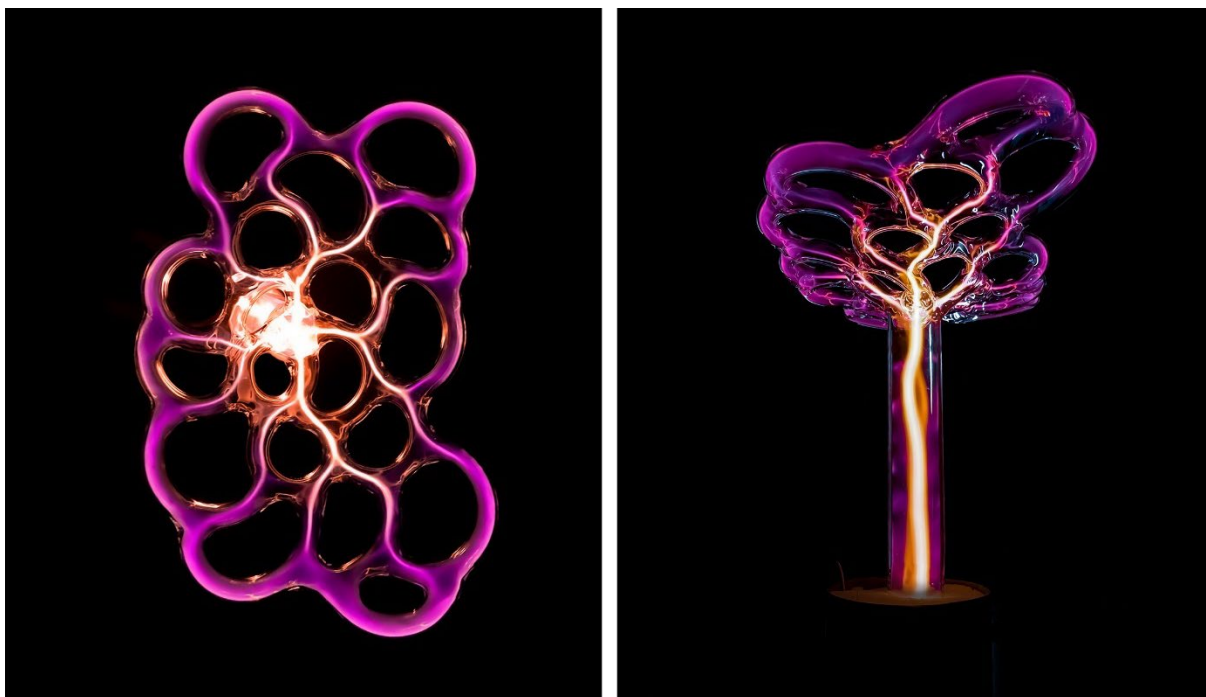
Ilustracja 25. Fragmenty rzeźby wykonanej we współpracy z Peterem Voss-Knude. Efekt wylądowania argonu domieszkowanego parami jodu.



Ilustracja 26. „Delta” interpretacja logo firmy Air Products.

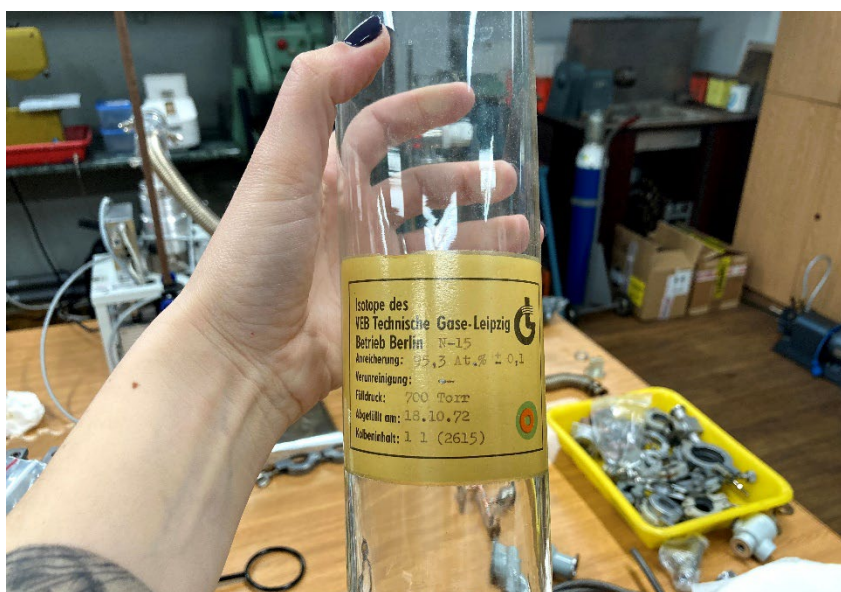
Obiekt „delta” będący częścią logo firmy Air Products, stworzony na potrzeby działu marketingu tej firmy. Zawiera mieszaninę azotu z ksenonem o rozkładzie ciśnień parcyjnych $1,33E-0$ N_2 oraz Xe, do $1,44E-0$, dającą dobrze uformowane biało-zielone, szybkie i dynamiczne wyładowania - efekt pożądaný przez zamawiającego ze względu na jego identyfikację wizualną. Kompozycja ta daje stabilne, powtarzalne rezultaty i pozwala na wprowadzanie zmian zarówno dynamiki, jak i objętości wyładowań przez regulację ciśnienia całkowitego i ciśnienia parcyjnego ksenonu.

Szklana powłoka obiektu „*You can touch me if you want*”, pochodzi z cyklu lamp będących częścią niniejszej pracy doktorskiej, natomiast mieszanka gazowa powstała jako unikatowa, na potrzeby nagrania wystąpienia na międzynarodowej konferencji *Glass Art Society 2021*. Mieszanina została skomponowana na bazie trzech gazów szlachetnych oraz stabilnego izotopu azotu - ^{15}N . „Podbudowa” na układzie neon-argon-ksenon jest chętnie stosowaną i stabilną mieszanką klasyczną, jednak warto tu zwrócić uwagę na ostatnią domieszkę. Zastosowałam bowiem stabilny izotop azotu - azot 15, pochodzący ze zbiorów Pracowni Szklania Laboratorium Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN. Jest to gaz o niezwykle



Ilustracja 27. „You can touch me if you want”, 2021.

małym rozpowszechnieniu w stosunku do „normalnego” azotu 14. Zawierający go szklany cylinder został zapieczętowany w 1972 r. Jego podłączenie do układu miało poza znaczeniem praktycznym, charakter podobny do otwarcia butelki wybornego szampana z okazji uczestnictwa w tym wydarzeniu. Ta odmiana pierwiastka posiada najmniejszy promień czynny ze wszystkich izotopów azotu, więc stwarza szereg trudności ze wzbudzeniem, ponieważ podwyższa energię jonizacji kompozycji, jednak jej cząstkowy (połówkowy) spin wywołuje przesunięcie spektralne, pozwalające uzyskać puszystą peryferyjną warstwę plazmy o niepowtarzalnym, różowo-fioletowym zabarwieniu.



Ilustracja 28. Azot 15.

III. 5. Źródła zasilania.

Źródła zasilania tradycyjnych rur neonowych są dobrze znane i powszechnie dostępne, w Europie głównymi producentami transformatorów wysokiego napięcia są włoskie firmy *FART*⁶² i *Brollo Siet*⁶³. Oprócz transformatorów stosowane są także elektroniczne zasilacze wysokiego napięcia, na polskim rynku najpopularniejsze są zasilacze chińskiej marki *CoolNeon* dystrybuowane przez firmy *AMC System*⁶⁴ i *Neon Service*⁶⁵, dostępne są również zasilacze niemieckiego producenta *Hansen*⁶⁶, a nowością stanowią zasilacze wspomnianej już wcześniej firmy *FART*. Urządzenia zasilające do obiektów plazmowych są produkowane tylko w Stanach Zjednoczonych, a ich wybór jest bardzo ograniczony, poniżej opisuję każde z nich określając wady i zalety oraz przedstawiam moje rozwiązanie.

T2 L7020 ~8kV/10mA, produkcji Tech22⁶⁷, jest wysokonapięciowym modułem zbudowanym ze stałej częstotliwości pięćdziesięciokilohercowego inwertera, napędzającego ferrytowy transformator step-up o bardzo dużej przekładni. Nadaje się on do zasilania niewielkich objętości gazowych, lecz stała częstotliwość powoduje ograniczenie rozpiętości uzyskiwanych efektów, spore straty mocy, a wbudowany sensor nasycenia rdzenia wymusza cykliczną charakterystykę pracy urządzenia.

Information Unlimited PVM500⁶⁸ – To mocne i elastyczne źródło wysokiego napięcia (do 30kV), wysokiej częstotliwości, oferujące dużą, regulowaną moc wyjściową w przedziale 10-300W, a także regulację częstotliwości pomiędzy 20 a 65kHz, zbudowane wokół ferrytowego transformatora wysokiej częstotliwości i układu PWM (modulacji szerokości impulsów). Źródło mogące zasilać zarówno konwencjonalne, rezystywne obciążenia, wyposażone w przepusty metal-szkło i wewnętrzne elektrody, jak lampy zimnokatodowe i jednoelektrodowe rzeźby plazmowe. Urządzenie to posiada możliwość zasilania złożonych, reaktywnych (rezonujących) obciążeń, ponieważ pozwala na manualne dostrajanie do zewnętrznych pojemności elektrycznych, w szerokim zakresie od 1pf do około 200uf. Zasilacz pozbawiony tej funkcji musiałby dostarczać niezwykle wysokie napięcie, co byłoby niebezpieczne i niepraktyczne.

⁶² <https://www.fart-neon.com/en/catalogs/products/neon-transformers/resinblock-pe/> (dostęp: 11.02.2022)

⁶³ http://www.brollosiet.com/home_eng.php (dostęp: 11.02.2022)

⁶⁴ <https://www.amcsystem.pl/zasilacze-amc-cool/> (dostęp: 11.02.2022)

⁶⁵ <http://neon-service.pl/> (dostęp: 11.02.2022)

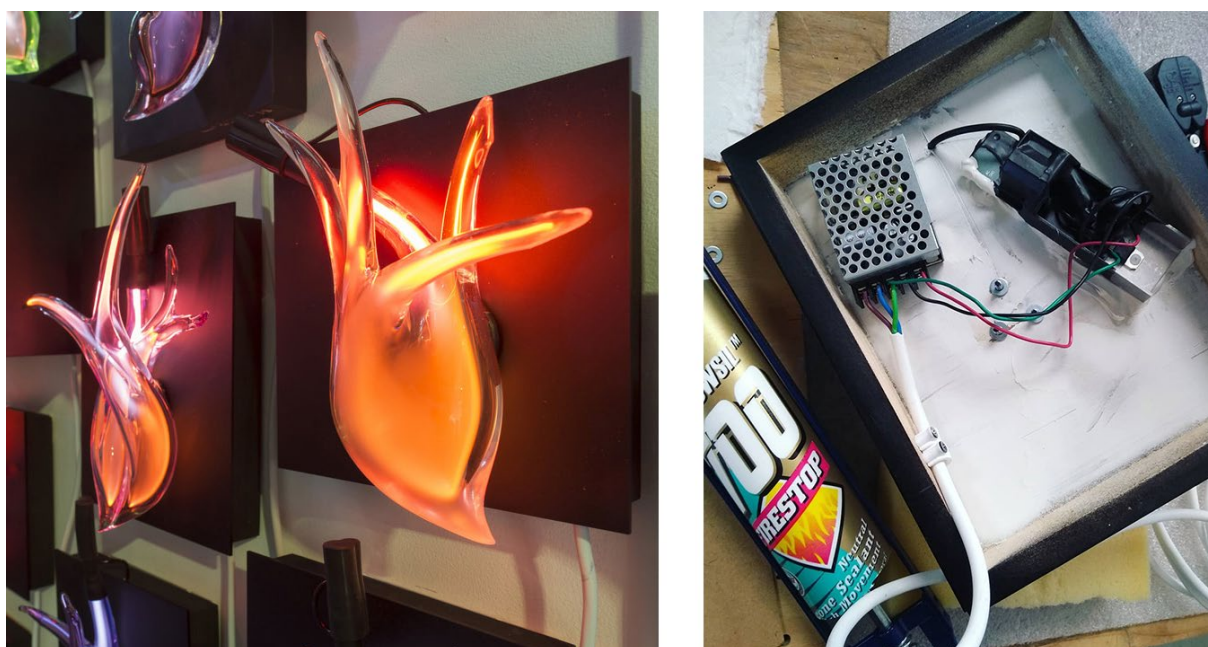
⁶⁶ <https://www.hansen-led.com/neon-products/neon-converters> (dostęp: 11.02.2022)

⁶⁷ <http://www.t2-neonpower.com/> (dostęp: 11.02.2022)

⁶⁸ <https://www.amazing1.com/products/1-40kv-20-70khz-10-300w-adjustable-power-supply-50pfd-loads.html> (dostęp: 11.02.2022)

Te cechy oraz wbudowany wskaźnik dostrojenia, czynią z urządzenia doskonałe narzędzie w mojej praktyce warsztatowej, umożliwiając precyzyjne określanie mocy koniecznej do zasilania moich obiektów plazmowych, jak i wartości ich koniecznej do wysterowania pojemności elektrycznej. Jednak duże rozmiary i wysoki koszt, sprawiają, że ten zasilacz nie nadawał się do zastosowania w produktach.

MINIMAX70⁶⁹ (NEON21) jest kolejnym dostępnym na rynku zasilaczem tego samego producenta, który brałam podczas testów pod uwagę. Jest to interesujące poprzez swoją kompaktowość urządzenie, również bazujące na rdzeniu ferrytowym i sterowane układem zbliżonym konstrukcyjnie do mostka „H”. Jednak oferowane przez nie napięcie 7kV przy prądzie rzędu 10mA, niestety predysponuje je ostatecznie jedynie do niewielkich prac o objętości około 100-120 cm³ mieszanki gazów.



Ilustracja 29. Obiekt zasilany MINIMAX70 (źródło: www.curtisglassart.com i prywatne archiwum Harriet Schwarzrock)

PVM12⁷⁰, to następne rozwiązanie firmy Information Unlimited, które testowałam. Jest źródłem napięciowym oferującym automatyczne dostosowywanie napięcia od 1 do 20kV oraz możliwość manualnego strojenia częstotliwości do pierwszej (i potencjalnie kolejnych) częstotliwości harmonicznej, podobnie jak w wyżej opisanych zasilaczach, poprzez chętnie stosowaną przez tego producenta koncepcję modulacji szerokości impulsów w zakresie 20-50kHz. Urządzenie jest w stanie dostarczać prąd zwarcia rzędu 20mA, co w praktyce

⁶⁹ <https://www.amazing1.com/products/plasma-power-generator-7kv-10ma.html> (dostęp: 11.02.2022)

⁷⁰ <https://www.amazing1.com/products/1-20kv-20-50khz-30w-adjustable-power-supply.html> (dostęp: 11.02.2022)

wystarcza do napędzenia rzeźby plazmowej o pojemności gazowej w granicach 2360cm^3 – wartości wystarczającej dla rozmiarów opracowywanych przez mnie lamp. Takie zestawienie parametrów sprawia, że chętnie wykorzystuję ten model zasilacza w rzeźbach plazmowych oraz rozważałam użycie go w wersji komercyjnej moich szklanych obiektów. Niestety wysoki koszt jednostkowy urządzenia, dający się usprawiedliwić w pracach unikatowych, okazał się przeszkodą we wdrożeniu do produkcji. Ponadto wszystkie opisane zasilacze dostępne są tylko na rynku amerykańskim, a to generuje dodatkowe problemy długiego czasu oczekiwania, niepewności dostaw, kłopotów w realizacji możliwych świadczeń serwisowych, kosztów manipulacyjnych oraz opłat celnych, jeszcze bardziej podnosząca barierę ekonomiczną. Trudności sprawia również dość archaiczny layout i specyficzna maniera w sposobie montażu produktów firmy Information Unlimited które, chociaż spełniają swoją funkcję, to mogą być odbierane jako niestaranne, przysparzając kłopotów związanych z zagadnieniami normalizacji elektrycznej i certyfikacji.

Po przetestowaniu dostępnych, gotowych opcji z uwzględnieniem ich możliwości technicznych, jak również uwarunkowań logistyczno – rynkowych, postanowiłam potraktować problem zasilania odrębnie i we współpracy ze wspomnianym wcześniej specjalistą ds. impulsowych obwodów przetwarzania mocy Dawidem Marczewskim zaprojektowaliśmy zasilacz wysokonapięciowy, który został oparty o półprzewodnikową cewkę Tesli (architektury SSTC⁷¹). Rozwiązanie to pozwala uzyskać znacznie wyższą niezawodność wykorzystując tani i prosty w konstrukcji transformator powietrzny. Elektronika zasilacza została oparta o nowoczesne tranzystory na azotku galu, co pozwala na osiągnięcie wysokiej częstotliwości pracy

⁷¹ „Solid State Tesla Coil - półprzewodnikowa cewka Tesli. Zbudowana w oparciu o sprzężenie zwrotne w postaci anteny lub przekładnika prądowego, synchronizujące pracę układu sterującego tak, aby uzyskać rezonans w obwodzie. Powstaje sprzężenie zwrotne między obwodem wtórnym (rura + toroid), a pierwotnym. Idea SSTC jest nieco inna niż klasycznej cewki SGTC. Nie ma tam iskrownika, generację drgań uzyskuje się za pomocą sprzężenia zwrotnego. Cewki SSTC umożliwiają modulowanie wyładowań, przy użyciu dodatkowego generatora zwanego interrupterem (przerywaczem), będącym najczęściej prostym generatorem o zmiennym wypełnieniu impulsów – PWM, który okresowo przerywa obwód pierwotny – generator ten wspomaga też wzbudzenie samej cewki. Jego rola jest w pewnym sensie zbliżona do iskrownika. Interrupter umożliwia regulację częstotliwości oraz stosunku „włączenia” do „wyłączenia” całego obwodu – co pozwala uzyskać nawet pewne efekty akustyczne. SSTC pozwala na realizację MTC – Musical Tesla Coil – w tym przypadku zamiast interruptera stosuje się układ modulatora, w którym sygnałem modulującym jest sygnał audio. Trudność w realizacji tych cewek stanowi sposób wykonania odpowiedniego sprzężenia zwrotnego, koniecznego do zapewnienia pracy generatora sterującego w częstotliwości rezonansowej obwodu, pomimo zmieniających się warunków otoczenia. Realizuje się je najczęściej w postaci anteny lub odpowiedniego przekładnika prądowego, wraz z układami dopasowującymi. Przy braku takiego sprzężenia cewka ma tendencję do rozstrajania się, a to może powodować bardzo duże obciążenia stopni sterujących, często prowadzące do zniszczenia tranzystorów MOSFET i/lub obwodów sterujących. W cewkach tych należy też pamiętać o odpowiednich układach sterujących bramkami tranzystorów MOSFET (szczególnie ich pojemnościami przy przełączaniu), które wymagają odpowiedniego prądu sterującego. Stosuje się scalone sterowniki bramek, albo transformatory sterujące bramką GDT (gate driver transformer) lub też oba.” za https://pl.wikipedia.org/wiki/Transformator_Tesli (dostęp: 12.02.2022)

oraz bardzo wysokiej sprawności energetycznej sięgającej 95%. Wysoka sprawność oraz częstotliwość pracy pozwalają również na znaczną miniaturyzację zarówno układu mocy, jak i transformatora powietrznego. Tranzystory sterowane są poprzez sprzężenie zwrotne zapewniające im optymalne warunki pracy mimo zmiennego obciążenia, jakim jest plazmowa lampa wyładowcza, której pojemność fluktuuje w zależności od „rozmiaru” wyzwolonej w danym odcinku czasu, kaskady jonowej. Duża sprawność, staranny layout, nowatorski pomysł i bardzo kompaktowe wymiary płytek, tani i prosty w produkcji transformator, a także dobór podzespołów oparty na lokalnej dostępności, równoważą relatywnie wysoki koszt tranzystorów GaN. Cały projekt zasilacza skupiony jest na ideach „produkowalności” i niezawodności tak, by moje plazmowe lampy – rzeźby dorównywały trwałością i ponadczasowością rzeźbie klasycznej.

ROZDZIAŁ IV. Dotykanie światła.

VI. 1. Haptyczne aspekty światła.

„Widzi czujący mój wzrok, czuje widząca ma dłoń.”

Johann Wolfgang von Goethe⁷²

Pojęcie haptyczności bardzo szeroko analizuje historyczka i krytyczka sztuki Marta Smolińska w swojej książce *Haptyczność poszerzona: zmysł dotyku w sztuce polskiej drugiej połowy XX i początku XXI wieku*. Ja jednak chciałabym odnieść się do pierwotnego znaczenia tego pojęcia, które pochodzi od greckiego słowa *haptō* (ἅπτω) i oznacza zarówno dotyk w sensie dosłownym i dotyk zapośredniczony czy rozumiany metaforycznie⁷³. Barbara Baert wyjaśnia etymologię tego wyrazu jako określającego ogólnie dotykanie, a także zbliżanie się, bycie blisko czy dotykanie emocjonalne⁷⁴. Amerykański psycholog James J. Gibson w książce *The Senses Considered as Perceptual System* pisze:

„Wrażliwość jednostki na świat przylegający do jej ciała, uaktywniająca się w trakcie posługiwania się ciałem, będzie nazywana przez nas systemem haptycznym. Określenie haptyczny pochodzi z Greckiego i oznacza ‘możliwy do chwycenia’. [System haptyczny] operuje wówczas, gdy człowiek bądź zwierzę odczuwa środowisko swoim ciałem bądź za sprawą jego koniuszków. Nie chodzi tu tylko o odczuwanie nacisku na skórę. Nie chodzi tu nawet o sumę zmysłu rejestrującego nacisk na skórę oraz zmysłu kinestetycznego. System haptyczny jest aparatem, który zapewnia jednostce zarówno informacje o środowisku, jak i o jej ciele. Jednostka odczuwa zarówno to w jakiej relacji znajduje obiekt w stosunku do jej ciała, jak i to w jakiej relacji znajduje się jej ciało w stosunku do obiektu. [System haptyczny] to taki system percepcyjny, za sprawą którego zwierzęta i ludzie pozostają – dosłownie – w kontakcie (in touch) ze środowiskiem”⁷⁵.

⁷² J.W. Goethe, *Elegia V*, w: *Elegie rzymskie*, przeł. L. Staff, Warszawa: PIW, 1980, s. 18.

⁷³ M. Smolińska, *Haptyczność poszerzona: zmysł dotyku w sztuce polskiej drugiej połowy XX i początku XXI wieku*, TAIWPN Universitas, Kraków, 2020, s. 19.

⁷⁴ B. Baert, ‘An Odour. A Taste. A Touch. Impossible to Describe’: Noli me tangere and the Senses, w: *Religion and the Senses in Early Modern Europe*, ed. by W. de Boer, C. Göttler, Leiden 2012, s. 113. [cytuję za: M. Smolińska, *op. cit.*, s. 19.]

⁷⁵ James J. Gibson, *The Senses Considered as Perceptual System*, Houghton Mifflin, Boston 1966, s. 97 i nast. [cytuję za: M. Podgórski, *Ucieczka od wizualności i jej społeczne konsekwencje. Fenomen estetyki haptycznej*, s. 22. <https://repozytorium.amu.edu.pl/handle/10593/1437> dostęp: 14.01.2022]

O tym, dlaczego wzrok jest jak dotyk pisze Richard Masland w książce *Czego oczy nie widzą. Jak wzrok kształtuje nasze myśli*:

„[...] funkcjonowanie układów zmysłu dotyku i wzroku jest podobne, a wszystkie neurony zasadniczo działają tak samo. W przypadku obu tych zmysłów zadanie mózgu sprowadza się na zlokalizowaniu bodźców padającym na warstwę komórek czuciowych - na skórze lub na siatkówce”⁷⁶.

Światło wydaje się być niemożliwym do pochwycenia, a jego materialność postrzegana jest jako coś niedostępnego, nieoczywistego i ulotnego, istnieją jednak obszary, gdzie można jej doświadczyć.

Architekt James Carpenter tak mówi o świetle: „Istnieje taktylności czegoś, co jest niematerialne, co uważam za nadzwyczajną rzecz. W wypadku światła mamy do czynienia z czystą falą elektromagnetyczną, która wpada przez siatkówkę i która mimo to jest dotykalna. Jednak to nie taktylność w fundamentalny sposób włącza coś, co można podnieść lub schwytać. [...] Oko ma w zwyczaju interpretować światło i czynić z niego rodzaj substancji, której w rzeczywistości tam nie ma”⁷⁷. Dla Carpentera taktylności nie jest cechą samego światła, jest to bardziej naddatek interpretacyjny, jaki pojawia się po stronie interpretującego oka odbiorcy. W tym kontekście oko traktowane jest znacznie szerzej – nie tylko jako instrument wzorku – gałkę oczną, a jako umysł doświadczający przy pomocy oka i dzięki temu powstaje pewien rodzaj substancji, która ma możliwość bycia odbieraną jako coś dotykalnego, możliwego do pochwycenia. Jak wyjaśnia Carpenter: „Ludzie podchodzą do światła w odniesieniu do architektury. Światło jest środkiem, za pomocą którego ujawnia się architektura, a architektura jest zasadniczo definiowana przez sposób, w jaki światło wnika w przestrzeń. Ja myślę w odwrotnym kierunku, gdzie światło samo w sobie jest tym, co kształtuje architekturę. Architektura służy raczej światłu niż na odwrot”⁷⁸.

⁷⁶ R. Masland, *Czego oczy nie widzą. Jak wzrok kształtuje nasze myśli?*, Wydawnictwo Poznańskie, 2020, s.30.

⁷⁷ *Interview with James Carpenter*, ed. L. Mason, S. Poole, P. Sarpaneva, Blacksburg: Architecture Edition, 2000, s. 5 [cytuję za J. Pallasmaa, *Wyobraźnia materialna i głos materii II*, <https://autoportret.pl/artykuly/materia-haptycznosc-i-czas-ii/2/>, dostęp: 14.01.2022]

⁷⁸ T. Schielke, *Light Matters: Glass Beyond Transparency with James Carpenter*, <https://www.arch-daily.com/454892/light-matters-glass-beyond-transparency-with-james-carpenter>, (dostęp: 14.01.2022), oryginał: “People approach light in relationship to architecture. It is that the light is the means by which the architecture is revealed and the architecture is basically defined by the way the light enters the space. I tend to think actually from the opposite direction where the light itself is what informs the architecture. The architecture is in service of light rather than the other way around.”



Ilustracja 30. Instalacja Dichroic Light Field na budynku Millennium Tower przy 160 Columbus Avenue w Nowym Jorku (źródło: www.jcdainc.com/projects/dichroic-light-field2)

Fiński architekt Juhani Pallasmaa, którego publikacje stanowią próbę holistycznego podejścia do problemu relacji człowiek i jego otoczenie oraz roli ludzkiego ciała i zmysłów w tym procesie, tak pisze: „Światło jest zwykle doświadczalnie i emocjonalnie nieobecne, dopóki nie zostanie zawarte w przestrzeni, skonkretyzowane przez materię, którą oświetla, bądź też zamienione w substancję lub zabarwione powietrze, kiedy przepływa przez pośredniczącą materię taką jak mgła, para, dym, deszcz, śnieg lub szron”⁷⁹. To, co jest ważne tutaj, to ta fundamentalna, pierwotna nieobecność światła do momentu, kiedy nie zostanie wcielone w bardzo eteryczne byty, które w dużej mierze są amorficzne, nie mają jasnych granic, są ulotne, ewaporujące, rozmywające się w przestrzeni, ale jednak są jakimiś ciałami – czymś takim co mediuje pomiędzy taktylnością ciał stałych a całkowitym brakiem dotykalności w świecie gazów. (Złudne wrażenie może przywołać para wodna, która *de facto* nie jest gazem, jest cieczą). Poruszamy się tutaj po rozmaitych niejednoznacznych stanach przejściowych, które jednak umożliwiają doświadczenie światła. J. Pallasmaa dalej: „Zabarwione okna kaplicy Henriego Matisse’a w Vence oraz liczne świetlne realizacje Jamesa Turrella zamieniają światło

⁷⁹ J. Pallasmaa, *Wyobraźnia materialna i głos materii II*, przeł. M. Choptiany, w: „Autoportret” nr 1[48] 2015 <https://autoportret.pl/artykuly/materia-haptycznosc-i-czas-ii/2/>, (dostęp: 14.01.2022)

w zabarwione powietrze, które wywołuje delikatne wrażenia kontaktu skóry i daje się odczuć jako bycie zanurzonym w przezroczystej substancji”⁸⁰. Wejście w taką architekturę, która ze światła czyni swoją substancję to imersja, zanurzenie, doznanie haptyczne, doznanie dotykowe, ale specyficzne ze względu na to, że jest arcysubtelne, arcydelikatne i jednocześnie obejmuje całe ciało, całą naszą powierzchnię doświadczającą.

James Turrell jest wirtuozem w użyciu światła (zarówno sztucznego jak i naturalnego) w sztuce. Jego realizacje programowo mają być haptyczne. Budowane przez nie doświadczenie spirytualne czy duchowe ma być jednocześnie doświadczeniem zmysłowym. Artysta bada nie tylko zjawisko fizyczne odbijania fotonów, dogłębnie analizuje też przestrzeń i ludzką percepcję. W realizacjach *Wedgework* - cyklu podejmowanym wielokrotnie od roku 1974 - sedno pracy stanowi mistrzowskie zrozumienie fizyki światła. Schemat działania całego cyklu jest podobny: proste sześciennie pomieszczenie zostaje pozornie rozrzeźbione przez iluminację. Światło fluorescencyjne połączone z farbą odbłaskową tworzy efekt przestrzenny, w którym galeria wydaje się rozszerzać poza logikę swojej architektury, otwierać przed widzami korytaryze, w których głębię, zdaje się, można wkroczyć.⁸¹ Na przestrzeni lat jego twórczość eksploruje zagadnienia materialności budowanej przy pomocy niematerialnego światła. Za przykład niech posłuży praca z serii *Constellation - Aquarius*. Okrągła szklana powierzchnia, z ukrytym systemem świateł LED umieszczona w specjalnie zaprojektowanej komorze. Odbiorca zatrzymujący się przy tej realizacji ogląda subtelne, hipnotyczne zmiany barwne na szklanej tafli, budujące nie tylko głębię na niemal płaskiej przestrzeni, ale i poczucie nieskończoności poprzez specjalnie zestawiony algorytm, który miękko operuje przejściami kolorystycznymi w niedostrzegalnej dla odbiorcy pętli.

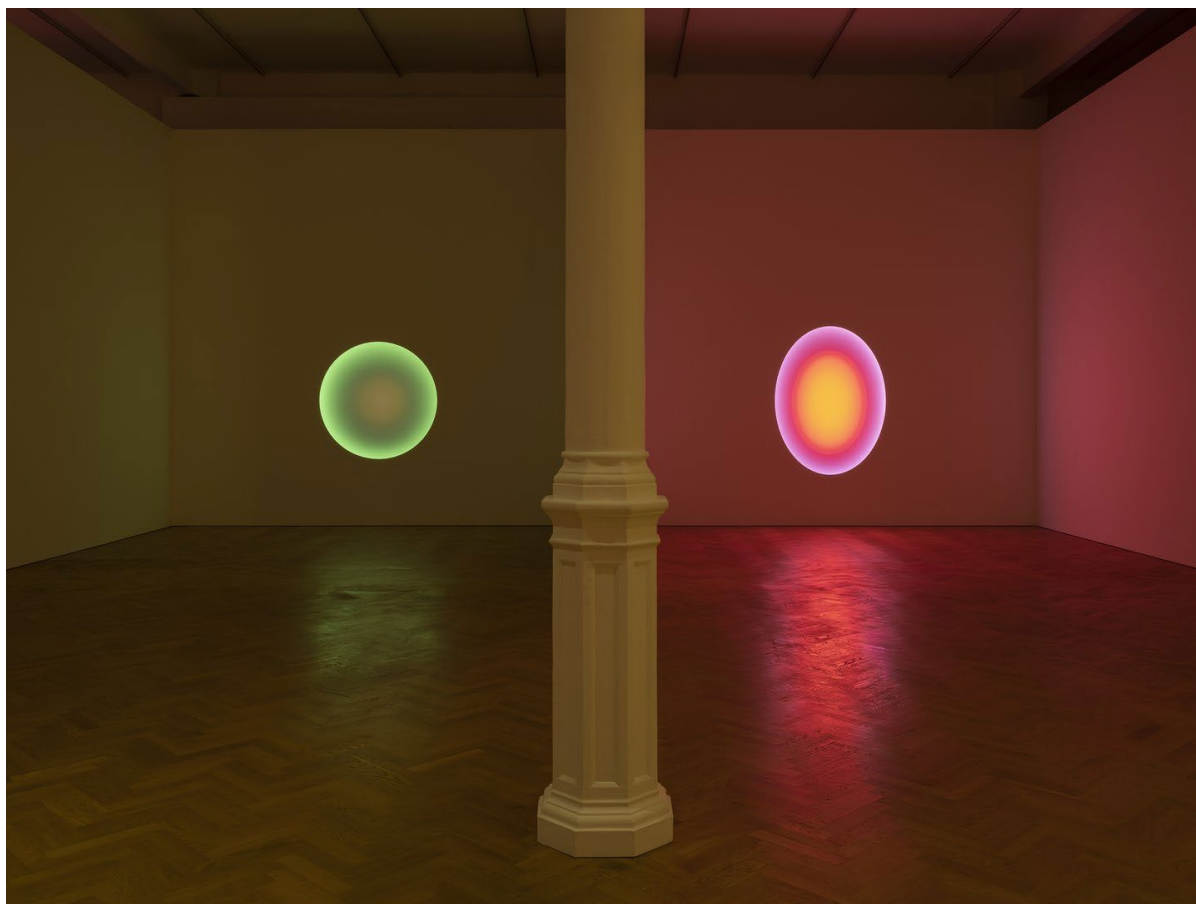
Frank Popper w książce *From Technological to Virtual Art* zauważa, że Turrell zmusza nas do dostrzeżenia światła, ponieważ w jego pracach nie ma obiektów, na które możemy patrzeć. Na czysto percepcyjnym poziomie światło jako autonomiczne zjawisko staje się przedmiotem jego prac. Próbuje zawrzeć czyste światło i zwrócić na nie uwagę widza, Turrell nie tylko prosi nas o rozważenie elementów percepcji, ale zaprasza nas do przeżycia cudu naturalnego zjawiska: światła samego w sobie⁸². James Turrell mówi o „rzeczowości światła”: „Zasadniczo tworzę

⁸⁰ Ibidem.

⁸¹ Opis na podstawie filmu: <https://www.youtube.com/watch?v=QWekIcZaKns> (dostęp: 14.01.2022)

⁸² F. Popper, *From Technological to Virtual Art*, Cambridge-London 2007, s. 59 (oryginał: [...] Turrell forces us to see light because in his work there is no object to look at. At purely perceptual level, light as an independent phenomenon is the object in his work. In attempting to contain pure light and draw the viewer's attention to it, Turrell not only asks us to consider the elements of perception but invite us to experience the wonder of a natural phenomenon: light in and of itself.)

przestrzenie, które pochwytyują światło i zatrzymują je, aby mogło być odczuwane fizycznie. [...] Jest to [...] urzeczywistnienie stwierdzenia, że oczy dotykają, czują. I kiedy oczy są otwarte i pozwalasz sobie na to doznanie, dotyk wychodzi z oczu niczym uczucie”⁸³. „Rzecz jasna nie jesteśmy stworzeni dla tego rodzaju światła, jesteśmy stworzeni dla półmroku. Oznacza to, że w takim właśnie natężeniu oświetlenia źrenice zaczynają się rozszerzać. Kiedy się to dzieje, zaczynamy rzeczywiście czuć światło, prawie jak dotknięcie”⁸⁴. Rozumieć należy, że tym momentem haptycznym, momentem doświadczenia dotykalności światła jest półmrok, a nie prześwietlenie, nadmiar. Musimy być zanurzeni w środowisku, takim właśnie ambiencie, które sprawia, że źrenice się rozszerzają i w tym momencie otwieramy się na tę fotopercepcję świetlnego doznania. To jest ten moment, tak jak to widzi Turrell i Pallasmaa, gdzie może się wydarzyć to specyficzne doświadczenie.



Ilustracja 31. Seria Constellation, J. Turrell (źródło: www.pacegallery.com/exhibitions/james-turrell-9/)

⁸³ J. Turrell, *The Thingness of Light*, ed. S. Poole, Blacksburg: Architecture Edition, 2000, s. 1, 2. [cytuję za J. Pallasmaa, *Wyobrażenia materialna i ...*]

⁸⁴ Ibidem.

IV. 2. Idea.

„Dotykanie jest zjawiskiem dwustronnym. To świat nas dotyka, gdy my go dotykamy.”

- Jolanta Brach-Czaina⁸⁵

Wymiana jest bardzo ważnym procesem budującym wszechświat. Atomy przekształcają się w związki, zachodzą między nimi reakcje chemiczne i fizyczne. Tak samo działamy my - ludzie. Wchodzimy w relacje z innymi, wymieniamy idee, myśli, emocje, energię... Tylko od nas zależy, gdzie postawimy granice własnego JA - jak ukształtuje się nasz byt we wszechświecie i ile ze swojego JA zdecydujemy się poświęcić w tej wymianie; w jakim stopniu zechcemy wejść w reakcję ze światem. Czy pozwolimy dotknąć się do głębi? Czy raczej to, co nas spotyka prześlizgnie się po powierzchni?

Wypowiedź artystyczna jest bardzo specyficzną odmianą tego procesu. Twórcy często przekraczają granice, własne lub zwyczajowo utarte. Granice w sztuce często są utożsamiane z ograniczeniami. Jak twierdzi Elżbieta Korolczuk „Wolność sztuki w społeczeństwie i wolność artysty czy artystki w sztuce ma status fetyszu”⁸⁶. Niemniej, zawsze można wytyczyć jakiś podział, którego nie trzeba przekraczać, aby wejść w interakcję z tym, co po drugiej stronie.

W moich realizacjach zaczynam od wytyczenia szklanej granicy, w której zamykam reaktywne plazmowe wnętrze. Jednak nie definiuję swoich szklanych form jako ograniczenie, lecz jako powierzchnię styku dwóch światów - skórę, która daje możliwość przekazywania bodźców w obu kierunkach. W sztuce chętnie wykorzystuje się jedną z podstawowych właściwości szkła - jego przezierność - często odbiorca otrzymuje możliwość przejrzania formy na wskroś, ale zwykle nie jest zaproszony do interakcji z tym, co w jej środku.

Moim celem jest postawienie szkła w pozycji żywego organizmu, który wewnątrz zamkniętej formy posiada zdolne do interakcji wnętrze. W wykonanych przez mnie realizacjach powierzchnia szkła stanowi nieprzekraczalną barierę, za którą zamknięty jest świat składający się z wyselekcjonowanych cząsteczek i atomów wchodzących ze sobą w niekończące się reakcje. Rzeźba plazmowa, choć jej raz ukonstytuowana forma nie podlega dalszym modyfikacjom

⁸⁵ J. Brach-Czaina, *Błony umysłu*, Wydawnictwo: Sic!, Warszawa, 2003, s. 65.

⁸⁶ E. Korolczuk, *Niebezpieczne związki, czyli o granicach wolności w sztuce i w życiu*, w: „Mocak Forum” nr 2/2013. <https://www.mocak.pl/niebezpieczne-zwiazki-czyli-o-granicach-wolnosc-i-w-zyciu-elzbieta-korolczuk> (dostęp: 8.12.2021)

zewnątrznym, jest w stanie zmieniać się wewnątrz w interakcji z otoczeniem. Mimo iż zajmuje ciągle takie samo miejsce w przestrzeni, a jej kształt nie zmienia się w czasie ekspozycji, możliwość oddziaływania naszym własnym potencjałem elektrycznym pozwala na budowanie wrażenia, że świetlne wyładowanie sięga w naszym kierunku - żyje wewnątrz swojej statycznej szklanej skóry. Elizabeth Grosz w swojej książce o cielesności pisze: „... interakcje i powiązania mogą być postrzegane jako efekty powierzchniowe, relacje zachodzące na powierzchni skóry i różnych części ciała. Ale nie są one jedynie powierzchowne, ponieważ generują, wytwarzają wszystkie efekty psychicznego wnętrza, ukrytej głębi, indywidualności lub świadomości, podobnie jak wstęga Möbiusa tworzy zarówno wewnątrz, jak i zewnątrz. Śledzenie zewnętrznej strony wstęgi prowadzi nas bezpośrednio do jego wnętrza, nie opuszczając w żadnym momencie jego powierzchni. Głębia, czy raczej efekty głębi, są w ten sposób generowane wyłącznie poprzez manipulację”⁸⁷. Figura Möbiusa jest trafnym zobrazowaniem przedmiotu, który nie zmieniając swej stałej formy, pozwala obiorcy poprzez dotyk na powierzchni „skóry” dotrzeć do jego wewnętrznej strony.

Moim celem jest sprowokowanie widza, aby zapragnął wejść w relację z energią dzieła, spróbował dotknąć światła - zapomniał o istniejących granicach i dał ponieść się magii połączenia gazów szlachetnych i elektryczności.

Dotyk jest naturalną potrzebą człowieka. Merleau-Ponty pisał: „Wystarczy, że coś widzę, aby móc to osiągnąć, nawet jeśli nie wiem, jak to funkcjonuje w nerwowej machinerii. Moje ruchome ciało należy do widocznego świata, dlatego mogę je poprowadzić w stronę widzialnego. Ponadto, jest prawdą, że postrzeganie jest zależne od ruchu. Można widzieć tylko to, na co się patrzy”⁸⁸. Z natury odbieramy świat nie tylko przy pomocy wzroku; słuchowa i haptyczna interpretacja otaczających nas obiektów jest równie ważna.

„Oczywiście po okresie odsunięcia nastął czas intensywnej intronizacji (dotyku) i to na wielu obszarach refleksji humanistycznej, między innymi w badaniach antropologiczno-kulturowych. Przypomina się dzisiaj kulturowe znaczenia, jakie zwykle się temu zmysłowi przypisywać: z jednej strony przywołuje się jego moc stwórczą, a zatem jest to dotyk powołujący do

⁸⁷ E. Grosz, *Volatile Bodies*, Indiana University Press, 1994, s.116-117, tłumaczenie własne, oryginał: These interactions and linkages can be seen as surface effects, relations occurring on the surface of the skin and various body parts. They are not merely superficial, for they generate, they produce, all the effects of a psychological interior, an underlying depth, individuality, or consciousness, much as the Möbius strip creates both an inside and an outside. Tracing the outside of the strip leads one directly to its inside without at any point leaving its surface. The depth, or rather the effects of depth, are thus generated purely through the manipulation...

⁸⁸ M. Merleau-Ponty, *L'Œil et l'Esprit*, Paris: Gallimard, 1964, s.21. [cytuję za: Migdał M. A., *Rola wizualnej haptycznej percepcji w procesie poznawczym form plastycznego wyrazu*, w: „Eruditio et Ars” nr 1/2018(1), s.97.] <http://eruditioetars.pwsz-ns.edu.pl/index.php/archiwum/2018/2-nr-1-2018> (dostęp: 8.12.2021)

istnienia (dotyk boski) czy powodujący zmianę świata (Przybosiowe demiurgiczne: „ściągnę w dół dalszy krajobraz”), dotyk Midasa (nieomal zgubny w skutkach) czy dotyk bajkowych czarodziejskich różdżek. Z drugiej strony wskazuje się na jego rolę jako gwaranta uwiarygodniającego poprzez bezpośrednie doświadczenie. Patronem jest tu – rzecz jasna – św. Tomasz. Innymi słowy, dotyk w aspekcie sprawczym może stworzyć, powołać do życia i odsłonić nowy wymiar świata, z kolei w aspekcie, by tak rzec, opartym na wiarygodności – łączy się z eksperymentem, stanowiąc gwarant wiedzy i doświadczenia świata”⁸⁹.

Niestety, większość historycznych dzieł sztuki jest dla nas niedostępna w swojej „cielesności”, każdy z nas ma głęboko zakorzenione „Prosimy nie dotykać eksponatów”. Szczęśliwie, Hans Arp, a po nim wielu innych artystów, nakłaniało do przełamania tej zasady. Arp oczekiwał odbioru swoich rzeźb również poprzez dotyk, namawiał do przełamania schematu dzieła-oko. W Polsce symbolicznym podsumowaniem przemian w hierarchii zmysłów i zerwaniem z wzrokocentrycznością była wystawa (Nie) dotykaj! Haptyczne aspekty sztuki polskiej po 1945 roku, która odbyła się wiosną 2015 roku w Centrum Sztuki Współczesnej Znaki Czasu w Toruniu. Kuratorka wystawy, Marta Smolińska, zebrała prace twórców bardzo znanych jak i młodych, nie skupiając się na ich przynależności gatunkowej, a na haptyczności prezentowanych dzieł wyodrębniając w ten sposób niedostrzegany wcześniej nurt polskiej sztuki haptycznej. Wystawa ujawniła jednak ambiwalencję pojęcia haptyczności na płaszczyźnie dzieła – odbiorca. Zachęcenie do bezpośredniego dotykania dzieł odbiorcy zaczęli w sposób absolutnie niekontrolowany i niezgodny z instrukcjami zamieszczonymi przez artystów obcować ze sztuką w sposób często destrukcyjny. Smolińska zauważa, że nie ma możliwości zaprogramowania przez twórcę rodzaju dotyku, jakiego oczekiwałby on od odbiorcy w relacji z jego dziełem⁹⁰. „Pozbawiony kontroli odbiorca zastosuje własny, odmienny styl dotykania, niezgodny z towarzyszącą obiektowi instrukcją lub oczekiwaniami artystów. Gra z dotykiem może zatem wymykać się spod kontroli i nie przebiegać wedle z góry założonego programu”⁹¹.

Większość odbiorców, widząc szklane obiekty artystyczne, od razu myśli o ich kruchości, a w ich głowach wyświetla się naklejka „Uwaga! Szkło!”. To dzięki komunikacji pomiędzy zmysłami otwierającymi się na strukturę rzeczy możemy dostrzec kruchość i sztywność szkła⁹².

⁸⁹ A. Łebkowska, *Afirmacja dotyku w dyskursie współczesności*, w: *W kulturze dotyku? Dotyk i jego reprezentacje w tekstach kultury*, red. A. Łebkowska, Ł. Wróblewski, P. Badysiak, Zakład wydawniczy „Nomos”, 2016, s. 15.

⁹⁰ M. Smolińska, *Performatywne gry z dotykiem: ambiwalencje sztuki haptycznej*, w: *Zeszyty Artystyczne* #29 nr 2 (29) 2016, Uniwersytet Artystyczny w Poznaniu, 2016, s. 115.

⁹¹ Ibidem, s. 117.

⁹² M. Merleau-Ponty, *Fenomenologia percepcji*, tłum. M. Kowalska, J. Migasiński, Wydawnictwo Fundacja Aletheia, Warszawa, 2001, s.25.

Zupełnie inaczej podchodzimy do szkła użytkowego. Niejako zawierzamy jego trwałości, ufamy, że przedmioty takie jak szklanki czy kieliszki, wytworzone do codziennego korzystania z nich, czy szklane balustrady i podłogi, spełnią swoją funkcję. Prawdopodobnie ma to podłoże w pochodzeniu danej rzeczy - przeważnie wytwarzanej fabrycznie lub manufakturowo, więc zobowiązanej normami i standardami. W tym miejscu pragnę zaznaczyć, że moje lampy plazmowe są wykonane z dbałością o ich jakość. Mimo iż są realizacjami unikatowymi, posiadają wszelkie cechy przedmiotu użytkowego: są trwałe, nie stwarzają zagrożenia dla odbiorcy, a technologia, którą opracowałam jest gotowa do wytwarzania kolejnych obiektów z powieleniem formy (w granicach tolerancji replikowania dzieła produkowanego ręcznie) oraz z pełną możliwością odtworzenia efektów świetlnych.

Jednak obiekty plazmowe nie są pozbawione delikatności. Ich wrażliwość kryje się we wnętrzu. Prawdziwie ulotne są efekty wizualne wewnątrz moich lamp - wzór, który widzimy w danym momencie już się nie powtórzy. Oczywiście nastąpią po nim podobne, zamknięte w obrębie tej samej gamy, ale subtelne różnice w kolejnych wyładowaniach stanowią o unikatowości odbioru w czasie. Przewrotnie, trwałości nadaje im namacalna forma - zbliżone efekty wizualne można by przecież uzyskać, dużo szybciej, taniej i efektywniej przy pomocy animacji komputerowej. Jednak jak to określa Byung-Chul Han „atmosfera, która rozwija się w realnej przestrzeni poprzez relacje z innymi i z przedmiotami bliskimi sercu, znika na rzecz przelotnych machnięć na ekranach”⁹³. Stąd, moje głębokie pragnienie tworzenia obiektów realnie wpisujących się w przestrzeń życiową. Lampy plazmowe są nie tylko elementem dekoracyjnym, nie tylko grą z haptycznością, są przede wszystkim obiektami zdolnymi do budowania nastroju, wprowadzania do przestrzeni nacechowanego emocjami blasku, w pełnej gamie możliwych efektów: od relaksującego łagodnego pulsowania po niepokojące, gwałtowne „burzowe” wyładowania. Kwestią, której nie można pominąć jest fakt, że znaczna część moich studiów doktoranckich upłynęła w trakcie pandemii covid-19. Dziwny czas, w którym definicje takie jak obostrzenie czy dystans na stałe weszły nie tylko do naszych rozmów, ale, przede wszystkim życia. Konieczność zachowania reżimu sanitarnego i ograniczenie spotkań sprawiło, że wielu z nas odczuwało tęsknotę, poczucie alienacji, oddalenia i samotność. Zamknięci w domach musieliśmy przedefiniować nasz system interakcji, zacząć respektować zasady, które wcześniej były nie do pomyślenia: musieliśmy zrezygnować nie tylko z wyjazdów poza Polskę, ale z tak

⁹³ za: Gesine Borchardt, Byung-Chul Han: *How Objects Lost their Magic*, <https://artreview.com/byung-chul-han-how-objects-lost-their-magic/>, (dostęp: 08.01.2022) orginał: The atmosphere that develops in real space through relations to others and to, as he puts it, ‘things close to the heart’ disappears in favour of fleeting swipes on screens, which suggest brief, disembodied experiences.

oczywistych rzeczy, jak podawanie sobie ręki na powitanie czy wspólny obiad z przyjaciółmi. Cała nasza egzystencja została zobowiązana nowymi granicami: maseczkami i rękawiczkami, limitami osób na metr kwadratowy i zakazami przemieszczania się (...) jednak nasze wnętrza ciągle dążą do interakcji. Lampy plazmowe są niejako odzwierciedleniem tego dążenia - w miarę przybliżania do nich ręki wiązki światła zaczynają się skupiać w miejscu styku powierzchni szkła z ludzką skórą.

Jak każdy, kogo pandemia ograniczyła, artysta zamknięty w domu również posiada niezrealizowane dążenia. Ograniczony dostęp do pracowni na długi czas przeniósł akcent mojej aktywności zawodowej ze zrównoważonego schematu idea-projekt-próba-realizacja na pierwszą część łańcucha tworzenia. Wraz z ograniczeniem mobilności niejako dostałam „dodatkowy czas” na pochylenie się nad ideą i projektem. Magazynowałam doświadczenia, komunikaty wizualne i emocjonalne. Pozwoliłam sobie błędzić w rozważaniach i katalogować w formie projektów swoje doznania i wspomnienia.

Olga Tokarczuk w *Czułym narratorsze* opisuje proces, a właściwie moment pojawienia się postaci, bohatera powieści w jej głowie jako „objawienie”: „Często towarzyszy mi w trakcie pracy poczucie epifanii. (...) byłoby wielkim uproszczeniem powiedzieć, że postaci się po prostu wymyśla. Wyłaniają się raczej z wypełnionej mgłą krainy, najpierw siłują się z brakiem formy, migotają, żeby potem pojawić się w całej krasie, już gotowe i wymagają tylko kosmetycznych zmian. (...) W ogóle słowo „twórca” jakiejś postaci wydaje mi się sporym nadużyciem. Ja jestem tu raczej doułą, która sprowadza postać na świat”⁹⁴. W pewnym momencie bohater „staje się” kompletny, powstał on w podświadomości, a zrodził się ze zlepków odebranych historii. Podobny proces twórczy jest możliwy nie tylko w odniesieniu do literatury, a także w muzyce i sztukach wizualnych. W moim przypadku obiekt materializuje się z zobaczonych, a często również doświadczonych obrazów, pod wpływem impulsu. Czasem trudno określić skąd pochodzi, po prostu pojawia się i jeśli nie uchwycę tego momentu w uważności i nie zastanowię się z czego powstał, później bardzo trudno do tego wrócić. Stąd skupienie na odbieranych bodźcach i odpowiednie zapisywanie ich stało się istotną częścią mojego procesu twórczego.

Inspiracją do stworzenia serii obiektów była tęsknota. Tęsknota za daleką podróżą, nieosiągalną w okresie izolacji oraz tęsknota za pracą ze szkłem w płomieniu palnika. Punktem wyjścia był skorkowaciały owoc lotosu orzechodajnego, rośliny występującej powszechnie

⁹⁴ O. Tokarczuk, *Kraina metaksy*, w: *Czuły narrator*, Wydawnictwo Literackie, Kraków, 2020, s. 240-241.

w Azji, który posłużył mi jako inspiracja do zaprojektowania szklanej formy. Lotos orzechodajny jest rośliną szczególną - jej kłęczka, młode liście i owoce są jadalne, a z włókien obecnych w łodygach otrzymuje się włókno, z którego tkany jest wyjątkowy *lotus silk* (jedwab lotosowy). Właśnie te włókna, pozyskiwane z łamanych łodyg przywołały skojarzenie z wyciąganiem szklanych nitek techniką hutniczą lub w płomieniu palnika. *Lotus silk* to materiał cenny, jedwab nieodłącznie kojarzy się z luksusem, co w moich realizacjach ma symboliczne przełożenie na cenne gazy szlachetne, z których „tkam” świetną opowieść. Jedna z podstawowych mantr tybetańskich: *Om mani padme hum* oznacza *Klejnot w kwiecie lotosu*⁹⁵ - moim skarbem są zamknięte w kształcie owocu plazmowe wyładowania nadające „życie” szklanym formom.



Ilustracja 32. Lotos orzechodajny (źródło www.flickrriver.com/photos/hen-magonza/43997218311/)

Lotos ma bogatą symbolikę nie tylko w kulturze hinduskiej i buddyjskiej, odniesienia do tej rośliny znajdziemy również w kręgach egipskich i chrześcijańskich. „Według mitologii staroegipskiej lotos stanowi miejsce narodzin cudownego dziecka, słonecznego młodzieńca, otwierającego oczy i dającego światło, aby wyprowadzić świat z ciemności”⁹⁶ - czy to nie piękna metafora dla lampy, w której wnętrzu z połączenia nauki i sztuki rodzi się światło? W Chinach, Tybecie i Indiach zwraca się uwagę, iż ta roślina wyrasta z mętnej (mulistej, brudnej) wody, ale sama pozostaje czysta⁹⁷. Analogicznie, chrześcijańska sztuka dostrzega w lotosie

⁹⁵ za: P. Szuppe, *Kulturowo-religijny wymiar kwiatu lotosu*, NURT SVD 1 (2019), s. 114.

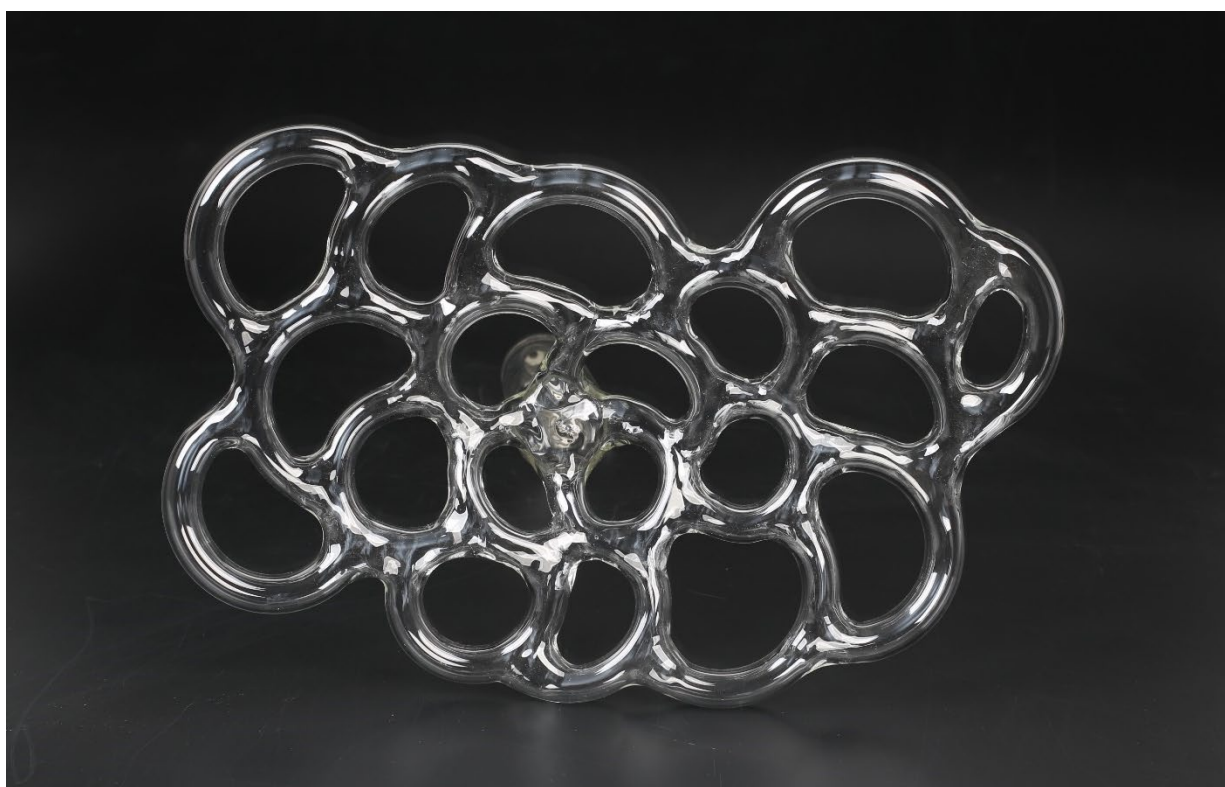
<http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-577835fc-7caf-454a-a512-c51008d5a621>, (dostęp 20.01.2022)

⁹⁶ Ibidem, s. 109.

⁹⁷ Ibidem, s. 111, 113.

obraz raju i zapowiedź przyszłego życia⁹⁸. Dla mnie stał się symbolem nadziei powrotu do czynnej pracy w szkłe po wymuszonej pandemią przerwie. Lampy zostały zaprojektowane w czasie lockdown'u, pomysły wyrosły w atmosferze strachu, niepewności osobistej: czy panosząca się choroba nie stanie na mojej drodze zawodowej; czy uda się zrealizować kolekcję w terminie? Odzwierciedleniem tych lęków jest też po części forma moich prac - kształt orzecha lotosu budzi dyskomfort u znacznej grupy osób. Winne temu są liczne otwory, a właściwie lęk przed nimi, zwany trypofobią. Z badań Geoffa Cole z University of Essex w Wielkiej Brytanii wynika, że symptomy trypofobii wykazuje ok 16% badanych, a sam naukowiec twierdzi, że każdy z nas ma w sobie choć odrobinę lęku przed dziurami - jest to pozostałość ewolucyjna⁹⁹.

W Indiach „owoc, kwiat i łodyga (lotosu) oznaczają odpowiednio przeszłość, terażniejszość, przyszłość”¹⁰⁰. Dla mnie, stres zamknięty w formie szklanych orzechów jest przeszłością, „kwitnące” efekty plazmowe są terażniejszością, a technologia, w której użyciu doskonaliłam się podczas realizacji kolekcji, jest podporą przyszłości jako projektantki obiektów *Plasma Art*'u.

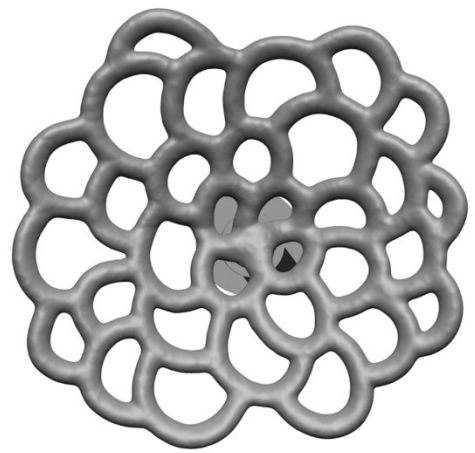
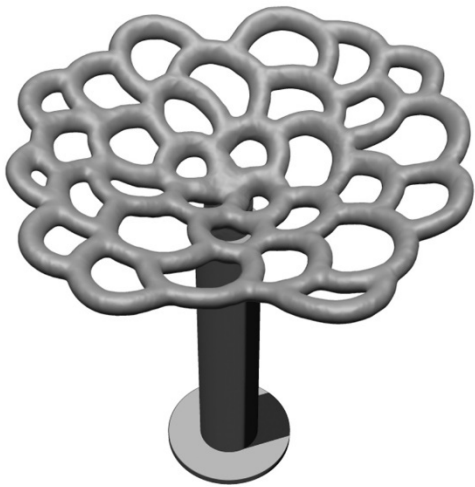


Ilustracja 33. Fragment szklanej formy lampy.

⁹⁸ za: Lotos, [w:] B. Szczepanowicz, *Atlas roślin biblijnych. Pochodzenie, miejsce w Biblii i symbolika*, WAM, Kraków, 2003, s. 149.

⁹⁹ za: K. Łapiński, *Badacz: trypofobia to nasza pozostałość ewolucyjna*, <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C397032%2Cbadacz-trypofobia-to-nasza-pozostalosc-ewolucyjna.html>, (dostęp 20.01.2022)

¹⁰⁰ za: S. Jakobschy, *Osiem pomysłnych symboli w tradycji buddyjskiej*, „Nomos. Kwartalnik Religioznawczy” 2004, nr 45–46, s. 14.



Ilustracja 34. Model 3D lampy.

IV. 3. W poszukiwaniu światła – droga artystyczno-zawodowa.

Światło, pozwala widzieć i wiedzieć „(...) bez światła oczy nie dostrzegą ani kształtu, ani koloru, ani przestrzeni, ani ruchu¹⁰¹”. Jestem w nieustannej pogoni za światłem, już wiele razy udało mi się je dogonić i zamknąć w szklanej formie, jednak jest ono tak ulotne i niedoścignione... Czy kiedyś zdołam je całkowicie ujarzmić? Moja droga to ciągła nauka poprzez liczne eksperymenty oraz równie liczne błędy. Nieustannie stawiam sobie nowe wyzwania, dając z siebie wszystko.

Podjęłam ryzykowną próbę uchwycenia niewidzialnej na co dzień materii i pojedynczych atomów. Komponuję z nich mikroświaty, które ożywione energią elektryczną jawią się przed odbiorcą kolorowymi, migoczącymi wstęgami, miękkimi obłokami hipnotyzującego światła, zamkniętymi w rzeźbiarskiej szklanej formie.

Moje pierwsze spotkanie ze szkłem jako materiałem rzeźbiarskim miało miejsce w Ogólnokształcącej Szkole Sztuk Pięknych im. Tadeusza Kantora w Dąbrowie Górniczej, gdzie poznałam podstawy witrażu, technikę stapiania szkła w formach oraz techniki szlifierskie. Pracę dyplomową ze szkła artystycznego pt. „Historia pewnej znajomości” stanowiły dwie rzeźby głów inspirowane malarstwem Picassa. Realizacja była wykonana ze szkła optycznego stopionego w formie, które następnie było szlifowane i polerowane. Szkło optyczne charakteryzuje się wysokim współczynnikiem załamania światła, dzięki któremu można uzyskać wielokrotne lustrzane odbicia. Jednak jest ono również (w porównaniu z innymi rodzajami szkła) dość twarde i wymaga długotrwałej obróbki szlifierskiej.

Mam jedno bardzo silne wspomnienie: proces polerowania na pionowej tarczy filcowej z pumeksem, który wymagał trzymania pracy w określonej pozycji i ciągłego kontrolowania, żeby maszyna nie wyrwała mi z rąk szklanej głowy. Po kilku godzinach obróbki wyprostowałam ręce i nie mogłam ich z powrotem zgiąć, bo moje mięśnie były tak zmęczone. Stałam tak przez dłuższą chwilę, doświadczając jak mózg wysyła impulsy elektryczne do mięśni, które nie reagowały. To wydarzenie z 2008 roku zaważyło o tym, że gdy rozpoczęłam studia na Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta, szlifiernia była miejscem, które starałam się omijać, a moją uwagę przykuł warsztat palników, gdzie ogień był władcą, panem, królem i twórcą.

¹⁰¹ R. Arnheim, *Sztuka i percepcja wzrokowa. Psychologia twórczego oka*, przeł. Jolanta Mach, Wydawnictwo słowo/obraz terytoria, Gdańsk, 2004, s. 323.



Ilustracja 35. "Historia pewnej znajomości", 2008

Większość zadań w trakcie studiów realizowałam wykorzystując techniki palnikowe, każdorazowo projektując prace tak, aby wymagały ode mnie zdobycia nowych umiejętności w formowaniu szkła. Najczęściej były to wieloelementowe obiekty, które umożliwiały mi kumulowanie doświadczeń poprzez wielokrotne wykonywanie i powtarzanie tej samej czynności. Inspirowała mnie natura, jej przemiany, cykle życia, formy, niedościgniona doskonałość. Do dziś kieruję się zasadą, aby moje projekty stawiały przede mną wyzwania formalne na równi z technologicznymi. W ten sposób na III roku studiów w Pracowni Szkła Artystycznego prowadzonej przez prof. Barbarę Zworską-Raziuk i dr Dagmarę Bielecką powstała praca inspirowana kwiatem naparstnicy purpurowej. Składała się ona z blisko 1000 elementów. Każdy z nich wykonany ze szklanej rury w płomieniu palnika, był następnie szlifowany, a jego krawędź zatapiała w celu nadania miękkiego i błyszczącego wykończenia. Następnie, każdy z elementów był malowany specjalnym, wypalonym w piecu listrem, zawieszany na wcześniej przygotowanym elemencie i montowany na korpusie z siatki miedzianej. W tej realizacji światło było niemyym twórcą przeglądającym się we własnym odbiciu tworzącym się na różowo-purpurowej, listrowej powierzchni.

Istotnym momentem w moim artystycznym rozwoju były praktyki u Pana Zygmunta Perzyńskiego w Opolu. To on, wtedy już prawie osiemdziesięcioletni, pierwszy raz pokazał mi

proces tworzenia neonów oraz kształtowania rur neonowych. Pan Zygmunt większość urządzeń potrzebnych do produkcji neonów wykonał własnoręcznie lub z pomocą brata, dmuchacza szkła laboratoryjnego, dlatego każde narzędzie miało dla niego wyjątkową wartość. W jego warsztacie w piwnicy pośród ogromnej ilości nagromadzonych dziwnych rzeczy posiadał własnej roboty szklaną pompę próżniową, czy dmuchawę do palnika zrobioną ze starego agregatu lodówkowego. Podczas praktyk nauczyłam się podstaw formowania rur, wykonywania łączeń przy użyciu palnika ręcznego i stołowego - Pan Zygmunt nie używał palnika typu crossfire ani listwowego. Był to też początek odkrywania wiedzy z zakresu zjawisk zachodzących w rurach jarzeniowych.

Zdobyte podczas praktyk umiejętności wykorzystałam przy realizacji dyplomu licencjackiego. Część ze Szkła Użytkowego - kolekcję „Cable lamp” stanowiły dekoracyjne lampy inspirowane światem mikrobiologii, gdzie elementem świecącym były przewody elektroluminescencyjne osadzone w szklanych trzonach. Realizacja „Cable lamp” reprezentowała Katedrę Szkła w ramach wystawy Polish Design Focus podczas jedenastej edycji International Design Festival DMY 2013, wystawa organizowana m.in. przez Instytut Polski w Berlinie, 2013 r. Część dyplomu z zakresu Szkła Artystycznego stanowił kokon zbudowany z 55 szklanych łuków zawieszonych na stalowej linie. Przy realizacji tego projektu zastosowałam multiplikację elementów jako drogę do opanowania warsztatu i perfekcji formy. Praca otrzymała III nagrodę w międzynarodowym konkursie Zwieseler Kölbl 2013 *European Prize for emerging Glass Artists*.

Kontynuacją tych poszukiwań była realizacja dyplomu magisterskiego, który był pierwszym w historii Wydziału Ceramiki i Szkła autorskim, przestrzennym neonem. Pierwszy raz udało mi się „ujarźmić” światło i zamknąć je w 24 rurach jarzeniowych wypełnionych neonem, który świeci na intensywny czerwono-pomarańczowy kolor. Obiekt ma kształt gąsienicy motyla, która przybrała formę poczwarki w stadium spoczynkowym. Miałam na celu uchwycenie chwili, pokazania fazy przejściowej, która jest symbolem możliwości owego przeobrażenia, momentem oczekiwania i tajemnicy. Praca została zakwalifikowana do międzynarodowego konkursu i wystawy *Stanislav Libenský Award*, organizowanego w czeskiej Pradze w 2013 r. oraz *EGE - European Glass Experience competition* w roku 2014.



Ilustracja 36. „Caterpillar” - część artystyczna dyplomu magisterskiego, 2013, promotor prof. Barbara Zworska-Raziuk.



Ilustracja 37. "Triki - biżuteria modułowa" - część użytkowa dyplomu magisterskiego, 2013, promotor prof. Kazimierz Pawlak.

Technikę palnikową wykorzystałam również przy realizacji dyplomu magisterskiego ze Szkła Użytkowego w pracowni prof. Kazimierza Pawlaka. Zaprojektowałam i wykonałam biżuterię modułową, w której połączyłam ze sobą szkło, silikon i magnesy. Użyłam również starej metody srebrzenia szkła, a całość pracy znalazła uznanie wśród jurorów konkursu „Najlepsze dyplomy projektowe Akademii Sztuk Pięknych 2013” i otrzymałam nagrodę Marszałka Województwa Śląskiego.

Poszukując własnej drogi, zarówno na polu artystycznym i zawodowym w 2014 roku trafiłam do Łodzi, z którą nie łączyło mnie wówczas absolutnie nic, ale to właśnie tam realizowany był projekt „Kreatywna przedsiębiorczość”, w ramach którego otrzymałam dofinansowanie na otwarcie własnej działalności gospodarczej. Dużym wyzwaniem było znalezienie przestrzeni, gdzie mogłabym swobodnie pracować z otwartym ogniem. Wygrałam konkurs na pracownię w nowo powstałym Art Inkubatorze, jednak ze względu na przepisy przeciwpożarowe w budynku nie mogłam z niej korzystać. W końcu trafiłam do łódzkiego FabLabu¹⁰². We współdzielonej przestrzeni prowadziłam autorską pracownię, której działalność skupiała się na tworzeniu szklanej biżuterii i prowadzeniu warsztatów pracy ze szkłem na palnikach. Wspominam ten czas jako niezwykle intensywny, pełen wyzwań, ale przede wszystkim jako czas owocnej współpracy, oddolnych inicjatyw i poczucia przynależności.

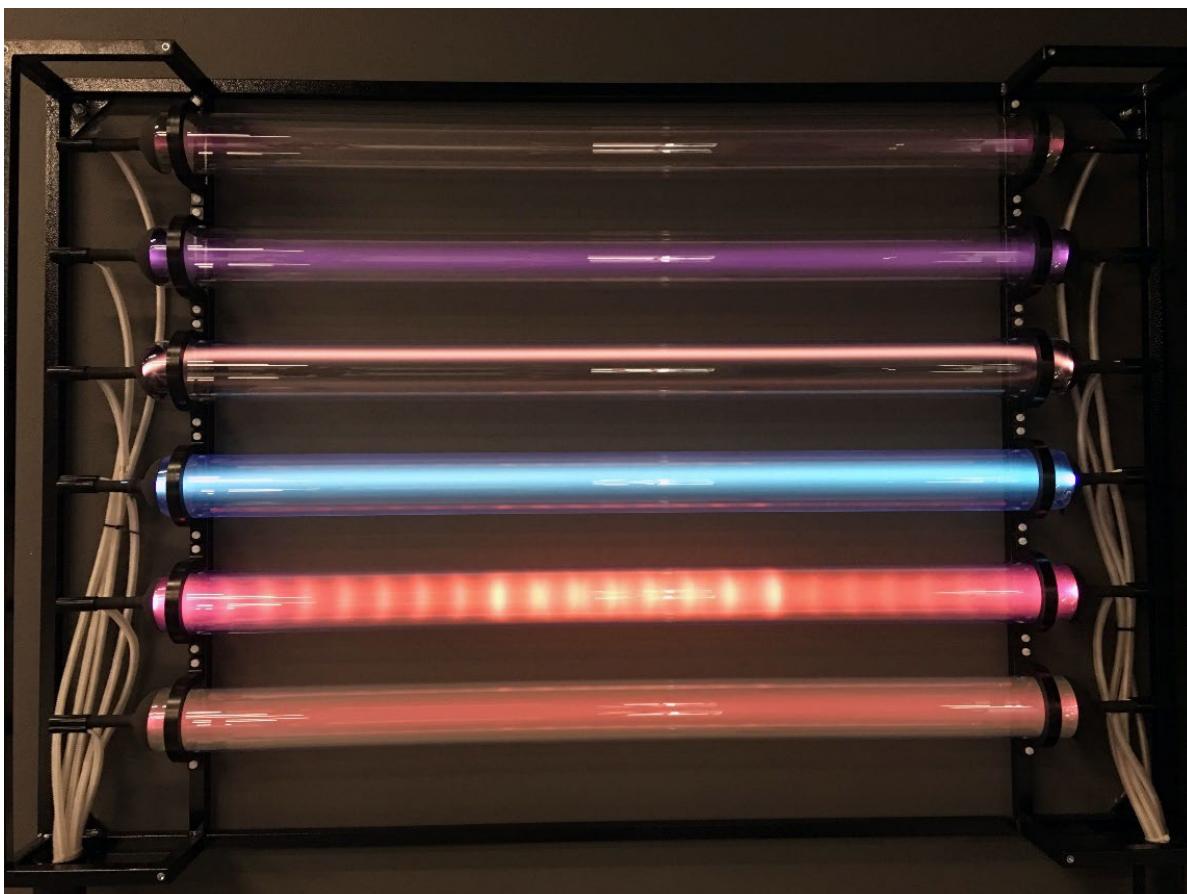
Cały czas starałam się poszerzać moją wiedzę i umiejętności z zakresu tworzenia neonów, co okazało się niełatwym zadaniem, zważywszy na brak fachowej literatury. W końcu, przeglądając Internet, znalazłam na ogłoszenie o pracę w firmie Kapilar zajmującej się produkcją reklam świetlnych - głównie neonów. Mimo napiętego grafiku i zaangażowania we własną działalność uznałam zatrudnienie się w firmie Kapilar za bardzo skuteczną metodę edukacyjną, która pomoże mi w moim „poszukiwaniu światła”. Liczyłam na poznanie całego procesu produkcji, zaczynając od kontaktu z klientem, wykonaniem projektu neonu wraz z odpowiednim podkładem lub konstrukcją, kosztorysem aż do realizacji i montażu. Bardzo dużo się nauczyłam, a dodatkowym atutem był (częściowo ograniczony) dostęp do specjalistycznego sprzętu. W tym okresie powstały prace „WEŹZEŁ – żeby pamiętać!” i „Pożeracz” – pierwsza rzeźba neonowa, której forma wykraczała poza kształt rury; obecnie znajduje się ona w zbiorach Muzeum Miejskiego we Wrocławiu. Pierwszy raz uświadomiłam sobie również, jak trudno jest pogodzić pracę zarobkową w pełnym wymiarze godzin z własnymi projektami.

¹⁰² Fundacja FabLab Łódź - przestrzeń dedykowana konstruktorom, inżynierom, artystom, studentom, majsterkowiczom i pasjonatom, wypełniona profesjonalnymi maszynami i narzędziami. za: <https://fablablodz.org> (dostęp: 03.01.2022)



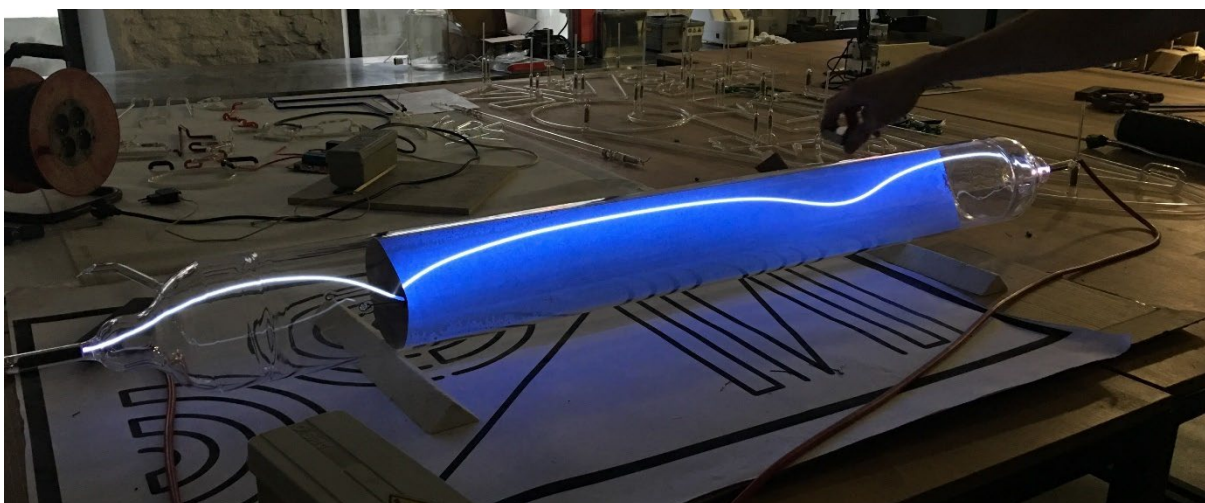
Ilustracja 38. "Pożeracz" widok z wystawy European Glass Context 2016, Bornholm Art Museum w Danii.

W firmie Kapilar pracowałam równie 12 miesięcy (od kwietnia 2015), w maju 2016 roku rozpoczęłam z moim partnerem i inwestorem budowę pracowni neonów i szkła specjalistycznego, która przyjęła nazwę NEONOFF, na terenie Wi-My (nieistniejących Widzewskich Zakładów Przemysłu Bawełnianego). Samodzielnie wykonaliśmy remont przestrzeni o powierzchni blisko 400m², sprowadziliśmy z Belgii 2 tokarki do szkła, które zostały poddane renowacji. Zakupiliśmy i przebudowaliśmy stanowisko do próżniowej obróbki rur neonowych, rozszerzając ilość możliwych do zastosowania gazów szlachetnych o ksenon, krypton, czysty argon i hel. Posiadaliśmy własny warsztat ślusarski, w którym wykonywane były konstrukcje wsporcze do rur neonowych. W najlepszym okresie nasz zespół liczył 6 osób, realizowaliśmy projekty neonów na zamówienie, a także specjalistyczne lampy wyładowcze. Najważniejszym dla mnie projektem, jaki wykonaliśmy była seria eksponatów do Centrum Nauki i Techniki EC1 w Łodzi. Stanowisko umożliwiające obserwację „zorzy polarnej” składało się z 6 szklanych rur o średnicy 100 mm i długości 1000 mm wypełnionych powietrzem pod obniżonym ciśnieniem i zatopionymi na końcach elektrodami. Świecenie wywołane było poprzez przyłożenie wysokiego napięcia do elektrod. Rury ułożone były tak, aby najwyżej znajdowały się te z najniższym ciśnieniem, odwzorowując zgrubnie profil atmosfery ziemskiej.

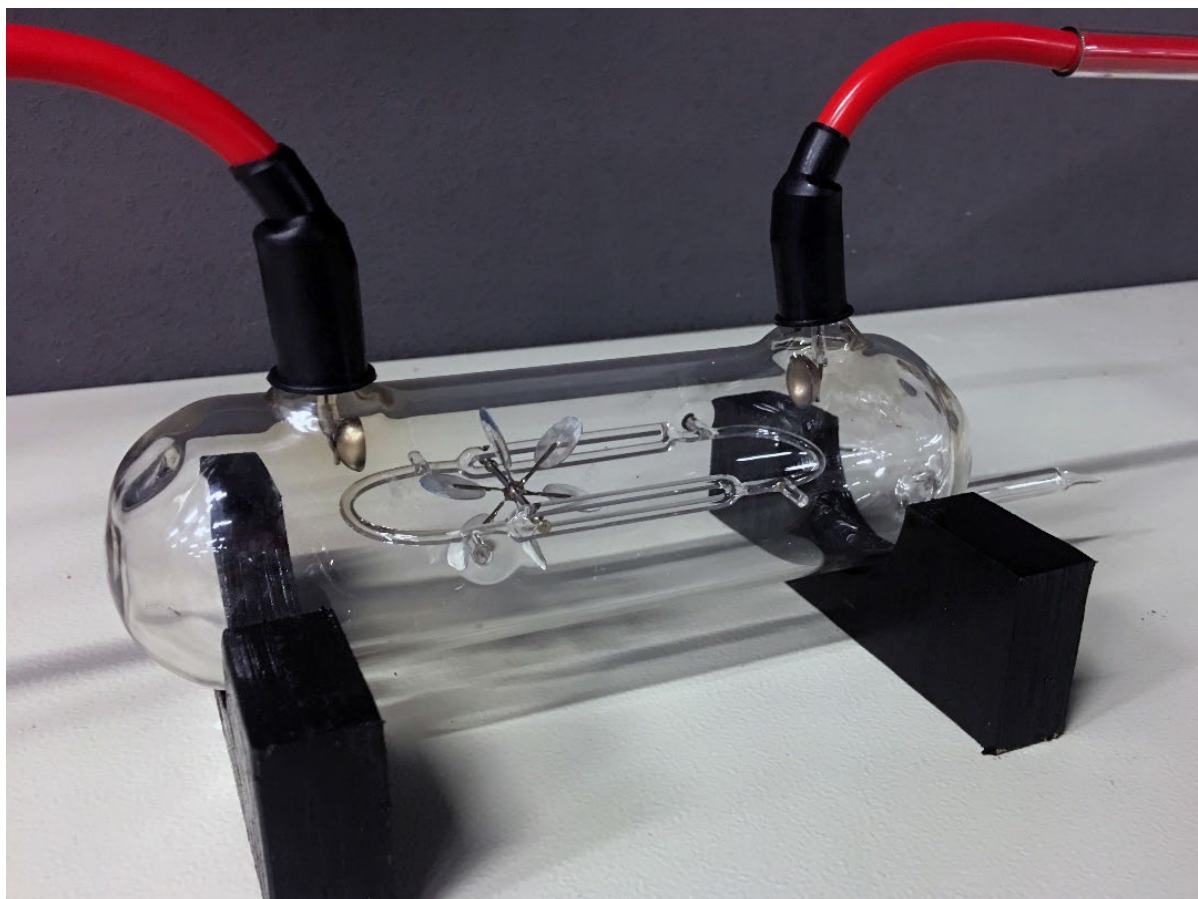


Ilustracja 39. Stanowisko imitujące zorzę polarną, Centrum Nauki i Techniki EC1 w Łodzi, 2017.

Kolejnym eksponatem była rura o średnicy 150 mm i długości 1500 mm, wewnątrz której można było obserwować wpływ pola magnetycznego na strumień poruszających się elektronów. Jako eksponat wykonaliśmy również rurę Crookse'a z elektrodami oraz zamkniętym wewnątrz, mogącym się poruszać kołem z łopatkami, fosforyzującymi w trakcie doświadczenia. Rura była zasilana induktorem Ruhmkorffa oraz posiadała włącznik z możliwością zmiany biegunowości.



Ilustracja 40. Strumień elektronów, pracownia NEONOFF, Łódź, 2017.



Ilustracja 41. Rura Crookse'a, Centrum Nauki i Techniki EC1 w Łodzi, 2017.

Ze względu na duże gabaryty opisanych powyżej eksponatów konieczne było opracowanie procesu produkcyjnego, który umożliwiłby prawidłową obróbkę próżniową oraz odprężanie szklanych elementów, w tym celu zbudowany został specjalny piec elektryczny, którego elementami grzejnymi były promienniki podczerwieni. Praca nad tym zleceniem była wyjątkowo wymagająca, wielokrotnie doświadczyliśmy, że prawa fizyki, zaobserwowane przez odkrywców w XIX wieku w małej skali, są niemal niemożliwe do przeskalowania na większych, łatwiejszych w obserwacji obiektach, co przysporzyło wielu komplikacji. Jednym z eksponatów Centrum Nauki i Techniki była również kula plazmowa o średnicy 76,2 cm (30 cali) wykonana przez Wayne'a Strattmana w Stanach Zjednoczonych. Niestety, została uszkodzona podczas montażu (odłamano rurkę odpompową). Ze względu na wysokie koszty transportu w celu naprawy z powrotem do Stanów, Centrum Nauki zwróciło się do NEONOFF o rekonstrukcję uszkodzonych elementów. Reperacja kuli plazmowej była dla nas ogromnym wyzwaniem, które podjęliśmy i zakończyliśmy sukcesem. Podczas wszystkich prac nad eksponatami ilość zdobytej wiedzy wykorzystanej w praktyce była nieoceniona, bez wątpienia było to dla mnie bardzo inspirowane i stanowiło podwaliny moich badań nad wyładowaniami plazmowymi.

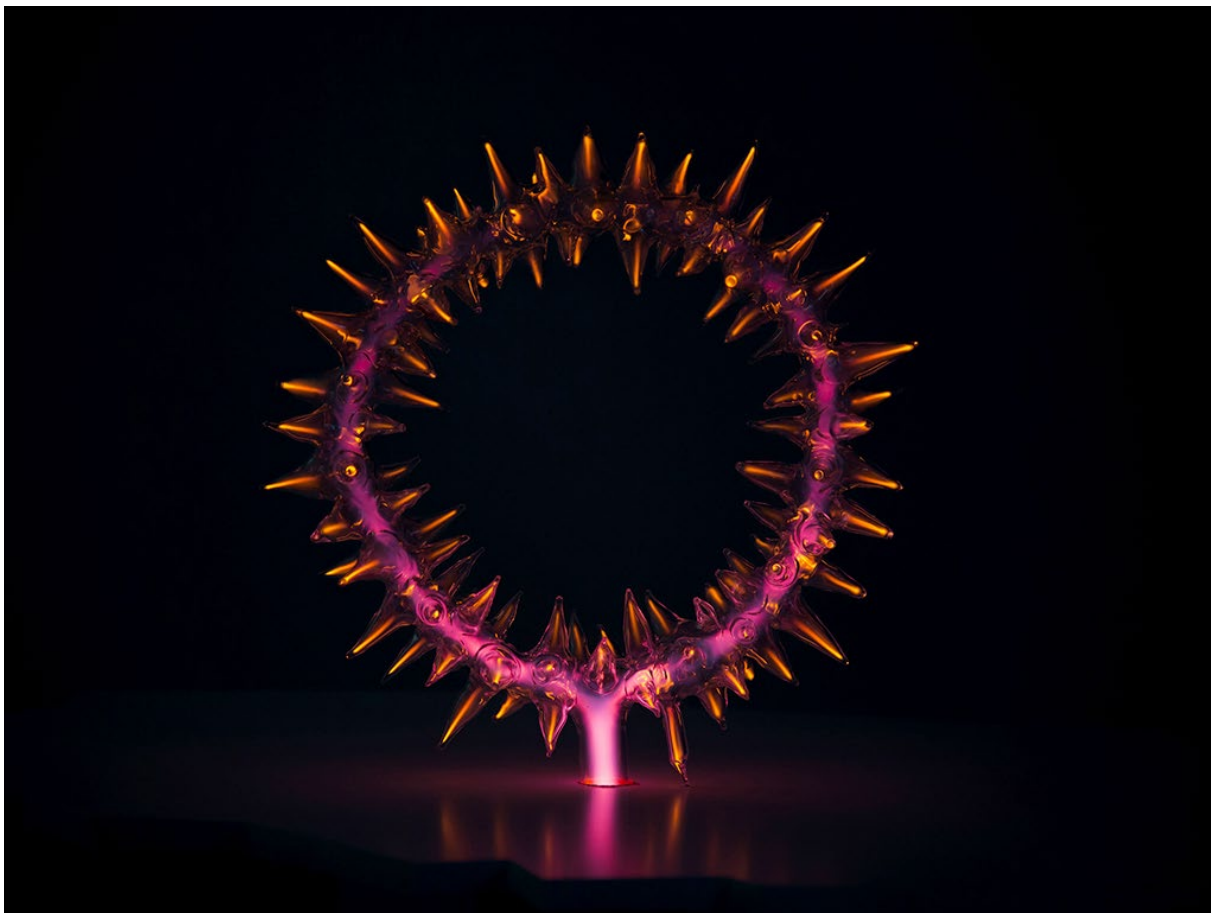


Ilustracja 42. Naprawa kuli plazmowej autorstwa Wayne'a Stratmana, Łódź, 2017.

Oprócz działań na polu zawodowym sukcesywnie starałam się przenosić zdobytą wiedzę i umiejętności w obszary mojej praktyki artystycznej. Pierwszą jednoelektrodową rzeźbą plazmową, którą wykonałam była praca pt. "Chrystus Narodów?" składająca się ze szklanej korony cierniowej na tle konturu granic Polski. Powstała w 2017 roku rzeźba odnosi się do wciąż aktualnej i z mojej perspektywy pogarszającej się sytuacji socjo-politycznej naszego kraju. Nawiązuje również do klasycznego mickiewiczowskiego motywu Polski jako Chrystusa narodów, stawiając przy nim jednocześnie znak zapytania. Czy naprawdę chcemy nosić to miano, czy zdajemy sobie sprawę, że korona cierniowa idzie z nim w parze?



Ilustracja 43. "Chrystus Narodów?", 2017.



Ilustracja 44. Fragment pracy "Chrystus Narodów?", 2017.

Praca była prezentowana podczas *Ireland Glass Biennale* w Dublinie w Irlandii na przełomie 2019 i 2020 r. oraz na wystawie *Glass is BIOTiful II* w Biot we Francji w drugiej połowie 2020 roku. Korona wypełniona jest neonem, który rozświetla jej wnętrze feerią pomarańczowo-różowych wyładowań plazmowych, a dodatkowym elementem pozwalającym wejść w interakcję z dziełem jest zainstalowany czujnik zbliżeniowy, który sprawiał, że korona włącza się, kiedy ktoś pod nią stanął.

Kolejna rzeźba plazmowa to obiekt pt. „Dobra robota – jakim kosztem?”, który przedstawia wieniec laurowy i jest ona refleksją na temat natury człowieka. Zastanawiam się, czy jesteśmy w stanie odpowiedzieć szczerze na pytanie czym jest siła, która zmusza nas do działania, poświęceń i wyrzeczeń? Jest to pasja i chęć rozwoju czy może pycha i narcyzm? Jaką cenę jesteśmy w stanie zapłacić za chwile chwały i uznania?

Szklany wieniec laurowy wypełniony jest mieszanką neonu, azotu i ksenonu, która jest wysoce reaktywna i tworzy wijące się wstęgi światła w gamie od jasnego fioletu do intensywnej zieleni. Szczególny element stanowi elektroda - przepust szklano-metalowy - szczelny w zakresie

próżni wysokiej składający się z drutu wolframowego oraz szkła przejściowego borokrzemowo-uranowego¹⁰³.



Ilustracja 45. "Dobra robota - jakim kosztem?", 2018

Opisane powyżej doświadczenia i zdobyta wiedza umożliwiły mi rozpoczęcie w 2018 roku studiów doktoranckich w ramach II programu „doktoratu wdrożeniowego”. Niestety w 2019 r. teren Wi-My, w którym mieściła się nasza pracownia, został sprzedany deweloperowi, czego skutkiem było rozwiązanie umowy o współpracy z partnerem biznesowym w kwietniu 2019 r. Był to bardzo trudny moment na mojej drodze zawodowej i artystycznej. Projekt, któremu poświęciłam blisko 3 lata, w którym pokładałam ogromne nadzieje i możliwości, w który włożyłam całe serce i zaangażowanie legł w gruzach. Nie poddałam się. W ciągu miesiąca znalazłam nowego partnera biznesowego firmę Neon Irsa w Katowicach, przeprowadziłam się do Wrocławia i w ten sposób od blisko trzech lat dzielę swój czas pomiędzy Akademią Sztuk Pięknych we Wrocławiu i firmą w Katowicach.

¹⁰³ Przepust zbudowany jest z pary materiałów o dopasowanym współczynniku rozszerzalności liniowej, która powinna być jak najbardziej zbliżona do rozszerzalności materiału rodzimego czyli szkła borokrzemowego COE 3,3. Przewodnik stanowi drut wolframowy z metalu czystego bez domieszek szlifowany bezkłowo w celu wyeliminowania rys oraz pęknięć podłużnych mogących stanowić ścieżkę nacieku. W dalszej kolejności oglądony chemicznie poprzez wykorzystanie egzoenergetycznej reakcji z azotanem II sodu i pokryty poprzez żarzenie ściśle przylegającą warstwą tlenków własnych. Następnie pokryty techniką vac-sleeving cienką warstwą uranowego szkła przejściowego pogrubioną kolejno przez nawijanie z pręta. Technika ta jest opisana w książce: J. Groszkowski *Technika wysokiej próżni*, w rozdziałach 6.2.1, 6.2.2, 6.4.1, 6.12, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1978.

Podsumowanie

Obserwacja gry światła barwnych wyładowań plazmowych zamkniętych w szklanych formach jest dla mnie niekończącym się źródłem inspiracji, a odkrywanie zależności fizycznych i chemicznych pomiędzy nimi leży u podstaw wszystkich elementów pracy doktorskiej. Mam nadzieję, że mój wysiłek z jednej strony przyczyni do wytwarzania lepszej jakości produktów, których najważniejszą cechą będzie trwałość, a z drugiej pozwoli choćby w niewielkim stopniu ograniczyć produkcję odpadów i eksploatację zasobów naturalnych. Pragnę, aby połączenie sztuki, rzemiosła i nauki skłoniło widza do eksplorowania i doznawania otaczającej nas rzeczywistości w szerszym kontekście, tak aby zmysłowe poznanie pozwoliło skomunikować nas z wszechświatem. Zwrócenie się ku zagadnieniom świata fizycznego oraz dostrzeżenie fenomenu światła oddziałujących na siebie wyselekcjonowanych cząsteczek pobudzonych do życia energią elektryczną znajduje odzwierciedlenie w chęci nawiązania dialogu z naturą i poszukiwaniu odpowiedzi na fundamentalne pytania o relację między naturalnymi zjawiskami a technologicznymi możliwościami człowieka, który w świadomy sposób powinien decydować o skali ich wykorzystania zarówno dla własnych artystycznych działań, jak i dla otaczającego nas środowiska. Dzięki temu próbuję w swoich szklanych obiektach zamknąć nie tylko gazy szlachetne, ale całą gamę własnych odczuć, emocji i symboli, które w czytelny i przejmujący sposób będą rezonować w świadomości widzów, nasuwając im własne przemyślenia i pytania, a nawet zaciekawiać i skłonią do reinterpretowania pozornie znanych zagadnień.

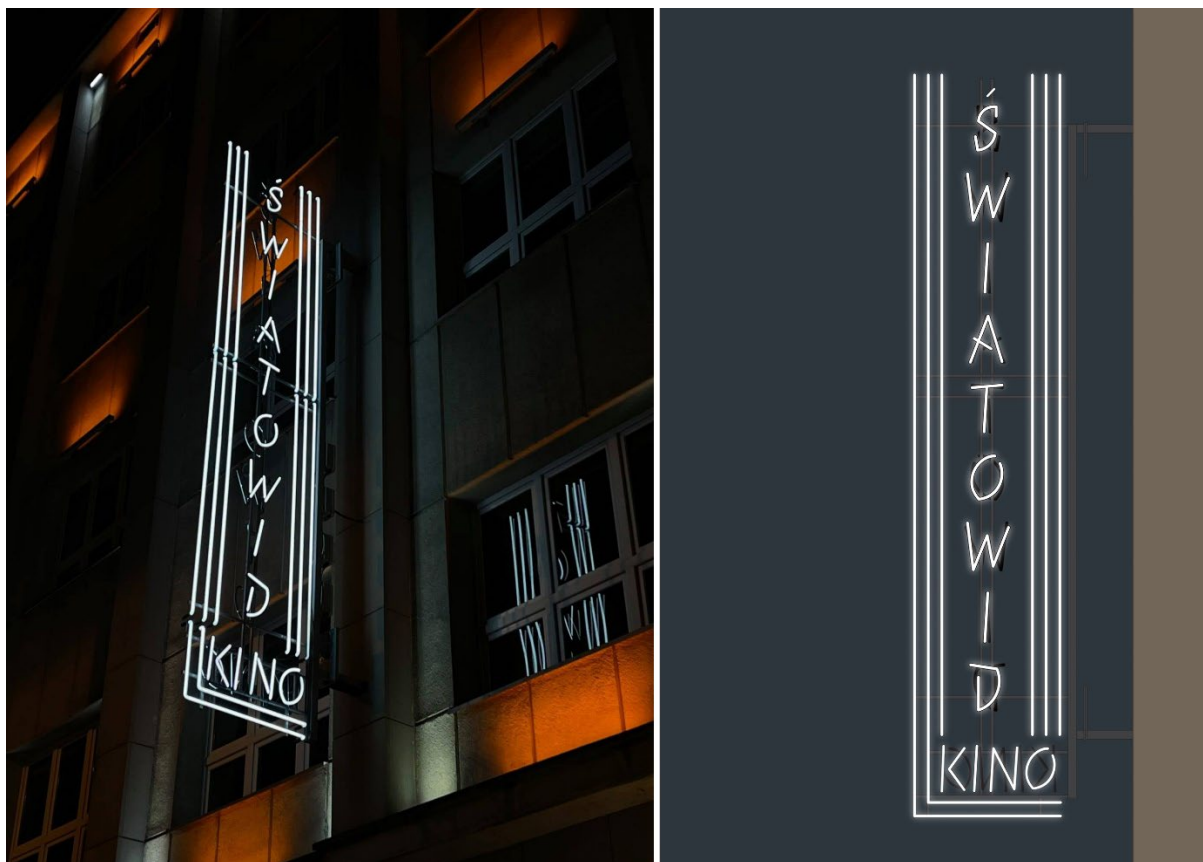
Pomimo niesprzyjających okoliczności pandemii oraz wojny w Ukrainie w trakcie 3 lat współpracy z firmą Neon Irsa zrealizowaliśmy wspólnie ponad 500 projektów neonów. Dla mnie było to ponad 500 wykonanych wizualizacji, szablonów rur neonowych, rysunków konstrukcji, konsultacji z klientami oraz ustaleń z podwykonawcami i inwestorami. Neony, które szczególnie zapadły mi w pamięć to z pewnością te największe realizacje – logo Tyskich Browarów Książęcych o średnicy 440 cm, neon NIC promujący nowy album Sokoła, który przez miesiąc zamontowany był na dachu hotelu MDM w centrum Warszawy, neon WRO dla Wro Art Center, animowany neon Etiuda C-dur zaprojektowany przez Jana Strumiłło¹⁰⁴ na konkurs zorganizowany przez Narodowy Instytut Fryderyka Chopina. Szczególny stosunek mam również do neonu kultowego Kina Światowid w Katowicach, ponieważ odpowiadałam nie tylko za jego realizację, ale również wykonałam projekt graficzny. W tym okresie

¹⁰⁴ <http://janstrumillo.pl/etiuda-c-dur/> (dostęp 12.04.2022)

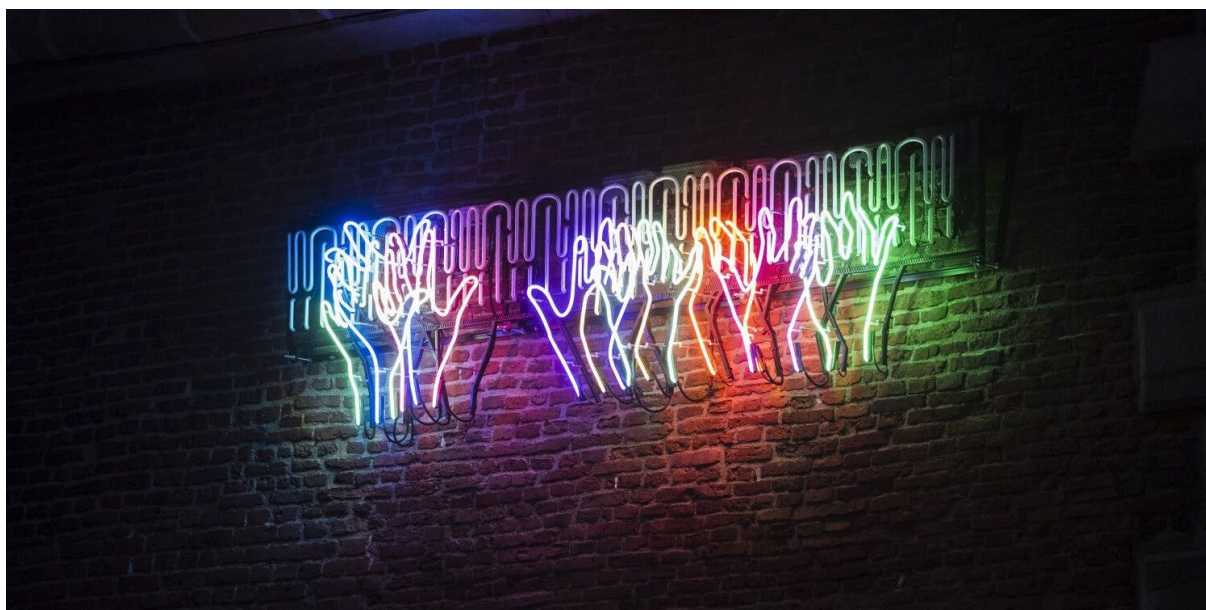
pokonałam trasę Wrocław – Katowice - Wrocław minimum 78 razy, co łącznie daje 335400km, czyli blisko 1000km miesięcznie. Kończąc program doktoratu wdrożeniowego nie kończę współpracy z Miłozem i Michałem Łankiewiczami, wierzę, że rozwiązania technologiczne, które opracowałam przyniosą wymierne korzyści i zrealizujemy razem jeszcze niejedną projekt.

Dokumentacja fotograficzna

Dokumentacja kilku realizacji firmy Neon Irsa.



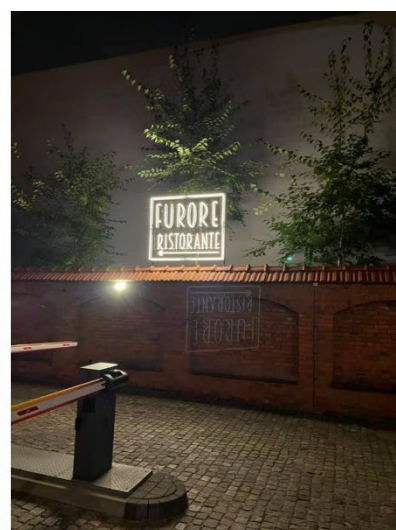
Neon Kina Światowid w Katowicach, projekt graficzny Kamila Mróz, realizacja Neon Irsa, 2021.



Animowany neon Etiuda C-dur, projekt graficzny Jan Strumillo, projekt wykonawczy Kamila Mróz, realizacja Neon Irsa, , foto. Wojciech Grzędziński, Warszawa 2021.

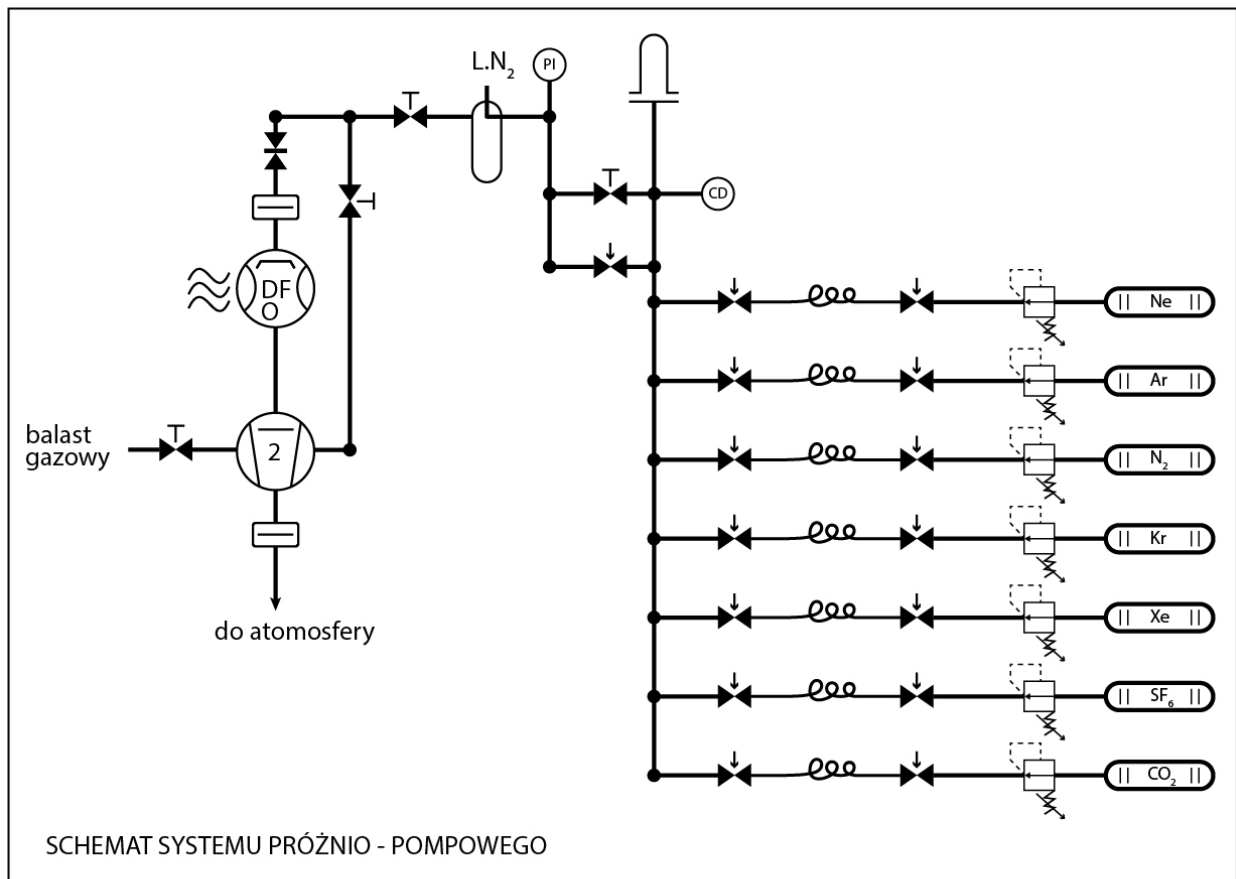


Neon logo Tyskie Browary Książęce, średnica 440 cm, projekt wykonawczy Kamila Mróz, realizacja Neon Irsa, Tychy, 2022.



Neon Furore Ristorante, projekt graficzny Kamila Mróz, realizacja Neon Irsa, Gliwice, 2021.

Stanowisko próżniowo – pompowe.



Legenda:

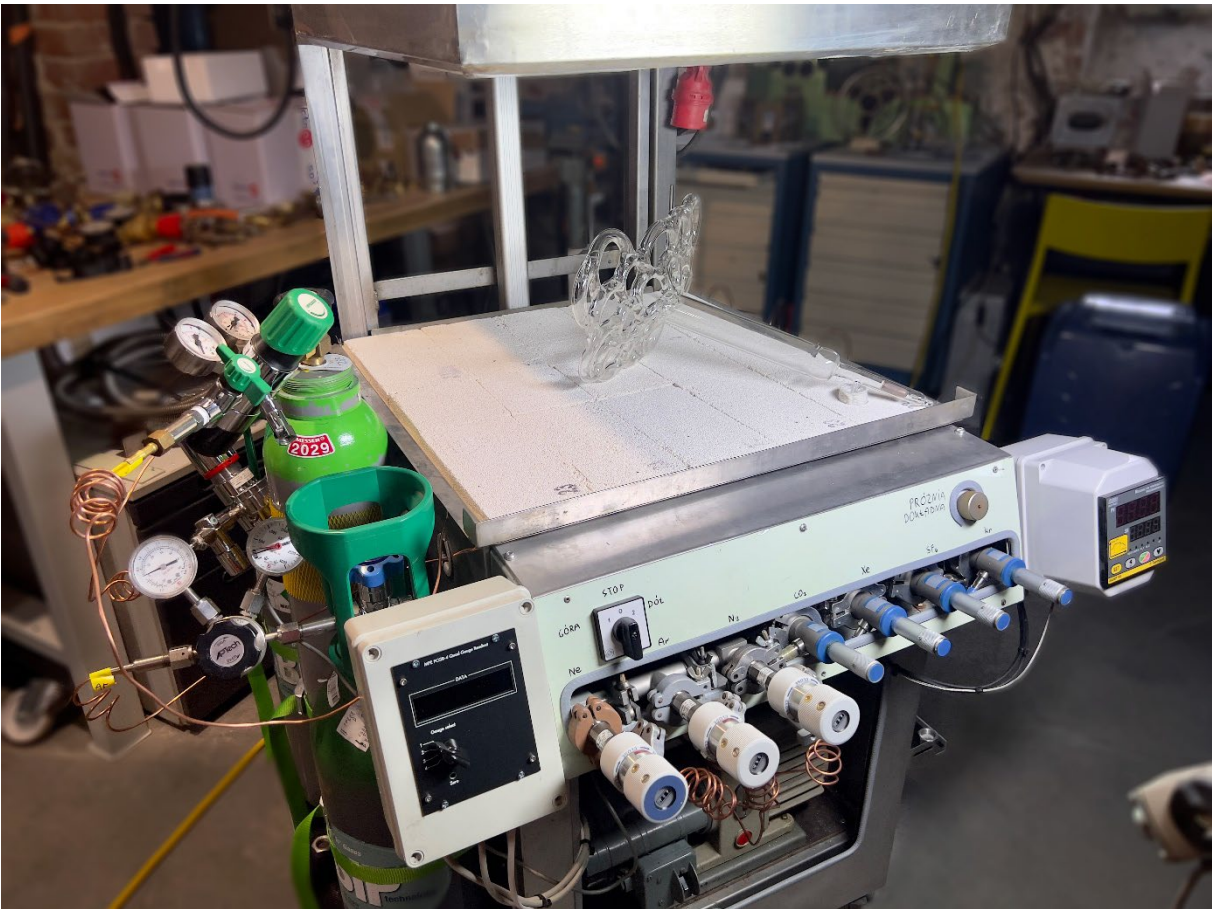
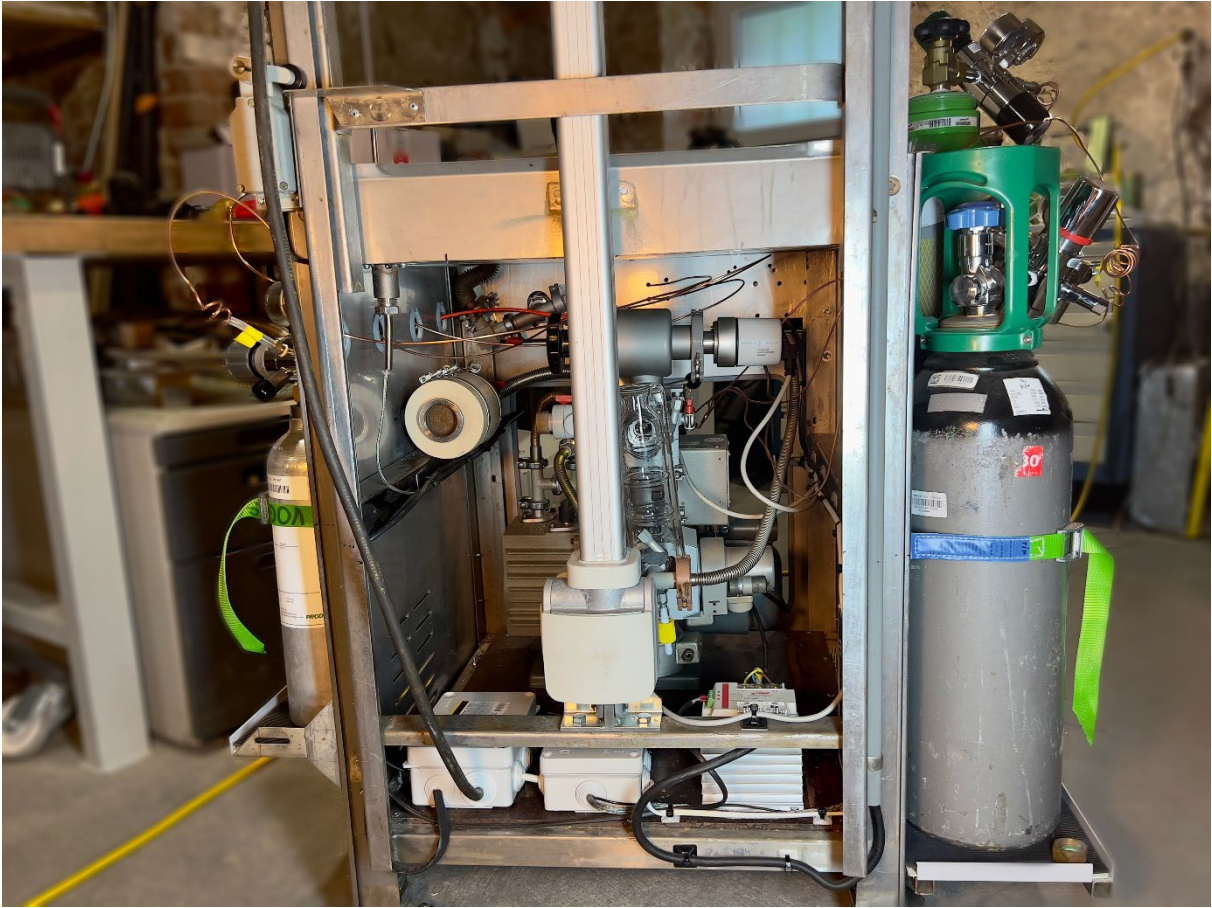
- | | | | |
|--|---|--|--|
| | zawór mieszkowy | | rurka kapilarna miedziana |
| | zawór klapowy | | precyzyjny dwustopniowy reduktor ciśnienia |
| | zawór precyzyjny | | zbiornik z gazem czystym |
| | odrzutnik mgły olejowej / odrzutnik par | | |
| | dwustopniowa pompa mechaniczna łopatkowa z suwakami w rotorze | | |
| | pompa dyfuzyjna frakcjonująca olejowa chłodzona powietrzem | | |
| | pułapka zimna - ciekły azot | | |
| | głowica kombinowana | | |
| | głowica przeponowo-pojemnościowa | | |
| | przestrzeń ewakuowana | | |





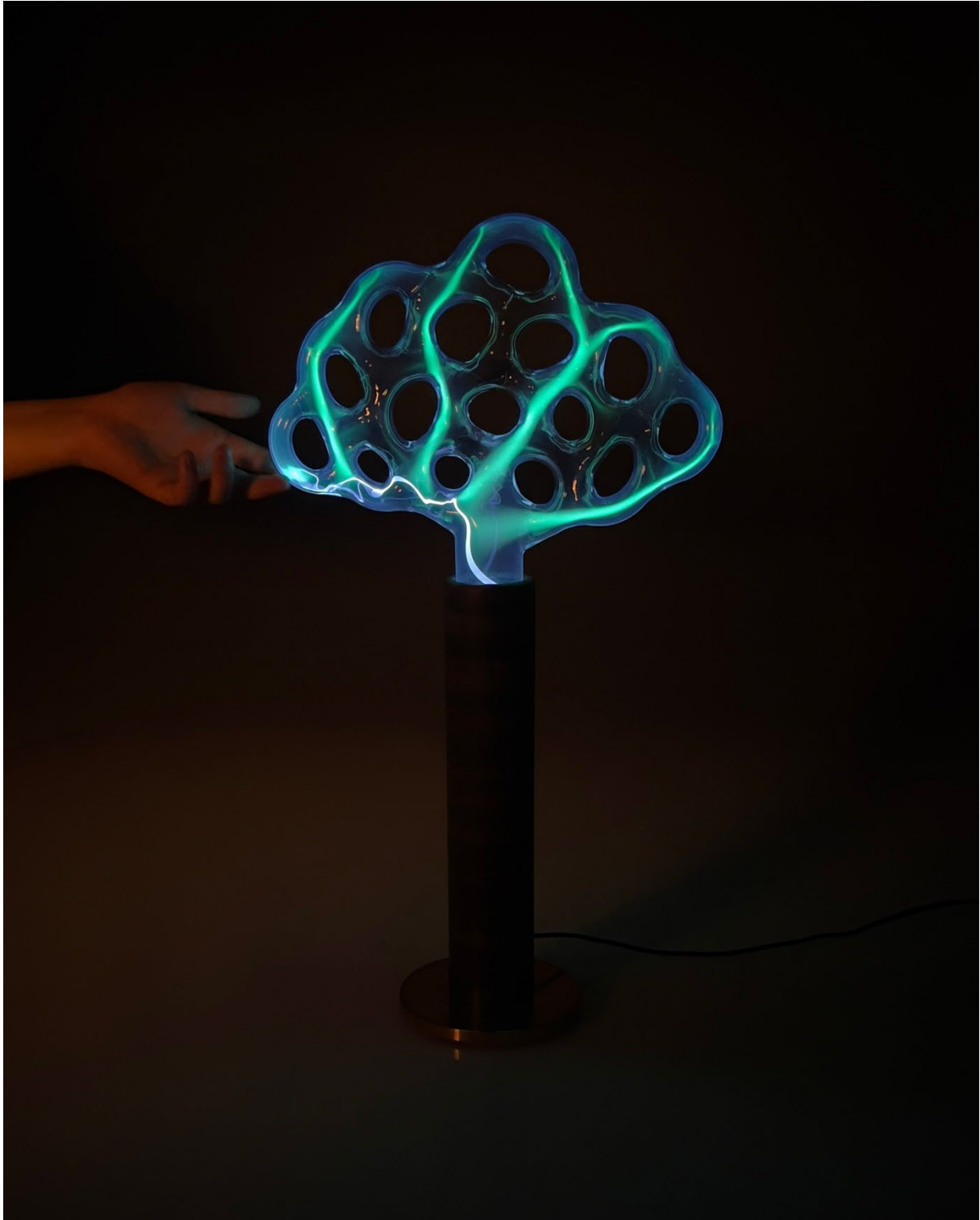






Prototypy lamp.

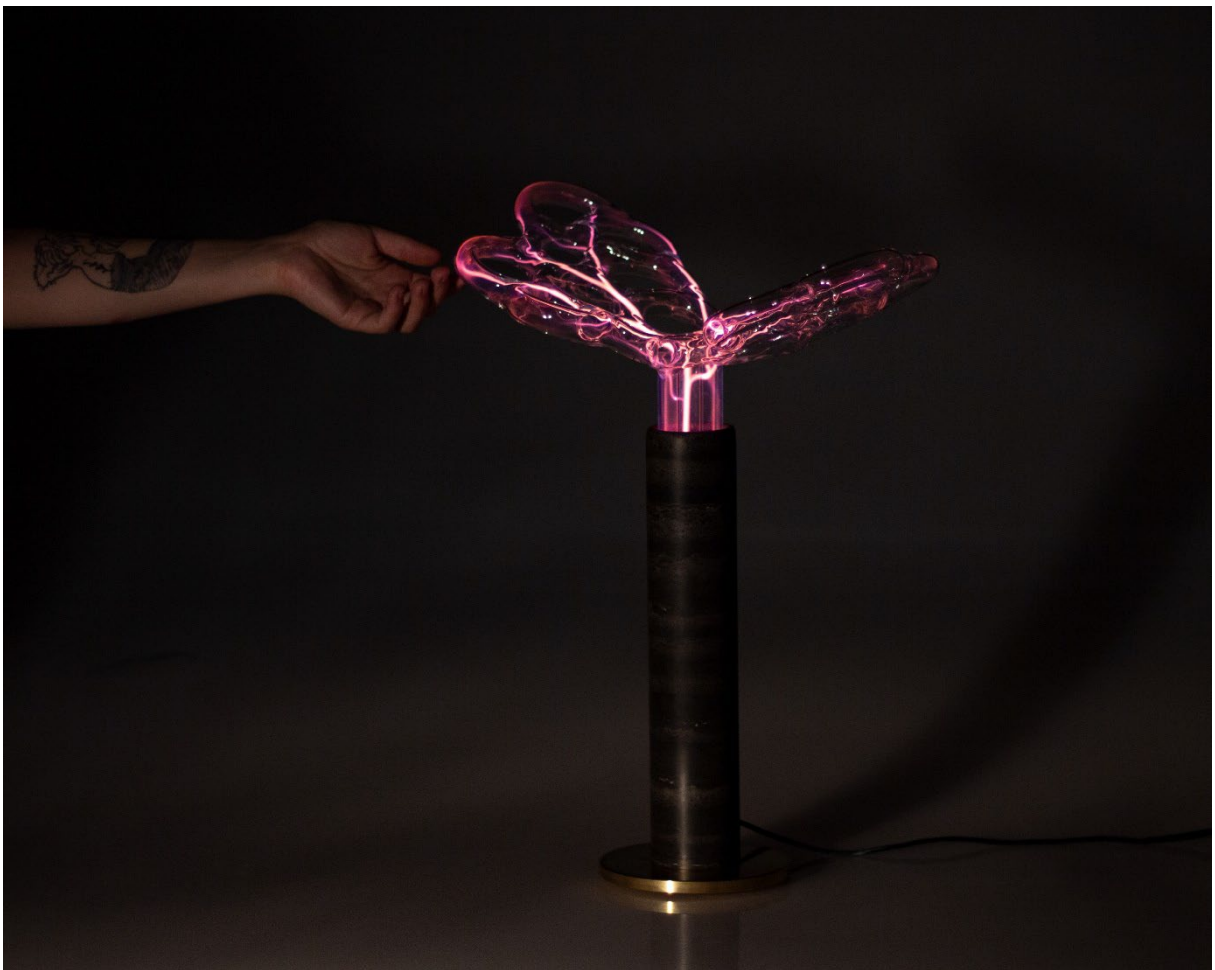
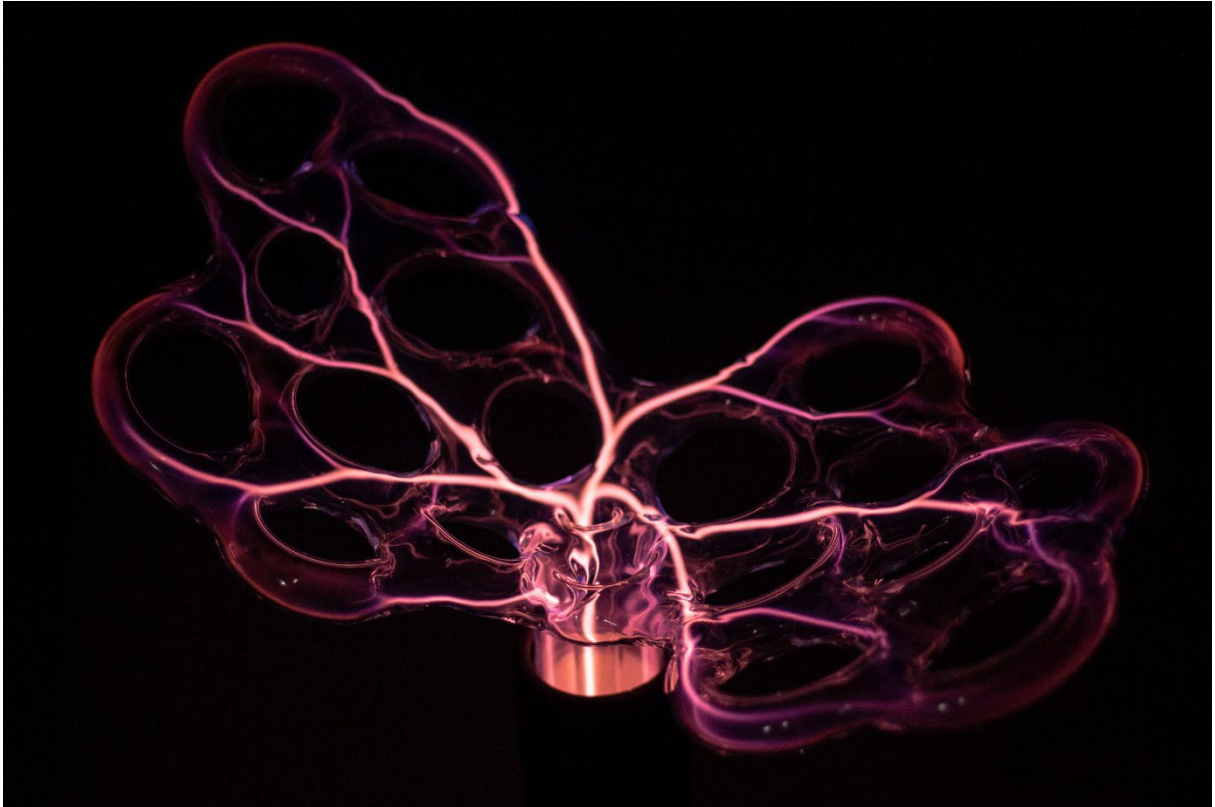












Spis ilustracji

Wszystkie ilustracje, przy których nie podano źródła, pochodzą z archiwum autorki.

<i>Ilustracja 1. Po lewej stronie: Mundy Hepburn, po prawej stronie jego rzeźba pt. „Hummingbird”, 2003 (źródło: prywatne archiwum artysty)</i>	7
<i>Ilustracja 2. Budowa Lumiglas. (źródło: patents.google.com/patent/US5383295A/en)</i>	8
<i>Ilustracja 3. Panele Lumiglas. (źródło: www.coroflot.com/luminlgas)</i>	8
<i>Ilustracja 4. Wayne Strattmana, po lewej: „Emergent #4 Energy”, 2016, po prawej: „Emergent #3 Response”, 2016 (źródło: katalog wystawy)</i>	9
<i>Ilustracja 5. Ed Kirshner, „Fiery Bowl”, szkło wykonane przez Berndta Weinmayera, 2012 (źródło: prywatne archiwum artysty)</i>	10
<i>Ilustracja 6. Eric Franklin i jego praca pt. „Embodiment”, 2006-2008 (źródło: www.ericfranklin.com)</i>	11
<i>Ilustracja 7. Bernd Weinmayer, „Joker”, 2010 (źródło: www.weinmayer.at)</i>	12
<i>Ilustracja 8. Harriet Schwarzrock „Spaces between movement and stillness” (źródło: www.curtisglassart.com)</i>	13
<i>Ilustracja 9. Uroczyste włączenie neonu na elewacji budynku, w którym mieści się siedziba firmy Neon Irsa, ul. Dębowa 16a/2 w Katowicach, 2021.</i>	15
<i>Ilustracja 10. Po lewej stronie elektroda wewnętrzna typ Dewar’a, po prawej stronie elektroda metaliczna z powłoką ułatwiającą emisję fotoelektronową.</i>	23
<i>Ilustracja 11. Elektroda o bardzo małym promieniu, zaostrożona.</i>	24
<i>Ilustracja 12. Korona dodatnia.</i>	25
<i>Ilustracja 13. Przykład wykorzystania wpływu jaki wywiera geometria oraz grubość warstwy gazu na intensywność emisji wtórnej z cząsteczek oblepiających wewnętrzne szklanej formy. Widoczne charakterystyczne gradienty i zwiększona intensywność emisji w uchylkach o najmniejszym przekroju.</i>	26
<i>Ilustracja 14. Dotknięcie.</i>	27
<i>Ilustracja 15. Odrzutnik par, pierwsza próba wykonania.</i>	29
<i>Ilustracja 16. Źródło: www.researchgate.net/publication/323133556_Virtual_prototype_of_a_low-cost_vacuum_baffle_based_on_thermoelectric_cooling/citations</i>	30
<i>Ilustracja 17. Szklana pułapka zimna.</i>	31
<i>Ilustracja 18. Lutowanie miękkie elementów rozdzielacza wykonanych z miedzi, mosiądzu i stali nierdzewnej lutowiem należącym do grupy tzw. Superstopów (cyna, srebro i krzem metaliczny).</i>	32
<i>Ilustracja 19. Layout płytek drukowanych kontrolera autorstwa Andersa Mikkelsena.</i>	33
<i>Ilustracja 20. Po lewej stronie podgrzewacz indukcyjny Ideal Inductor 1.5kW. Po prawej stronie specjalnie dostosowana cewka wykonana samodzielnie.</i>	40
<i>Ilustracja 21. Skład mieszanek gazowych opracowanych przez Carla Willisa. (źródło: prywatne archiwum twórcy)</i>	45
<i>Ilustracja 22. Mieszanka neon-argon-ksenon.</i>	46

<i>Ilustracja 23. Argon ciśnienie zbliżone do 950 - 970Tr, rura o średnicy 45 mm. Źródło zasilania własnej konstrukcji.</i>	47
<i>Ilustracja 24. Po lewej stronie jod krystaliczny w szklanej ampule transportowej. Po prawej stronie zbliżenie na zbijaną pieczęć.</i>	48
<i>Ilustracja 25. Fragmenty rzeźby wykonanej we współpracy z Peterem Voss-Knude. Efekt wyładowania argonu domieszkowanego parami jodu.</i>	48
<i>Ilustracja 26. „Delta” interpretacja logo firmy Air Products.</i>	49
<i>Ilustracja 27. „You can touch me if you want”, 2021.</i>	50
<i>Ilustracja 28. Azot 15.</i>	50
<i>Ilustracja 29. Obiekt zasilany MINIMAX70 (źródło: www.curtisglassart.com i prywatne archiwum Harriet Schwarzrock)</i>	52
<i>Ilustracja 30. Instalacja Dichroic Light Field na budynku Millennium Tower przy 160 Columbus Avenue w Nowym Jorku (źródło: www.jcdainc.com/projects/dichroic-light-field2)</i>	57
<i>Ilustracja 31. Seria Constellation, J. Turrell (źródło: www.pacegallery.com/exhibitions/james-turrell-9/)</i>	59
<i>Ilustracja 32. Lotos orzechodajny (źródło www.flickrriver.com/photos/hen-magonza/43997218311/)</i>	65
<i>Ilustracja 33. Fragment szklanej formy lampy.</i>	66
<i>Ilustracja 34. Model 3D lampy.</i>	67
<i>Ilustracja 35. "Historia pewnej znajomości", 2008</i>	69
<i>Ilustracja 36. „Caterpillar” - część artystyczna dyplomu magisterskiego, 2013, promotor prof. Barbara Zworska-Raziuk.</i>	71
<i>Ilustracja 37. "Triki - biżuteria modułowa" - część użytkowa dyplomu magisterskiego, 2013, promotor prof. Kazimierz Pawlak.</i>	71
<i>Ilustracja 38. "Pożeracz" widok z wystawy European Glass Context 2016, Bornholm Art Museum w Danii.</i>	73
<i>Ilustracja 39. Stanowisko imitujące zorzę polarną, Centrum Nauki i Techniki EC1 w Łodzi, 2017.</i>	74
<i>Ilustracja 40. Strumień elektronów, pracownia NEONOFF, Łódź, 2017.</i>	74
<i>Ilustracja 41. Rura Crookse'a, Centrum Nauki i Techniki EC1 w Łodzi, 2017.</i>	75
<i>Ilustracja 42. Naprawa kuli plazmowej autorstwa Wayne'a Strattmana, Łódź, 2017.</i>	76
<i>Ilustracja 43. "Chrystus Narodów?", 2017.</i>	76
<i>Ilustracja 44. Fragment pracy "Chrystus Narodów?", 2017.</i>	77
<i>Ilustracja 45. "Dobra robota - jakim kosztem?", 2018</i>	78

Bibliografia

Książki:

- Arcimowicz Lew Andrzej, *Czwarty stan skupienia*, Państwowe Wydawnictwo „Wiedza Powszechna”, Warszawa, 1972.
- Arnheim Rudolf, *Sztuka i percepcja wzrokowa. Psychologia twórczego oka*, przeł. Jolanta Mach, Wydawnictwo słowo/obraz terytoria, Gdańsk, 2004.
- Brach-Czaina Jolanta, *Błony umysłu*, Wydawnictwo: Sic!, Warszawa 2003.
- Caba Randall, *The Neon Superguide - Complete How-to Manual*, A Neon Press Publication, 2001.
- Celiński Zdzisław, *Plazma*, Biblioteka Problemów, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1980.
- Czerniński A.W., *Wstęp do fizyki plazmy*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1971.
- Eccles Henry, *Glass Working for Luminous Tubes*, Blandford Press LTD., Londyn, 1937.
- *Encyklopedia Techniki podstawy techniki*, redaktor naczelny Heliodor Chmielewski, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1974.
- Finkelsztein Dawid, *Gazy szlachetne*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1964.
- Goethe Jan Wolfgang, *Elegia V*, w: *Elegie rzymskie*, przeł. L. Staff, Warszawa: PIW, 1980.
- Grosz Elizabeth, *Volatile Bodies*, Indiana University Press, 1994.
- Groszkowski Janusz, *Technika wysokiej próżni*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1978.
- Jakobsch Sebastian, *Osiem pomysłnych symboli w tradycji buddyjskiej*, „Nomos. Kwartalnik Religioznawczy” nr 45–46, 2004.
- Koprowicz Janusz i Krakowiak Stanisław, *Reklamy świetlne jarzeniowe*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1971.
- Łebkowska Anna, *Afirmacja dotyku w dyskursie współczesności*, w: *W kulturze dotyku? Dotyk i jego reprezentacje w tekstach kultury*, red. A. Łabkowska, Ł. Wróblewski, P. Badysiak, Zakład wydawniczy „Nomos”, 2016.
- Macha Edward, *Niezawodność maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole, 2001.
- Masland Richard, *Czego oczy nie widzą. Jak wzrok kształtuje nasze myśli?*, Wydawnictwo Poznańskie, 2020.
- Merleau-Ponty Maurice, *Fenomenologia percepcji*, tłum. M. Kowalska, J. Migasiński, Wydawnictwo Fundacja Aletheia, Warszawa, 2001.
- Popper Frank, *From Technological to Virtual Art*, Cambridge-London 2007.
- Sawicki Jan, *Lampy elektronowe i elementy półprzewodnikowe*, Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego, Warszawa, 1966.
- Smolińska Marta, *Haptyczność poszerzona: zmysł dotyku w sztuce polskiej drugiej połowy XX i początku XXI wieku*, TAIWPN Universitas, Kraków, 2020.

- Strattman Wayne, *Neon Techniques – Handbook of Neon Sign and Cold-Cathode Lighting 4th Edition*, ST Books, Ohio, USA, 2015.
- Szczepanowicz Barbara, *Atlas roślin biblijnych. Pochodzenie, miejsce w Biblii i symbolika*, WAM, Kraków, 2003.
- Tokarczuk Olga, *Czuły narrator*, Wydawnictwo Literackie, Kraków, 2020.
- Wierzchowski Kazimierz, *Gazy szlachetne – zarys technologii i własności chemiczne*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1968.
- Zieliński Jarosław, *Neony ulotny ornament warszawskiej nocy*, Fundacja Hereditas, Warszawa, 2010.

Źródła cyfrowe:

- *Aurora. Fabled glowing light of the Sun-Earth connection* https://pwg.gsfc.nasa.gov/polar/EPO/auroral_poster/aurora_all.pdf (dostęp 27.12.2021)
- Beswick J.A., Halberstadt N., Janda K.C., *Structure and dynamics of noble gas-halogen and noble gas ionic clusters: When theory meets experiment*, w: *Chemical Physics* 399, 2012
- Borchardt Gesine, Byung-Chul Han: *How Objects Lost their Magic*, <https://artreview.com/byung-chul-han-how-objects-lost-their-magic/> (dostęp: 08.01.2022)
- Echols II Percy, *Podcast Taming Lightning* <http://www.percyechols.com/podcast.html> (dostęp: 10.01.2022)
- Franklin Eric – strona artysty <https://www.ericfranklin.com> (dostęp 27.12.2021)
- Garrido J.M.C., Silveyra J.M., *Virtual prototype of a low-cost vacuum baffle based on thermoelectric cooling*, w: *Vacuum* 151, 2018. https://www.researchgate.net/publication/323133556_Virtual_prototype_of_a_low-cost_vacuum_baffle_based_on_thermoelectric_cooling/citations (dostęp możliwy po zalogowaniu, 12.02.2022)
- Google Patents <https://patents.google.com/patent/US5383295A/en> <https://patents.google.com/patent/US6924598B2/en> <https://patents.google.com/patent/US6362568B1> (dostęp 27.12.2021)
- *International Festival of Glass* oficjalna strona <https://www.ifg.org.uk/> (dostęp 27.12.2021)
- Kirshner Ed - strona artysty <https://www.aurorasculpture.com/>
- Korolczuk Elżbieta, *Niebezpieczne związki, czyli o granicach wolności w sztuce i w życiu*, w: „Mocak Forum” nr 2/2013. <https://www.mocak.pl/niebezpieczne-zwiazki-czyli-o-granicach-wolnosci-w-sztuce-i-w-zyciu-elzbieta-korolczuk>
- Łapiński Krzysztof, *Badacz: trypofobia to nasza pozostałość ewolucyjna*, <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C397032%2Cbadacz-trypofobia-to-nasza-pozostalosc-ewolucyjna.html> (dostęp 20.01.2022)
- Migdał M. Anna, *Rola wizualnej haptycznej percepcji w procesie poznawczym form plastycznego wyrazu*, w: „Eruditio et Ars” nr 1/2018(1) <http://eruditioetars.pwsz-ns.edu.pl/index.php/archiwum/2018/2-nr-1-2018>
- *Mondo Neon* – podcast <https://www.mondoneon.com/mondo-neon-podcast> (dostęp: 10.01.2022)

- *Neon Lighting Professionals* - Zamknięta grupa na platformie Facebook, licząca 1027 członków. <https://www.facebook.com/groups/365369900264639/> (dostęp: 10.01.2022)
- Pallasmaa Juhani, *Wyobraźnia materialna i głos materii II*, przeł. M. Choptiany, w: "Autoportret" nr 1[48] 2015. <https://autoportret.pl/artykuly/materia-haptycznosc-i-czas-ii/2/>
- Pilchuck Glass School – międzynarodowe centrum edukacyjne z zakresu szkła artystycznego. <https://www.pilchuck.org/> (dostęp 27.12.2021)
- *Plasma Art Alliance* – oficjalna strona <https://plasmaartalliance.com/> (dostęp: 10.01.2022)
- Podgórski Michał, *Ucieczka od wizualności i jej społeczne konsekwencje. Fenomen estetyki haptycznej*, praca doktorska, Poznań, 2021. <https://repozytorium.amu.edu.pl/handle/10593/1437>
- Schielke T., *Light Matters: Glass Beyond Transparency with James Carpenter*, https://www.archdaily.com/454892/light-matters-glass-beyond-transparency-with-james-carpenter_, (dostęp: 14.01.2022)
- Smolińska Marta, *Performatywne gry z dotykiem: ambiwalencje sztuki haptycznej*, w: *Zeszyty Artystyczne* #29 nr 2 (29) 2016, Uniwersytet Artystyczny w Poznaniu, 2016. http://za.uap.edu.pl/uploads/2018/07/ZA_29
- Schwarzrock Harriet – strona artystki <https://www.curtisglassart.com> (dostęp 27.12.2021)
- Strattman Wayne – strona artysty <https://www.waynestrattman.com/about> (dostęp 27.12.2021)
- Strattman Wayne, *Contributions to the Advancement of the Neon Arts*, rozprawa doktorska, University of Sunderland, 2008 <https://sure.sunderland.ac.uk/id/eprint/3538/> (dostęp 27.12.2021)
- Strattman Wayne, *Live - Streamed Studio Demo* <https://youtu.be/hktpkqbiwIs> (dostęp 27.12.2021)
- Sweet DK, *Between Randomness and Chaos with Ed Kirshner*, "World Art Glass Quarterly", 2017, Volume 2, <https://issuu.com/worldartglassquarterly/docs/vol2-fullissuesp> (dostęp 27.12.2021)
- Szuppe Paweł, *Kulturowo-religijny wymiar kwiatu lotosu*, NURT SVD 1 (2019) <http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-577835fc-7caf-454a-a512-c51008d5a621> (dostęp 20.01.2022)
- Szydłowski Marek, Hereć Monika, Tambor Paweł, *Samoorganizujący się Wszechświat w różnych skalach - miejsce, gdzie nauka spotyka się z filozofia*, https://www.kul.pl/files/57/transfer_idei/szydowski.pdf. (dostęp 27.12.2021)
- Turrell James, *The Wolfsburg Project*, <https://www.youtube.com/watch?v=QWekIcZaKns> (dostęp: 14.01.2022)
- Voss-Knude Peter – oficjalna strona artysty <http://voss-knude.com/> (dostęp 2.03.2022)