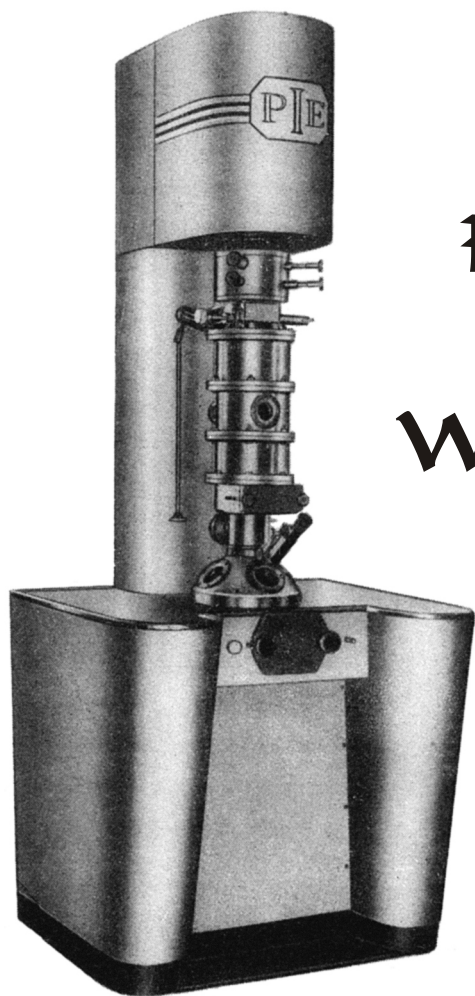


JUBILEUSZOWE
SEMINARIUM NAUKOWE



**POLSKA
ELEKTRONIKA
PRÓŻNIOWA
WCZORAJ I DZIŚ**



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

JUBILEUSZOWE SEMINARIUM NAUKOWE

poświęcone
50-leciu pracy naukowej oraz 70-leciu urodzin
prof. Wojciecha CZARCZYŃSKIEGO
i prof. Andrzeja HAŁASA

POLSKA ELEKTRONIKA PRÓŻNIOWA WCZORAJ I DZIŚ

pod patronatem JM Rektora Politechniki Wrocławskiej
prof. zw. dra hab. inż. Tadeusza Lutego

Wrocław, 15 czerwca 2005 r.



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2005

*Komitet organizacyjny
Jubileuszowego Seminarium Naukowego:*

Włodzimierz Drzazga
Jan Felba
Benedykt Licznerski
Bronisława Olszewska-Mateja
Jerzy Zdanowski

Wydrukowano na podstawie dostarczonych materiałów

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005

ISBN 83-7085-877-5

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 468/2005.

Spis treści

Słowo wstępne	5
Zarys historii techniki wysokiej próżni w Polsce	7
Z historii lamp mikrofalowych we Wrocławiu	27
Zastosowania termicznych oddziaływań skoncentrowanych wiązek elektrono- wych dużej mocy z ciałem stałym w polskim przemyśle i nauce	41
Sylwetka profesora Wojciecha Czarczyńskiego	55
Sylwetka profesora Andrzeja Hałasa	59

Słowo wstępne

Seminarium, którego materiały zawiera niniejszy zeszyt, stanowi sesję historyczną obejmującą dzieje polskiej elektroniki próżniowej, jej ważnej części nie tracącej znaczenia praktycznego do dzisiaj.

Tematyka tej sesji dotyczy po pierwsze techniki wysokiej próżni – zagadnień wytwarzania i metrologii próżni oraz budowy urządzeń dla technologii próżniowych. Dziedzina ta miała w Polsce okres świetności, gdy promował ją jeden z największych polskich autorytetów naukowych, Prezes Polskiej Akademii Nauk, prof. Janusz Groszkowski, gdy badania i prace rozwojowe w tej dziedzinie były jednym z głównych kierunków działalności Przemysłowego Instytutu Elektroniki w Warszawie i jego oddziału we Wrocławiu, powstałych i rozwijających się pod kierunkiem prof. Wiesława Barwicza. W tym czasie opóźnienie polskiej techniki i technologii próżniowej było znacznie mniejsze niż jest to w wielu dziedzinach obecnie, a nasi ówcześni sąsiedzi z polskich ośrodków próżniowych czerpali wiedzę i wzory. Lata kolejne, gdy technikę lampową wypierały przyrządy półprzewodnikowe, wydawały się okresem schyłkowym technik próżniowych – procesy technologiczne nie wymagały wysokich próżni, w kraju środki finansowe szły na rozwój technologii półprzewodnikowych, a w technice próżniowej wystąpił w związku z tym zastój, uzasadniony także osiągnięciem poziomu zaawansowania technicznego wystarczającego dla zaspokojenia potrzeb przemysłu. Dalszy postęp technologii półprzewodnikowych wyrażający się rosnącą skalą integracji, wejściem w submikrometrowy zakres rozmiaru elementów przywrócił jednak znaczenie wysokiej i ultrawysokiej próżni w technologii wytwarzania. Takie procesy jak epitaksja z wiązki molekularnej, implantacja jonowa czy jonowe i plazmowe metody nanoszenia warstw i trawienia wymagają wysokiej i bardzo wysokiej próżni.

Drugi wątek tematyczny sesji stanowią lampy mikrofalowe, niezastąpione do dziś w zakresie średnich i dużych mocy w technice wojskowej, kosmicznej, w systemach nawigacji morskiej i powietrznej, a także w sprzęcie domowym – kuchenkach mikrofalowych. Wrocławskie środowisko naukowe i przemysłowe miało znaczny udział w opracowaniu polskich prototypów szeregu lamp i we wdrożeniu ich do produkcji przemysłowej. Do dziś prowadzone są badania i prace projektowe prowadzące do udoskonalenia lamp mikrofalowych i bez przesady można stwierdzić, że lampy, w jakich specjalizuje się polska elektronika, nie odbiegają od poziomu światowego.

Ostatni, trzeci temat sesji dotyczy wiązki elektronowej i jej termicznych oddziaływań z ciałem stałym. W nowoczesnej technologii wiązka elektronowa jako nośnik energii jest w wielu zastosowaniach narzędziem niezastąpionym i warunkuje wysoki poziom tej technologii.

Przedstawiona wyżej tematyka sesji naukowej dobrana została z jednej strony ze względu na jej naukowe i techniczne znaczenie i znaczny udział polskiego środowiska naukowego i technicznego w jej rozwijaniu i wdrażaniu do produkcji rezultatów prac badawczych i projektowych, a z drugiej strony ze względu na uznany i ważki wkład w tę dziedzinę osób, dla uczczenia których sesję zorganizowano, tj. Jubilatów prof. Wojciecha Czarczyńskiego i prof. Andrzeja Hałasa.

Organizator Seminarium


Prof. dr inż. Jerzy Zdanowski

Dziekan Wydziału
Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki


Prof. dr hab. inż. Benedykt Licznerski

ZARYS HISTORII TECHNIKI WYSOKIEJ PRÓŻNI W POLSCE

Piotr Szwemin

Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej

Siedemdziesiąte urodziny Profesora Andrzeja Hałasa, nauczyciela wielu dzisiejszych „próżniowców”, niestrudzonego propagatora technologii próżniowych i animatora krajowego środowiska próżniowego prowokują do spojrzenia w przeszłość i do dokonania próby utrwalenia historii tej dziedziny w kraju.

1. Początki w Politechnice Warszawskiej

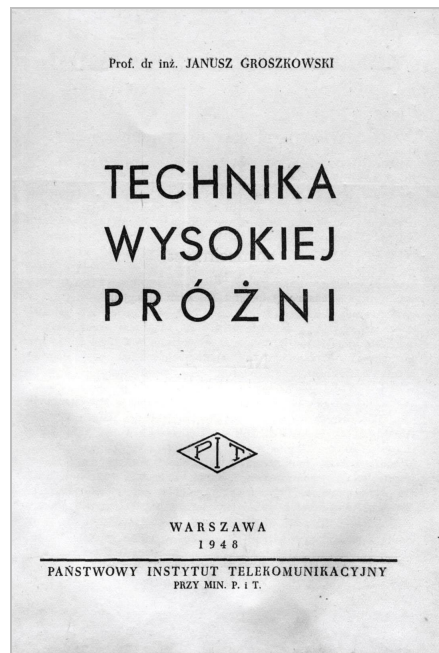
Pierwszym śladem materialnym w historii techniki próżni w Polsce jest praca kpt. inż. Janusza Groszkowskiego poświęcona uwalnianiu „gazów okludowanych w trio-dzie” nadawczej w funkcji wydzielanej w anodzie mocy, opublikowana w 1925 r. [1].

Z perspektywy lat dopatrujemy się szczególnej konsekwencji w ewolucji zainteresowań prof. Janusza Groszkowskiego: od pierwszych zainteresowań technicznych radiostacjami (jeszcze jako oficera wojsk łączności) przez prace naukowe z teorii stabilizacji częstotliwości i z nieliniowej teorii generacji (tworzonych przez niego już jako profesora w Politechnice Warszawskiej) ku lampom elektronowym – zwłaszcza magnetronom i w trakcie tej drogi dostrzeżenie problemów materiałowych oraz technologicznych mających zasadniczy wpływ na jakość lamp elektronowych, a w konsekwencji na właściwości składających się z nich urządzeń. Badane w końcu lat 30. magnetrony pompowane były w Laboratorium Katedry Radiotechniki na stanowisku wysokiej próżni. Stanowisko to było zbudowane z podzespółów próżniowych udostępnionych przez Polskie Zakłady Philipsa S.A. (założone w 1922 r.) [2]. Taka była droga do załóżków techniki wysokiej próżni w Polsce.

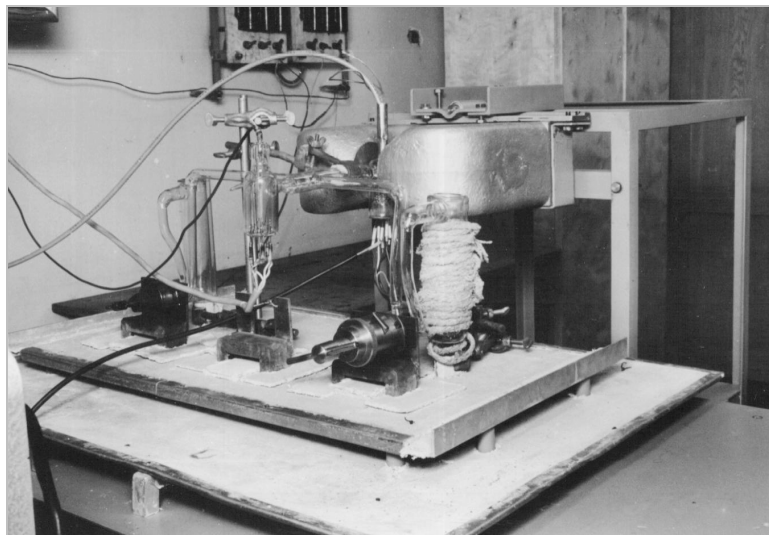
Jeszcze w latach okupacji prof. Janusz Groszkowski przygotował rękopis pierwszego polskiego podręcznika poświęconego technice wysokiej próżni, wydanego nakładem Państwowego Instytutu Telekomunikacji w roku 1948 [3] (rys. 1). W tym samym roku profesor zaczął wykładać w Politechnice Warszawskiej przedmiot „Technika wysokiej próżni”, uzupełniony w 1950 r. o laboratorium z tego zakresu (rys. 2). W następnych latach pojawiają się nowe podręczniki Technologii Próżni [4] i Techniki Próżni [5] Jego autorstwa i kolejne książki poświęcone tej dziedzinie. Podręczniki te doczekały się przekładów na obce języki.

2. Początki w Politechnice Wrocławskiej

Zaczątków techniki próżni w środowisku wrocławskim można dopatrzeć się w powstającej w 1954 r. Katedrze Elektroniki. Utworzył ją doc. Wiesław Barwicz, a w jej skład, na początku lat 60. wchodził starsi asystenci Andrzej Hałas, Romuald Nowicki



Rys. 1. Okładka pierwszego polskiego podręcznika J. Groszkowskiego „Technika Wysokiej Próżni” (1948 r.)



Rys. 2. Stanowisko laboratoryjne w Katedrze Wysokiej Próżni Politechniki Warszawskiej; początek lat 60. Zawory metalowe: z lewej zawór zbudowany w KWP, zawór z prawej produkcji PIE. Pomiędzy nabiegownikami magnesu – omegatron

oraz asystenci – Andrzej Mulak, Henryk Szymański i Jerzy Zdanowski. Jednym z obszarów naukowych i dydaktycznych Katedry była technologia i aparatura wysokiej próżni. Z wypowiedzi wymienionych osób wynika, że początkowo podstaw w tej dziedzinie dostarczał pierwszy podręcznik prof. Janusza Groszkowskiego. Dwadzieścia lat później, w 1974 r. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej wydało skrypt prof. Andrzeja Hałasa „Technologia Wysokiej Próżni”. W skrypcie tym autor wprowadził elementy kinetycznej teorii gazów, co upowszechniało podstawy fizyczne techniki próżni w nowoczesnej formie. Skrypt ten po licznych uzupełnieniach wydany został przez PWN [6] w 1980 r. w formie podręcznika akademickiego, zyskując uznanie całego środowiska próżniowego i bardzo pochlebny recenzję prof. Janusza Groszkowskiego.

Pionierski okres pracy w Politechnice Wrocławskiej prof. Andrzej Hałas tak wspomina: *Mówiąc o organizacji laboratoriów mam na uwadze nie tylko zestawianie ćwiczeń, czy opracowanie skryptu i instrukcji, ale budowę stanowisk technologicznych i pomiarowych, budowę zasilaczy, a nawet niektórych przyrządów pomiarowych. Podstawowy szkielet tych laboratoriów powstał w ciągu zaledwie kilku lat i z perspektywy czasu oceniam to jako jedno z największych moich osiągnięć dydaktycznych* [7]. Sądzę, że opis ten dobrze charakteryzuje osobę Profesora oraz atmosferę okresu powojennego panującą także w innych krajowych uczelniach.

3. Zakład Techniki Próżni w Politechnice Wrocławskiej

Zakład Techniki Próżni istniał od 1968 r., jako wydzielona jednostka, niezależnie od szeregu zmian w strukturze Politechniki Wrocławskiej (w 1968 roku powstał Instytut Technologii Elektronowej, w skład którego weszła Katedra Elektroniki; w 1998 r. ITE stał się Instytutem Techniki Mikrosystemów by, w 2002 r. przekształcić się w samodzielny Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki [8]). Zakładem kierowali: doc. dr inż. Andrzej Hałas (od 1983 profesor tytularny), a następnie doc. Michał Moraw. Prace w dziedzinie techniki próżni prowadzili także doktorzy Andrzej Detka, Czesław Kirczuk, Józef Kudzia, Jan Opyrczał i Herbert Prasol. Kierownikiem Zakładu jest obecnie dr hab. Witold Posadowski. Prof. dr Andrzej Hałas jest obecnie kierownikiem Katedry Mikroelektroniki i Mikrosystemów, w skład której wchodzi ten zakład.

W dziedzinie miernictwa próżni prace Zakładu związane były z górnym kresem głowic jonizacyjnych i opracowaniem próżniomierza jonizacyjnego na zakres wyższych ciśnień (do 10^{-2} Pa) o konstrukcji głowicy wzorowanej na pracy Shultza-Phelpsa. Głowica ta posiadała katodę itrową, odporną na utleniające działanie gazów resztkowych o podwyższonym ciśnieniu. Małoseryjną produkcję tego próżniomierza podjął ZOPAP w Warszawie. Z kolei opracowana pod kierunkiem doc. Michała Morawa głowica jarzeniowa (o konstrukcji odwróconego magnetronu) pozwalała na pomiary najniższych ciśnień. Opracowano też konstrukcję kombinowaną głowicy jonizacyjnej wysokociśnieniowej z głowicą typu Bayarda-Alperta, rozszerzając tym samym zakres

ciśnien mierzonych próżniomierzem jonizacyjnym. Dla celów technicznych opracowano próżniomierz z zespoloną głowicą cieplno-przewodnościową i jonową. Stał się on podstawowym wyposażeniem napyłarek próżniowych, produkowanych w ZAP w Bolesławcu i TEPRO w Koszalinie.

Już na początku lat 70. z inicjatywy prof. Andrzeja Hałasa, podjęto badania kriogeneratorów, w tym opartych na termodynamicznym cyklu Gifforda-McMahona, a pod koniec lat 70. zbudowano pompę kriogeniczną z taką chłodziarką. Prowadzone przez wiele lat badania i prace konstrukcyjne doprowadziły ostatecznie do uruchomienia małoseryjnej produkcji tych pomp na terenie Instytutu. Najnowszy model kriopompy (z końca lat 90.) przedstawia rys. 3. Prace te prowadziły zespół badawczy w kierunku ekstremalnie wysokiej próżni. Wyrazem uznania autorytetu Zakładu w tym obszarze był szereg zamawianych referatów konferencyjnych na temat ultra wysokiej i ekstremalnej próżni jakie, prof. Andrzej Hałas wygłaszał na wielu konferencjach próżniowych. Przedmiotem badań Zakładu stały się w latach 90. procesy sorpcji i desorpcji gazu na ściankach aparatury próżniowej – ograniczające możliwość otrzymywania ultra wysokiej i ekstremalnie wysokiej próżni. Prace z tej tematyki podsumowuje seria artykułów w Vacuum oraz opracowanie metod przyspieszonego odgazowywania komór próżniowych wykorzystujących promieniowanie nadfioletowe, a także bombardowanie jonowe – metod zastosowanych z powodzeniem w napyłarkach próżniowych, a eksploatowany w Zakładzie układ próżniowy pozwala na uzyskanie ciśnienia rzędu 10^{-9} Pa w ciągu kilku godzin.



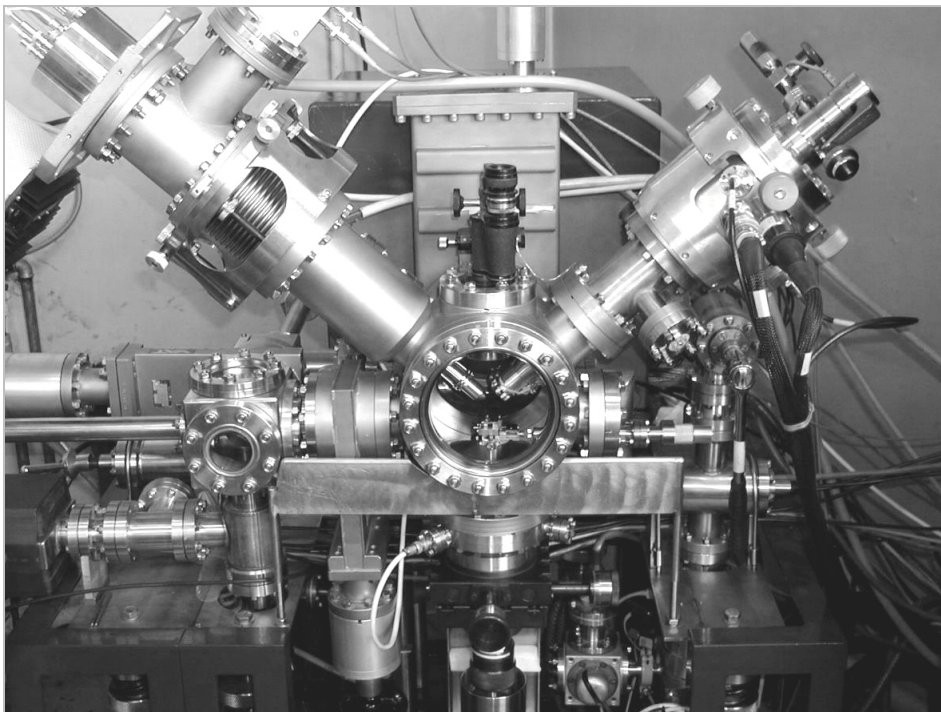
Rys. 3. Chłodziarka i kriopompa opracowana w Zakładzie Techniki Próżni Politechniki Wrocławskiej w latach 90.

4. Przemysłowy Instytut Elektroniki w Warszawie

W roku 1956 doc. Wiesław Barwicz, jako dyrektor techniczny Zakładów Wytwórczych Lamp Elektronowych w Warszawie, podjął starania stworzenia zaplecza na-

ukowo-badawczego dla rozwijającego się przemysłu elektronicznego. Tak powstał Przemysłowy Instytut Elektroniki. Instytut ten służył doraźnym potrzebom przemysłu Elektronicznego przyjmując kolejne nazwy odpowiadające „sztandarowym zadaniom”: Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Elektroniki Próżniowej (1972), OBR Techniki Telewizyjnej (1977), OBR Przetworników Obrazu (1980) by w 1984 r. powrócić do nazwy OBREP i następnie uzyskać rangę Instytutu Technologii Próżniowej (1993). ITP po połączeniu z PIE ponownie staje się Przemysłowym Instytutem Elektroniki (2003). Powyższym zmianom towarzyszyły zwykle znaczące przesunięcia kadry z innych lub do nowych ośrodków. Stosując w tytule nazwę PIE autor ma na myśli pion techniki próżni wszystkich wymienionych jednostek. Pierwszym dyrektorem PIE został doc. Wiesław Barwicz, który w 1968 r. uzyskał tytuł profesora. Pełnił tę funkcję do roku 1980, a następnie, w latach 1980–2003, funkcję tę piastował doc. Czesław Kiliszek. Wkrótce PIE stał się jednym z najważniejszych w kraju ośrodków opracowujących i wytwarzających nowoczesne podzespoły oraz urządzenia ultra wysokiej i czystej próżni. Tu powstały pierwsze zawory metalowe jeszcze z membranami niklowymi, a później cała rodzina zaworów kątowych próżni wstępnej (ZMN) z uszczelnieniami vitonowymi, a dla potrzeb techniki UHV zawory kątowe (ZMW) z uszczelnieniem metal-metal i mieszkaniami ze stali nierdzewnej, szafirowe zawory dozujące (ZDS), pompy zeolitowe, pompy jonowo-sorpcyjne (PTJ i PZK) oraz pompy sublimacyjne. Oryginalnym opracowaniem była pompa sublimacyjno-pułapkowa (PSP) opatentowana przez mgr Ryszarda Cyrańskiego. W OBREP-ie powstały pierwsze w Polsce analizatory gazów rozrzedzonych: omegatron i cała gama spektrometrów kwadropolowych. W latach 80. zaczęły powstawać manipulatory próżniowe oraz podzespoły do przenoszenia ruchu i do transportu w próżni. Wreszcie spektrometry mas jonów wtórnych (SAJW) (rys. 4), a w latach 90. kilka urządzeń do epitaksji z wiązek molekularnych (MBE). Pełny wykaz opracowanych i wytwarzanych wyrobów obejmuje ponad 600 pozycji. Podzespoły te i urządzenia konstruowali: mgr inż. Andrzej Bachtin, mgr Ryszard Cyrański, dr inż. Wenancjusz Czarycki, mgr Hanna Gołowacz, prof. dr hab. Marian Herman, mgr inż. Eugeniusz Kaufman, dr Piotr Konarski, mgr Henryk Magiełko, doc. dr Jerzy Marks, doc. dr Bogusław Masiewicz, mgr inż. Jerzy Mirowski, Eugeniusz Musiłow, dr Jerzy Sadowski i Andrzej Sobolewski [9, 10] (rys. 5–7).

W latach 90. powstaje w Instytucie laboratorium metrologiczne z wzorcami wtórnymi wysokiej (rys. 8) i niskiej próżni, które w 1998 r. uzyskało certyfikat Głównego Urzędu Miar. Prof. Andrzej Hałas był początkowo konsultantem a później do 1998r. kierownikiem tego laboratorium. Był także członkiem i przewodniczącym Rady Naukowej Instytutu (rys. 9) oraz inicjatorem modernizacji wyrobów próżniowych (w ramach Projektu Badawczego Zamawianego).



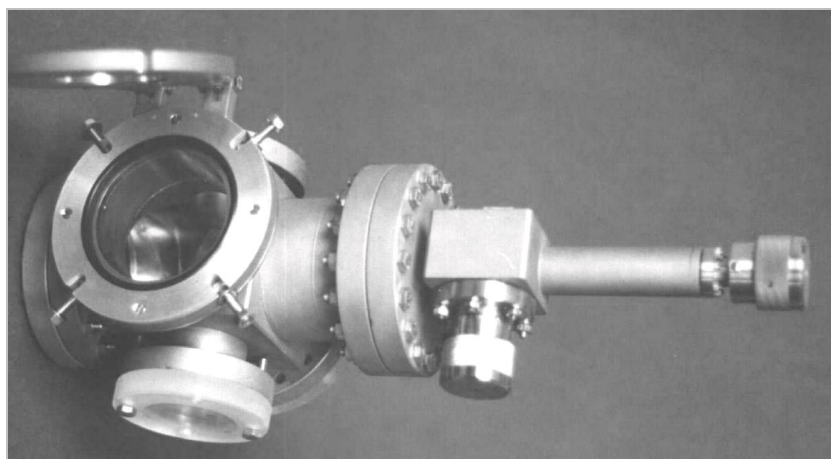
Rys. 4. Spektrometr mas jonów wtórnych (ITP)



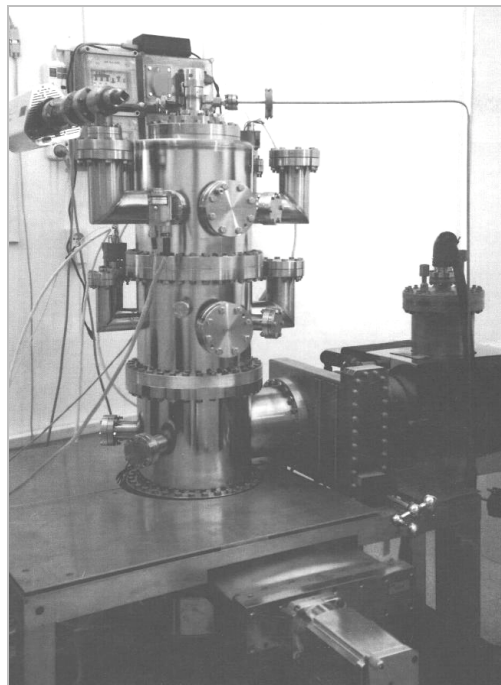
Rys. 5. Rodzina pomp jonowo-sorpcyjnych z zimnymi katodami opracowana w ITP.
w końcu lat 90. w ramach PBZ



Rys. 6. Rodzina spektrometrów kwadrupolowych (opracowanie ITP z 1994 r.)



Rys. 7. Śluza próżniowa opracowana w ITP w ramach PBZ



Rys. 8. Wzorzec wtórny wysokiej próżni (ITP)



Rys. 9. Z posiedzenia Rady Naukowej Instytutu Technologii Próżniowej, od lewej prof. Wiesław Barwicz, prof. Andrzej Hałas, doc. Czesław Kiliszek

5. Środowisko wrocławskie

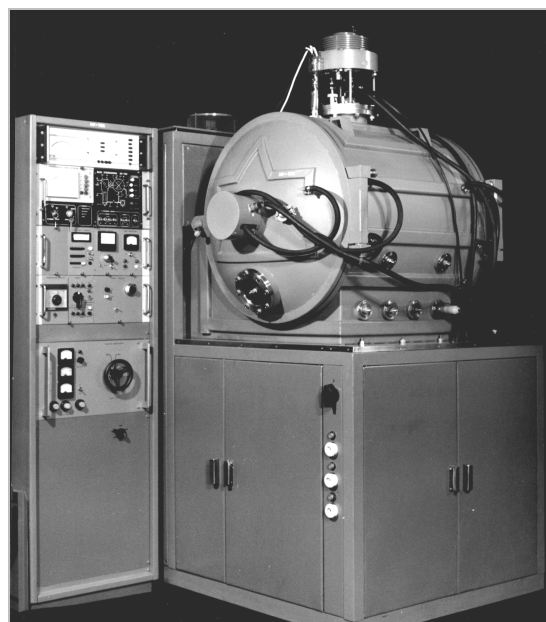
Podobnie jak inne uczelnie w kraju Politechnika Wrocławska rozpoczynała po wojnie swoją działalność w czasie tworzenia od podstaw zakładów produkcyjnych. Jak pisze prof. Andrzej Hałas [11]: *Ze względu na znaczny niedobór kadry w owym okresie, pracownicy naukowcy i inżynierowie byli jednocześnie pionierami przemysłu dolnośląskiego, a inżynierowie i technicy pracujący w zakładach dzielili się swą wiedzą, prowadząc wykłady dla studentów.* Ten szczególny rodzaj związków jest widoczny także w całej historii techniki i technologii próżni wywodzącej się z ośrodka wrocławskiego. I tak po odkryciu w 1946 r. w d. Rychbachu (obecnie Dzierżonów) pozostałości fabryki lamp elektronowych, Wiesław Barwicz zorganizował tam produkcję i został jej dyrektorem technicznym (Państwowej Wytwórni Lamp Elektronowych). Wytwórnię przeniesiono w 1949 r. do Warszawy i na miejscu dawnej fabryki żarówek Philipsa powstały Zakłady Wytwórcze Lamp Elektronowych.

Jeszcze w latach 50., z inicjatywy doc. Wiesława Barwicza, powstał Oddział Wrocławski Przemysłowego Instytutu Elektroniki. Był on od początku silnie związany z Katedrą Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, a po przekształceniu Oddziału Wrocławskiego PIE w Oddział Wrocławski OBREP – z Instytutem Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej. W początkowym okresie Oddział Wrocławski PIE zajmował się lampami mikrofalowymi, optyką elektronową i w mniejszym stopniu miniaturowymi lampami elektronowymi. W latach 1961–1963 część produkcji lamp mikrofalowych została przeniesiona z Oddziału Wrocławskiego PIE do nowopowstałych zakładów DOLAM. W roku 1966 w Oddziale Wrocławskim PIE powstał Zakład Urządzeń Próżniowych. Jego zadaniem było opracowywanie i wytwarzanie aparatury wysokiej próżni. Jednym z pierwszych dokonań tego Zakładu była napyłarka NA-500 wykonana dla ELWRO, za opracowanie której zespół otrzymał Nagrodę Przewodniczącego KNiT. Kierownikiem tego zakładu był przez wiele lat mgr inż. Bogdan Biczysko.

W latach 1968–1975 jeszcze w Oddziale Wrocławskim PIE, opracowana została rodzina nowoczesnych pomp dyfuzyjnych PDO-300, PDO-800, PDO-2000, PDO-2002 oraz PDO-14000. Pompa PDO-6000 została opracowana w zespole warszawskim, kierowanym przez inż. Pietrzaka i wdrożona we Wrocławiu. W oparciu o te pompy powstała rodzina układów próżniowych UP-300, 800, 2000 i 14000 (z kołnierzami NW100, 160, 250, 400 i 630) (rys. 10). Kontynuowano też prace rozwojowe nad napyłarką, w której zastosowano układ próżniowy UP-2000 sterowany elektropneumatycznie [7]. Układ pomiaru próżni oparty został na próżniomierzach termoelektrycznym i jarzeniowym opracowanych w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej (rys. 11).



Rys. 10. Układ pompowy UP800 skonstruowany w ITE Politechniki Wrocławskiej



Rys. 11. Napyłarka NP-701 H wykonana w ITE Politechniki Wrocławskiej.
Wyposażenie obejmuje wyrzutnie magnetronowe

6. Zakład Aparatury Próżniowej w Bolesławcu Śląskim

W 1962 r. powstaje w Bolesławcu Śląskim Zakład Doświadczalny Elektroniki Próżniowej jako Zakład Doświadczalny PIE. W 1972 ZDEP w Bolesławcu stał się Zakładem Doświadczalnym Aparatury Próżniowej OBREP, w którym dominującą produkcją stały się podzespoły i aparatura próżniowa. Później przyjął nazwę „Zakład Aparatury Próżniowej”, którą nosił do zakończenia działalności w 1993 r. Początkowo profil produkcji obejmuje wskaźniki neonowe, gettery do lamp elektronowych, komory gaszeniowe oraz próżniową aparaturę technologiczną i urządzenia elektronowiązkowe. Z czasem dominować zaczęły podzespoły i urządzenia do wytwarzania ultra wysokiej i czystej próżni. W zakładzie wdrożono produkcję m.in. zaworów niskiej próżni ZMN-25A, zaworów kątowych serii ZMW z uszczelnieniem metal-metal, zaworów odcinająco-zapowietrzających ZOE, pomp zeolitowych, pomp sublimacyjno-pułapkowych PSP, pomp jonowo sorpcyjnych serii PZK, pomp sublimacyjnych PST-1000, próżniomierzy termoelektrycznych z głowicami GT, jarzeniowych z głowicami GJ oraz jonizacyjnych. Budowano też serię stanowisk próżniowych, w szczególności w drugiej połowie lat 80., powstała seria stanowisk od najmniejszego SP200UW do SP5000UW, pozwalających uzyskać ciśnienie końcowe 10^{-8} Pa przy chłodzeniu płaszcza pompy sublimacyjnej ciekłym azotem. Na bazie tych doświadczeń wprowadzano do produkcji napyłarki próżniowe (rys. 12). Uruchomiono także produkcję helowego wykrywacza nieszczelności. Ostatnim dyrektorem zakładu był mgr inż. Zbigniew Szermer, a trzon kadry technicznej stanowili absolwenci Instytutu Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej: Maria Adydan, Beata Olenderek, Jerzy Olenderek, Krystyna Przewłocka i Jan Szymański.

7. TEPRO w Koszalinie

W 1964 r. rozpoczyna się działalność produkcyjna Koszalińskiego Oddziału Teregowego Zakładów Budowy Maszyn Lampowych „UNIMA”. Zakład ten, z siedzibą w Warszawie, do czasu wdrożenia licencji SOGEV w Koszalinie, budował pompy obrotowe o nazwie PR-I i PR-II, małe pompy dyfuzyjne rtęciowe i olejowe oraz automaty pompowe dla potrzeb przemysłu lampowego. W 1968 r. następuje otwarcie Koszalińskich Zakładów Maszyn Lampowych UNIMASZ. Zakup w 1969 r., we francuskiej firmie SOGEV licencji, zaowocował produkcją jednostopniowych olejowych pomp obrotowych szeregu AL i dwustopniowych szeregu BL o szybkościach pompowania od 30 do 90 m³/h. W 1973 r. następuje zmiana nazwy na Zakład Techniki Próżniowej w Koszalinie (w ramach Zakładów Maszyn i Urządzeń Technologicznych „UNITRA-UNIMA”) a w 1982 r. wraz z samodzielnością prawną powstaje Zakład Techniki Próżniowej „TEPRO”. Oferta TEPRO obejmuje w tym czasie typoszereg pomp obrotowych, jedno i dwustopniowych, o szybkościach pompowania od 2 do 200 m³/h. Rodzina pomp dyfuzyjnych reprezentowana jest przez pompy od PDO150

do PDO 14000, których produkcję przejęto z Oddziału Wrocławskiego OBREP (rys. 13). Produkowane są też zawory niskiej próżni, wysokopróżniowe zawory kątowe ze sterowaniem ręcznym, elektromagnetycznym i pneumatycznym, zawory klapowe (ZP100EA, ZP160P, ZP250P i ZK400P) oraz iglicowe zawory dozujące (ZDZ20 i ZDZ200) a także szereg elementów połączeniowych. Produkcja wielu z tych podzespołów została przeniesiona z Oddziału Wrocławskiego OBREP. Dotyczy to także stanowisk próżniowych SP300E oraz SP800P, SP2000P i SP6000P oraz napyłarek m.in. NA501A, NA801A [13]. Za napyłarkę NK602 do rezystorów Zakład otrzymuje pierwszy złoty medal na wystawie w Brnie (1994). Produkcja TEPRO obejmuje także urządzenia do suszenia i impregnacji próżniowej. W okresie, gdy produkcję Zakładu dominowały wyroby wysokiej próżni, dyrektorem TEPRO był mgr inż. Paweł Flens (wcześniej w okresie powstawania zakładów, pierwszym dyrektorem był mgr inż. Zygmunt Smolik, a po nim do 1976 r. inż. Michał Stępień). Trzon kadry konstruktorskiej stanowili: mgr inż. Jan Bałbatun, mgr inż. Eugeniusz Jabłoński, mgr inż. Stefan Maksymiuk i mgr inż. Paweł Murawski.



Rys. 12. Pierwsza napyłarka wysokiej i czystej próżni wdrożona w ZAP

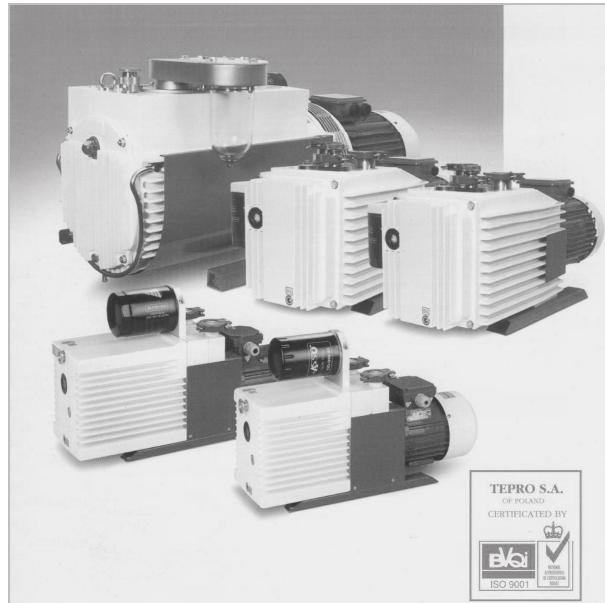


Rys. 13. Rodzina pomp dyfuzyjnych wdrożonych w TEPRO w latach 70.

W 1994 r. Zakład przekształcił się w spółkę akcyjną TEPRO S.A. z 19% udziałem skarbu państwa. Obecną produkcję wyrobów próżniowych dominują olejowe pompy obrotowe (rys. 14) i pakowarki próżniowe [14] (rys. 15).

8. Katedra i Zakład Wysokiej Próżni w Politechnice Warszawskiej

W drugiej połowie lat 50., w kierowanej przez prof. Janusza Groszkowskiego Katedrze Wysokiej Próżni, opracowano próżniomierz jonizacyjny z głowicą typu Bayarda-Alperta (BA). Nie tylko głowica, ale również układ zasilający, z lampowym stabilizatorem emisyjnego prądu elektronowego (konstrukcji mgr inż. Wiesława Krauzego), był nowoczesnym rozwiązaniem na owe czasy (w tych latach w próżniomierzach jonizacyjnych, np. firmy Edwards, natężenie prądu elektronowego zmieniano zwykle ręcznie, regulując prąd żarzenia). Okres lat sześćdziesiątych i do połowy lat siedemdziesiątych charakteryzował się intensywnymi pracami w dziedzinie miernictwa próżni. Początkowo były to prace związane z optymalizacją parametrów głowicy jonizacyjnej BA. Zespół kierowany bezpośrednio przez profesora Janusza Groszkowskiego składał się wówczas z trzech asystentów (byli to Stanisław Pytkowski, Piotr Szwemin i Wojciech Zakrzewski). Montażu głowic eksperymentalnych dokonywał inż. Stanisław Dobrzyński wspólnie ze szklarzem Janem Jastrzębskim. Wyniki tych prac prof. Janusz Groszkowski opublikował, w postaci serii artykułów, m.in. w Biuletynie PAN.



Rys. 14. Rodzina pomp obrotowych serii BW produkowanych obecnie w TEPRO S.A.



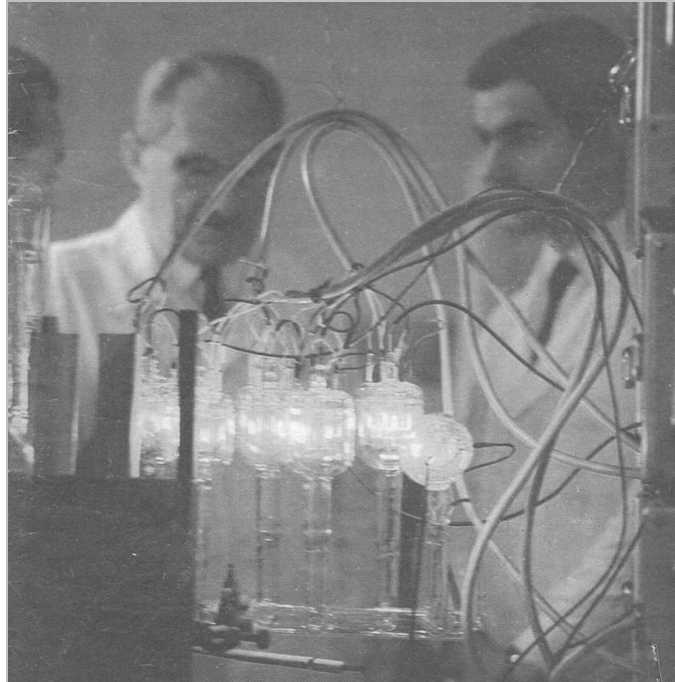
Rys. 15. Pakowarki próżniowe TEPRO S.A.

Są one do dzisiaj cytowane na świecie, także w najpoważniejszych monografiach. Dalsze badania prof. Janusza Groszkowskiego poświęcone były modulacyjnej metodzie pomiaru ciśnienia i wychodziły one dalej niż pierwotna koncepcja Redhead'a. Powstała wtedy głowica BA z modulatorem klatkowym oraz próżniomierz z ciągłą modulacją sinusoidalną (opracowany wspólnie ze Stanisławem Pytkowskim i Włodzimierzem Trzochem).

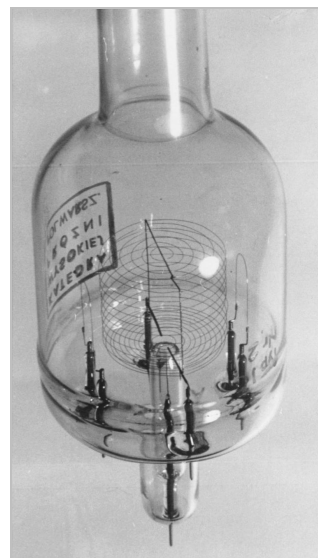
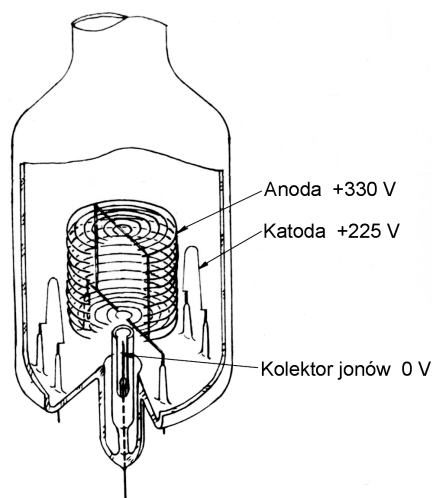
Najważniejszym osiągnięciem z tego okresu, wywodzącym się z badań nad głowicami BA, był wynalazek głowicy z kolektorem zewnętrznym (nazwanej później głowicą Groszkowskiego) (rys. 16 i 17). Zakres pomiarowy głowicy Groszkowskiego przesunięty został o ponad dwa rzędy wielkości (w stosunku do najlepszych głowic BA), co pozwala na pomiar ciśnień 10^{-10} Pa. Dla podkreślenia wartości wynalazku prof. Janusza Groszkowskiego warto przypomnieć, że w tym samym roku, w odstępnie 3 miesiące, pojawiły się publikacje Melfiego, Redheada i Helmera opisujące podobne w koncepcji głowice (*Burried Collector gauge*, *Ekstraktor gauge* i *Bent Beam gauge*). Licencje na produkowanie głowicy Groszkowskiego zakupiły firmy SOGEV (Francja) i Welch (USA). Głowica ekstrakcyjna jest seryjnie produkowana przez Leybolda jako IE 514. Ewolucją głowicy Helmera jest Ion Spectroscopy Gauge (Japonia).

Inny nurt prac Katedry Wysokiej Próżni prowadzony był w zespole kierowanym przez dr Wojciecha Górskiego. Prace te dotyczyły próżniomierzy cieplno-przewodnościowych. Warto zwrócić tu uwagę na zbudowany na początku lat 60. próżniomierz stało-oporowy (zasilany prądem zmiennym o częstotliwości 1 kHz), na prace związane z termiczną stabilizacją głowic oporowych, a także nad wykorzystaniem zjawiska konwekcji dla rozszerzenia zakresu pomiarowego tych głowic aż do ciśnień atmosferycznych – były to często prace pionierskie nie tylko w skali krajowej.

W 1970 r. trzy katedry utworzyły Instytut Technologii Elektronowej. W Instytucie tym powstał Zakład Techniki Próżni. Po formalnym przejściu profesora Janusza Groszkowskiego na emeryturę kierownikiem Zakładu został dr inż. Stanisław Pytkowski (do r. 1984) a następnie dr inż. Piotr Szwemin (1984–1991). W tym czasie Zakład rozrósł się do 20 osób i poza kontynuacją prac z dziedziny miernictwa próżni rozpoczął prace w dziedzinie konstrukcji urządzeń próżniowych. Ważnymi okazały się prace z dziedziny spektrometrii elektronów Augera (1980-1990) (rys. 18). Spektrometry zbudowano na bazie stanowiska próżniowego SP2000UW wytwarzanego w ZAP w Bolesławcu. Działo elektronowe, analizator energii elektronów oraz układy zasilające i pomiarowe powstały w Zakładzie, natomiast manipulator, śluza i działo jonowe do trawienia były wytworzone w OBREP-ie. Za zbudowanie takiego spektrometru zespół dr inż. Włodzimierza Trzocha otrzymał nagrodę Sekretarza Naukowego PAN (1986). W latach 1985-90 zespół zbudował 5 takich spektrometrów, pracujących do dziś w kilku placówkach krajowych i jednej za granicą.



Rys. 16. Pompowanie głowic JG na stanowisku UHV z dwiema rtęciowymi pompami dyfuzyjnymi (z lewej prof. Janusz Groszkowski, z prawej mgr inż. Piotr Szwemin). KWP 1968 r.



Rys. 17. Głowica Groszkowskiego



Rys. 18. Spektrometr elektronów Augera (koniec lat 80.). Jednostka pompowa wykonana w ZAP w Bolesławcu, manipulator produkcji OBREP

Na początku lat 90., nastąpiła reorientacja zadań Zakładu TP, od prac konstrukcyjnych ku zadaniom badawczym. W związku z koniecznością ewolucji uprawianej dydaktyki rozwijano prace dotyczące metod symulacyjnych jako nowoczesnego narzędzia służącego analizie i syntezie próżniowych układów pomiarowych i technologicznych. Początkowo prace te były zorientowane na opracowanie programów komputerowych wspomagających projektowanie układów próżniowych (kilkanaście tych programów znalazło zastosowanie w innych ośrodkach w kraju i na świecie), a następnie na zastosowanie metod symulacyjnych do analizy układów metrologicznych.

9. ZOPAP

W latach 50., w ramach tzw. Gospodarstw Pomocniczych uruchomiono w Politechnice Warszawskiej małoseryjną produkcję próżniomierzy ciepłno-przewodnościowych i próżniomierzy jonizacyjnych. Sprzedawano wówczas ok. 50 próżniomierzy rocznie. Wkrótce produkcję próżniomierzy oporowych przejęła spółdzielnia Chemiter. W utworzonym w roku 1968 Zakładzie Opracowań Przyrządów i Aparatury Próżniowej (kierowanym kolejno przez inż. Stanisława Dobrzyńskiego, dr inż. Krystyna Lewensteina i dr inż. Karola Lityńskiego) wdrożono większość opracowanych w Katedrze Wysokiej Próżni próżniomierzy, w tym także krótkie serie próżniomierza BA z modulacją oraz próżniomierza JG. Prowadzono też prace modernizacyjne i konstrukcyjne nowych układów zasilająco-pomiarowych, a w szczególności nad zintegrowaniem głowic ciepłno-przewodnościowych z mostkowymi układami pomiarowymi. Obecnie Zakład ten zajmuje się metalizacją próżniową i serwisem urządzeń próżniowych.

10. Komitet i Towarzystwo Próżniowe

W 1980 r. w czasie I konferencji ELTE w wyniku rozmów kularowych powstała inicjatywa utworzenia organizacji naukowo-technicznej zrzeszającej osoby zajmujące się problematyką techniki próżni i jej zastosowań. Zebranie założycielskie odbyło się w gabinecie prof. Bohdana Paszkowskiego w Politechnice Warszawskiej. Dzięki jego staraniom, już w marcu 1981 r. Zarząd Główny SEP podjął uchwałę o powołaniu Polskiego Komitetu Techniki Próżni i Technologii Elektropróżniowych, działającego w ramach struktur SEP. Prof. Bohdan Paszkowski był pierwszym przewodniczącym PKTPiTE, natomiast prof. Janusz Groszkowski został Przewodniczącym Honorowym. Prof. Andrzej Hałas był dwukrotnie wiceprzewodniczącym Komitetu, a następnie przewodniczącym. W roku 1989 udało się doprowadzić do podjęcia przez Walne Zgromadzenie Międzynarodowej Unii Nauki, Techniki i Zastosowań Próżni (IUVSTA) uchwały o przyznaniu Polskiemu Komitetowi pełnoprawnego członkostwa tej organizacji. Z inicjatywy prof. Andrzeja Hałasa, wzorując się na strukturze IUVSTA, postanowiono rozszerzyć grono członków Komitetu i latem 1992 r., na Walnym Zebraniu, Komitet przekształcił się w niezależne Polskie Towarzystwo Próżniowe, przyjmując do swego grona grupę fizyków zajmujących się m.in. nauką o powierzchni. Prof. Andrzej Hałas został wybrany pierwszym przewodniczącym Towarzystwa, pełniąc następnie funkcję wiceprzewodniczącego (i pozostając członkiem Zarządu do 2004 r.). W kolejnych kadencjach funkcje przewodniczącego pełnili prof. Marek Szymoński (1995–1998), prof. Marian Herman (1998–2001), prof. Antoni Ciszewski (2001–2004) i ponownie prof. Marek Szymoński (od 2004). Towarzystwo liczy aktualnie około 100 członków indywidualnych i zbiorowych i poprzez swoje sekcje rozwija aktywną działalność organizując seminaria, warsztaty, szkoły i konferencje poświęcone szeroko rozumianej problematyce próżniowej, a także podejmując działania promujące

technikę próżni. Sekcja Techniki Próżni PTP zorganizowała trzy Krajowe Konferencje Techniki Próżni: w Bachotku (1996), Borkach (1999), Korbielowie (2002). W stadium przygotowań jest kolejna konferencja próżniowa w Cedzynie (2005). Na trzech zorganizowanych już Kongresach Polskiego Towarzystwa Próżniowego: w Krakowie (1998), Warszawie (2001) i Polanicy (2003) członkowie wszystkich sekcji mieli możliwość nie tylko zaprezentowania wyników swoich prac, ale również nawiązywania ściślejszych kontaktów – często o charakterze interdyscyplinarnym. Będąc inicjatorem przedsięwzięć takich jakim był Komitet TPiTE, a obecnie jest Polskie Towarzystwo Próżniowe, prof. Andrzej Hałas słusznie zalicza je do swoich ważnych osiągnięć.

Na zakończenie autor pragnie z góry przeprosić Osoby i Instytucje, których prace nie zostały uwidocznione w przedstawionym wyżej zarysie historii techniki wysokiej próżni w Polsce. Autor ma jednak nadzieję sprowokowania uczestników tej historii do skorygowania trudnych do uniknięcia braków i nieścisłości tego opracowania. Pragnąłby także zachęcić do odszukania unikatowych fotografii osób i zbudowanych przez nich urządzeń próżniowych, a także uzupełnienia tego szkicu bezpośrednimi relacjami.

Podziękowania

Autor składa podziękowania pani Marii Adydan oraz panom Bogdanowi Biczysko, Wojciechowi Górskiemu, Andrzejowi Hałasowi, Czesławowi Kiliszkiowi, Piotrowi Konarskiemu, Jerzemu Markowskiemu oraz Pawłowi Murawskiemu za relacje oraz udostępnienie materiałów, które stały się podstawą tego opracowania.

Bibliografia

- [1] Groszkowski J., *O pewnym układzie metody jonizacyjnej pomiaru gazów okładowanych w elektrodach lamp trójelektrodowych*, Prz. Radiotech., t. 3, nr 19/20, 73–76, 1925.
- [2] Pytkowski St., *Technika próżni w pracach prof. Janusza Groszkowskiego*, [w:] Janusz Groszkowski 1898–1984, w rocznicę 90. urodzin, Wyd. Politechnika Warszawska – Wydział Elektroniki, 43–50, 1988.
- [3] Groszkowski J., *Technika wysokiej próżni*, PIT, Warszawa 1948.
- [4] Groszkowski J., *Technologia wysokiej próżni*, PWT, Warszawa 1953, wyd. II (zmien.), tamże, 1955.
- [5] Groszkowski J., *Technika wysokiej próżni*, WNT, Warszawa 1972, wyd. II (zmien.), tamże, 1978.
- [6] Hałas A., *Technologia wysokiej próżni*, PWN, Warszawa 1980.
- [7] Hałas A., *Życiorys i autoreferat*, maszynopis, Wrocław 2005.
- [8] Materiały do Księgi Jubileuszowej 50-lecia Wydziału Elektroniki, oprac. M. Dąbrowska-Szata, ITE/ITM, Wydz. Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki PWr., Wrocław 2003.
- [9] Marks J., Informacja ustna, 2005.
- [10] Kiliszek Cz., *35 lat działalności w dziedzinie elektroniki próżniowej – ludzie i instytucja*, Elektronika XXXII, nr 8–9, 5–6, 1991.
- [11] Hałas A., *Elektronika na Dolnym Śląsku*, Elektronizacja, nr 4–5, 3–8, 1988.
- [12] Biczysko B., *Rozwój wrocławskiego środowiska próżniowego*, rękopis, Wrocław 2005.
- [13] Katalog krajowego sprzętu próżniowego, PKTPiTE, oprac. P. Murawski, Koszalin 1985.
- [14] Katalog wyrobów TEPRO S.A. 2005.

Z HISTORII LAMP MIKROFALOWYCH WE WROCŁAWIU

Wiktor Sielanko
Przemysłowy Instytut Elektroniki
ul. Długa 44/50, 00-241 Warszawa

1. Wstęp

Mikrofałe obejmują zakres fal elektromagnetycznych o częstotliwości 1–300 GHz, co odpowiada długości fali od 30 cm do około 1 mm. Słynne doświadczenia H. Hertza, potwierdzające hipotezę Maxwella zostały przeprowadzone na falach decymetrowych. Przez długi okres czasu częstotliwości mikrofalowe nie były praktycznie wykorzystywane. Jednym z powodów były trudności techniczne związane z generacją, wzmacnianiem i odbiorem sygnałów w tym obszarze częstotliwości. Wynikało to między innymi z faktu, że ówczesne lampy elektronowe nie nadawały się do tego celu, ze względu na duże pojemności międzyelektrodowe i długi czas przelotu elektronów w obszarze międzyelektrodowym, które wyznaczały maksymalną częstotliwość sygnału. Stąd poszukiwania nowych konstrukcji. W 1921 r. Hull wynalazł magnetron [1], w 1936 r. Metcalf i Hahn wynaleźli klistron, a Kompfner w roku 1943 lampę o fali bieżącej. Dzięki tym wynalazkom możliwy był postęp w rozwoju urządzeń pracujących na częstotliwościach mikrofalowych.

W czasie II wojny światowej nastąpił nadzwyczaj szybki rozwój radiolokacji, przyczyniając się do powodzenia wielu istotnych operacji wojskowych. Opanowano w tym czasie podstawowe metody oraz opracowano specjalistyczne urządzenia i podzespoły tak, że w chwili zakończenia wojny radiolokacja była już dojrzała i w pełni ukształtowaną dziedziną techniki. Okres „zimnej wojny” spowodował dalsze inwestowanie w rozwój tej dziedziny. Wymagania stawiane przez konstruktorów urządzeń radiolokacyjnych zdecydowały o kierunku rozwoju lamp mikrofalowych. Również i dzisiaj wpływają one na rozwój tych lamp, choć ten wpływ jest mniejszy ze względu na pojawienie się szerokiego grona innych odbiorców, między innymi producentów urządzeń dla telekomunikacji, przemysłu, meteorologii, dla gospodarstw domowych, grzejniactwa, medycyny.

W Polsce prace badawczo-rozwojowe i produkcja lamp mikrofalowych od początku ukierunkowana była na potrzeby odbiorcy wojskowego. Pierwsze prace badawcze w dziedzinie radiolokacji podjęto w 1948 roku w nowo utworzonej Katedrze Radiolokacji Politechniki Warszawskiej oraz w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji (PIT). W 1954 roku powstały Warszawskie Zakłady Radiowe RAWAR. W tym też roku przystąpiono do opracowania pierwszych polskich lamp mikrofalowych w Zakładach Wytwórczych Lamp Elektronowych w Warszawie.

W 1957 roku rozpoczęto budowę nowej fabryki w Piasecznie (obecne Zakłady Elektroniczne ZE „LAMINA” S.A.) przeznaczonej do produkcji lamp mikrofalowych oraz lamp nadawczych dużej mocy. W pierwszym okresie były to magnetrony. Następnie uruchomiono tu produkcję amplitronów.

W 1957 r. powstał Oddział Wrocławski Przemysłowego Instytutu Elektroniki. Jednym z jego głównych kierunków działania były prace badawczo-rozwojowe w zakresie lamp o fali bieżącej.

W 1961 roku we Wrocławiu powstaje Zakład Doświadczalny Przemysłowego Instytutu Elektroniki przekształcony następnie w Zakłady Elektroniczne UNITRA-DOLAM, w których uruchamiana jest produkcja lamp opracowanych w OW PIE.

Tak, więc w końcu lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku w Polsce powstały dwa ośrodki prowadzące prace badawczo-rozwojowe i produkcję lamp mikrofalowych – warszawski w zakresie magnetronów i amplitronów oraz wrocławski w zakresie lamp z falą bieżącą.

Ośrodki te, mimo że w Polsce nastąpiły ogromne przeobrażenia gospodarcze, działają do dziś znajdując zbyt na swoje nowe opracowania. Specjalizują się przede wszystkim w rozwiązaniach dla potrzeb radiolokacji.

2. Powstanie i rozwój Ośrodka Wrocławskiego

Ogromną, nie do przecenienia, rolę w powstaniu i rozwoju Ośrodka Wrocławskiego odegrał Wiesław Barwicz, profesor Politechniki Wrocławskiej i dyrektor Przemysłowego Instytutu Elektroniki. Dzięki jego inicjatywie powstał w 1956 roku we Wrocławiu Zakład Lamp Mikrofalowych Centralnego Laboratorium Elektroniki, przekształcony następnie (1957 r) w Oddział Wrocławski PIE (OW), a także ZD „DOLAM”.

Podstawową kadrę tych jednostek, zajmującą się lampami mikrofalowymi przez wiele lat stanowili wychowankowie prof. Wiesława Barwicza, absolwenci Politechniki Wrocławskiej, między innymi Wojciech Czarczyński, Wiktor Sielanko, Zdzisław Calik. Profesor osobiście angażował się w prace Oddziału. Dojeżdżał co dwa tygodnie do Wrocławia by odpowiednio pokierować swym bardzo wtedy młodym zespołem, zostawiając mu jednak wiele swobody w działaniu i możliwości wykazania się inicjatywą.

Kierownikiem Oddziału Wrocławskiego PIE został Romuald Płuc, inżynier elektryk z pewnym już doświadczeniem w kierowaniu przedsiębiorstwem. Rolę zastępcy do spraw techniczno-rozwojowych pełnił początkowo mgr Romuald Nowicki a następnie mgr Janusz Sobański, który funkcję tę sprawował z małymi przerwami przez blisko 40 lat. Chemik z wykształcenia, specjalista od lamp mikrofalowych z zamiłowania. Osoba o wielkiej energii i zaangażowaniu, która wniosła wiele w rozwój Ośrodka Wrocławskiego. Związana z tą tematyką od chwili powstania Oddziału do chwili obecnej.

Druga połowa lat pięćdziesiątych była okresem gwałtownego rozwoju OW PIE. Zatrudnienie wzrosło do ponad 100 osób, w tym około 60 pracowników merytorycznych. Ponad połowa z nich zajmowała się problematyką lamp mikrofalowych. W latach tych i na początku lat sześćdziesiątych zatrudniono wielu nowych absolwentów Politechniki Wrocławskiej, między którymi byli: Bogdan Biczysko, Tadeusz Fijewski, Adam Jankowski, Władysław Kobzarski, Maciej Korusiewicz, Irena Lewiecka, Andrzej Ligaszewski, Zofia Marków, Maria Pawłów, Bronisław Rzepko-Łaski. Niewątpliwie ich praca miała pozytywny wpływ na rozwój problematyki mikrofalowej w OW.

Lata sześćdziesiąte to dalszy rozwój tematyki lamp mikrofalowych i Oddziału z tym, że w końcu tych lat ciężar prac zaczął się przesuwac w kierunku problematyki lamp średniej i dużej mocy. Na początku lat siedemdziesiątych OW PIE zatrudniał około 200 osób. Ponad połowa potencjału oddziału związana była z działalnością w obszarze mikrofal.

W wyniku zmian organizacyjnych w 1971 roku OW PIE wszedł w skład wydzielonego z PIE Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Elektroniki Próżniowej. Zakres działalności nie uległ zmianie.

Istotną datą w rozwoju Oddziału było utworzenie w roku 1978 Centrum Uczelniano-Przemysłowego we Wrocławiu. Oddział Wrocławski został włączony do Instytutu Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej. Powstały korzystniejsze warunki dla rozwoju działalności naukowej. Mniej uwagi zwracano jednak na nowe opracowania i wdrożenia, a kadra OW nie bardzo mogła się temu przeciwstawić. Wynikało to z tego iż podstawowym zadaniem uczelni była dydaktyka i prace naukowe. Problem pogłębił się w wyniku trudności finansowych na początku lat dziewięćdziesiątych. Doprowadziło to w 1993 roku do przejścia grupy pracowników dawnego Oddziału tj. trzech zakładów Instytutu Technologii Elektronowej (Lamp Mikrofalowych, Technologii i Konstrukcji Mikrofalowych Układów Scalonych) przez Przemysłowy Instytut Telekomunikacji. Wydaje się, że było to dobre rozwiązanie. Powiązanie jednostki opracowującej i wytwarzającej lampy mikrofalowe z instytutem zajmującym się techniką radiolokacyjną stworzyło podstawy do utrzymania tematyki lamp mikrofalowych we Wrocławiu a także do rozwoju techniki mikrofalowej. Nastąpiła koncentracja tematyki. Dziś OW PIT zatrudnia ponad 60 osób pracujących głównie w tej dziedzinie.

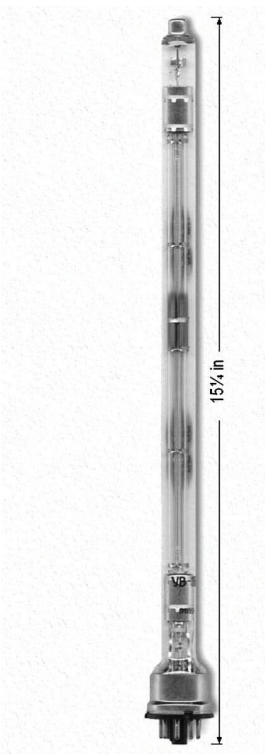
3. Lampy z falą bieżącą o niskim współczynniku szumów

Jedną pierwszych pracowni w strukturze organizacyjnej OW PIE była pracownia Lamp Mikrofalowych Małej Mocy. Jej kierownikiem został „świeżo upieczony” magister, absolwent Politechniki Wrocławskiej, Wojciech Czarczyński, wychowanek prof. Wiesława Barwicza. Mimo młodego wieku poważny, inteligentny, z dużymi ambicjami, pełen nowatorskich pomysłów, nieco rogado, czasem „bujający w obłokach”. Z lampami mikrofalowymi był związany, z małymi przerwami, przez cały

okres swojej działalności zawodowej to jest przez ponad 45 lat. Jego wpływ na rozwój lamp mikrofalowych, szczególnie LFB średniej i dużej mocy, w ośrodku wrocławskim był istotny.

W skład zespołu kierowanego przez niego weszli między innymi, Zdzisław Calik i Wiktor Sielanko wychowankowie prof. Wiesława Barwicza oraz Witold Kolator absolwent Politechniki Wrocławskiej i Jerzy Kampa absolwent Politechniki Budapeszteńskiej, doskonały inżynier, bardzo odpowiedzialny pracownik, który w późniejszym okresie przez wiele lat kierował zespołem opracowującym LFB o niskim współczynniku szumów. W tym samym czasie powstała pracownia pomiarów mikrofalowych. Zatrudnieni w niej zostali absolwenci Politechniki Wrocławskiej Jerzy Czarnecki, Włodzimierz Jankowski (kierownik pracowni) Andrzej Ligaszewski i Stanisław Majewski. Niezbędne procesy chemiczne i termiczne zapewnić miała pracownia technologii chemicznych kierowana przez mgr inż. Janusza Sobańskiego. W skład zespołu chemików wchodził między innymi inż. Jerzy Bugorski, inż. Karolina Krusińska i inż. Janina Wrona.

Jedną z wielu ważnych spraw, które przynosiły dużo satysfakcji młodym inżynierom, wprawdzie nie mających charakteru badawczego, ani nawet organizacyjnego, było wyszkolenie dużej grupy personelu technicznego: monterek, laborantów, szklarzy. Aby ich wyszkolić członkowie zespołów musieli najpierw nauczyć się tego sami.



Rys. 1. Lampa LFB5

Pierwszym merytorycznym zadaniem postawionym przed zespołami było przygotowanie się do opracowania pierwszej w kraju lampy z falą bieżącą o niskim współczynniku szumów. Z zadania tego zespoły wywiązały się znakomicie i już w końcu 1957 roku możliwe było podjęcie prac nad opracowaniem lampy z falą bieżącą na pasmo S (lampa LFB5) o współczynniku szumów poniżej 9,5 dB i wzmacnieniu 15 dB przy gwarantowanym czasie pracy powyżej 250 godzin. Był to odpowiednik lampy radzieckiej UW1 pracującej jako przedwzmacniacz w stacji radiolokacyjnej P-30 będącej na wyposażeniu polskiej armii. LFB-5 była wykonana w technologii szklanej (rys. 1) ogniskowana zewnętrznym solenoidem. Sygnał wejściowy i wyjściowy wprowadzony był poprzez przejście falowodowe sprzęgane pojemnościowo z wejściem i wyjściem spiralnej linii opóźniającej.

Główną przyczyną podjęcia tego opracowania była chęć uniezależnienia się od dostaw z ZSRR, nieregularnych i bardzo drogich.

Problemy, na które napotkano w trakcie opracowania lampy były ogromne. Bardzo młody zespół miał duże chęci, nie miał jednak żadnego doświadczenia w dziedzinie technologii lampowych, nie mówiąc o technice mikrofalowej. Popełniał więc, szczególnie w początkowym okresie, wiele błędów. Na przykład, mając na uwadze nauki prof. Wiesława Barwicza, że najlepszym materiałem na elementy lamp elektronowych małej mocy jest nikiel, elementy wyrzutni elektronów wykonano z tego metalu. Nie wzięto pod uwagę, że te wyrzutnie muszą pracować w ogniskującym polu magnetycznym. Pewna ilość gotowych detali poszła do kosza. Innym potknięciem spowodowanym brakiem doświadczenia w dziedzinie techniki mikrofalowej było wykonanie zbyt długich tulejek korpusu wyrzutni elektronów. Korpus ten musiał jednocześnie spełniać rolę dławika ćwierćfalowego (o czym zespół nie wiedział), gdyż taka była konstrukcja owych stacji radarowych, a lampy musiały pasować do istniejących obudów. Partia zbyt długich tulejek nie nadawała się do użycia.

Należało rozwiązać szereg zagadnień materiałowych, technologicznych i pomiarowych mało znanych ówczesnie w kraju. Ze względu na obowiązujące embargo niedostępne były materiały, technologie i aparatura pomiarowa z krajów Zachodniej Europy, USA i Japonii. Również Związek Radziecki praktycznie nie udostępniał swoich informacji w tej dziedzinie. W związku z tym uruchomiono szereg prac badawczych w laboratoriach PIE w Warszawie i Wrocławiu. W ich wyniku uzyskano w kraju nowe materiały ceramiczne, pasty emisyjne o lepszych właściwościach, nowe metody nanoszenia past na katody, obniżono temperaturę pracy katod, zbadano desorpcję gazów z elementów lampy.

Dzięki prowadzeniu prac w tak szerokim zakresie, w 1959 roku seria lamp LFB5 przeszła pomyślnie badania prototypu i badania poligonowe. Uruchomiono produkcję tych lamp najpierw w OW a następnie wdrożono ją w ZD „DOLAM”. Doradcą dyrektora zakładu do spraw uruchomienia tej produkcji został Janusz Sobański, a przez wiele lat produkcją lamp LFB w ZD „DOLAM” kierował inż. Zdzisław Calik. Lampy LFB5 produkowano do czasu wycofania stacji radiolokacyjnych tego typu z uzbrojenia polskiej armii, tj. do początku lat siedemdziesiątych.

Pomyślnie opracowanie lampy LFB5 zaowocowało nowym zleceniami dla OW na opracowanie szeregu lamp z falą bieżącą o niskim współczynniku szumów. Prace koncentrowały się w dwóch pasmach częstotliwości: L i S [2]. Wszystkie lampy (rys.2) miały wejścia i wyjścia bardzo wysokiej częstotliwości współosiowo sprzężone z linią opóźniającą lampy poprzez wętki rezonansowe.



Rys. 2. Lampa LFB6

W 1961 opracowano lampę na pasmo L o współczynniku szumów poniżej 8 dB i wzmacnieniu powyżej 20 dB przeznaczonej do radarów rodziny „Jawor”.

W 1963 opracowano lampę na pasmo L o współczynniku szumów poniżej 6 dB i wzmacnieniu powyżej 20 dB przeznaczonej do radarów rodziny „Jawor”.

W 1968 opracowano lampę na pasmo S o współczynniku szumów poniżej 4 dB i wzmacnieniu powyżej 20 dB.

Ostatnią LFB o niskich szumach wdrożoną do produkcji była opracowana w końcu lat sześćdziesiątych lampa LFB-51 pracująca w paśmie S o współczynniku szumów poniżej 5dB.

W wyniku prowadzonych prac badawczych podniesiono gwarantowany czas pracy do 1000 a następnie 2000 godzin. Faktyczny czas pracy był kilkakrotnie dłuższy. Nowe opracowania sukcesywnie wdrażano w ZD „DOLAM”.

W OW w obszarze lamp mikrofalowych małej mocy obok prac badawczo – rozwojowych, których celem było wdrożenie do produkcji opracowywanych wyrobów, prowadzono prace o charakterze rozpoznawczym, studialne, badania nad zjawiskami występującymi w lampach mikrofalowych itp.

Do istotniejszych zaliczyć należy prace (lata 1964, 1965) prowadzone przez Wojciecha Czarzyńskiego nad zjawiskami związanymi z ładunkiem przestrzennym w wiązkach elektronów, w tym wytwarzanych w wyrzutniach o małych szumach do LFB. W roku 1964 otrzymał on stypendium ONZ i wyjechał na okres roku na staż na Southampton University, do prof. Gamblinga. Zajmował się tam zjawiskami związanymi z ładunkiem przestrzennym w wiązkach elektronów [3, 4, 5]. W tym czasie był to problem dużej wagi, zwłaszcza w LFB o małych szumach. Przewidział a następnie zaobserwował jeden z rodzajów drgań związanych z występowaniem katody pozornej. Wykazał też, że występująca w charakterystyce katody pozornej pętla histerezy wynika z ładunku przestrzennego, a nie jest wynikiem gromadzenia się ładunków dodatnich. Uzyskał on również potwierdzenie hipotezy, że wystąpienie wtórnej katody pozornej powoduje gwałtowny wzrost szumów. Ma to obecnie znaczenie historyczne, jednak w roku 1965 był to dość istotny problem. Wyrzutnie LFB o niskim współczynniku szumów pracowały bowiem blisko punktu powstawania wtórnej katody pozornej. Badania nad tym problemem W. Czarzyński kontynuował, po powrocie do Polski. W 1966 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej na podstawie rozprawy „Zjawiska związane z ładunkiem przestrzennym w wiązkach elektronów”.

Inną ciekawą pracą było wykonanie (1969 r.) przez Jerzego Kampe i Wiktora Sielanko modelu (rys. 3) fotodetektora z falą bieżącą do demodulacji światła laserowego modulowanego mikrofalami [6]–[8]). Umożliwiał on detekcję światła laserowego z zakresu podczerwieni, zmodulowanego mikrofalami w paśmie 2,6–3,4 GHz. Wykorzystując model detektora zespół prof. Dzieciołowskiego z WAT udanie przesłał zmodulowany mikrofalami sygnał laserowy z Pałacu Kultury w Warszawie na teren WAT. Uzyskane wyniki w trakcie realizacji pracy stanowiły podstawę uzyskanych w 1970 r.

doktoratów przez Jerzego Kampę i Wiktora Sielanko na Politechnice Wrocławskiej.

Inną ciekawą pracą było wykonanie (1969 r.) przez Jerzego Kampę i Wiktora Sielanko modelu (rys. 3) fotodetektora z falą bieżącą do demodulacji światła laserowego modulowanego mikrofalami [6, 7, 8]. Umożliwiał on detekcję światła laserowego z zakresu podczerwieni, zmodulowanego mikrofalami w paśmie 2,6–3,4 GHz. Wykorzystując model detektora zespół prof. Dzieciółowskiego z WAT udanie przesłał zmodulowany mikrofalami sygnał laserowy z Pałacu Kultury w Warszawie na teren WAT. Uzyskane wyniki w trakcie realizacji pracy stanowiły podstawę uzyskanych w 1970 r. doktoratów przez Jerzego Kampę i Wiktora Sielanko na Politechnice Wrocławskiej.

Osiągnięcia ośrodka wrocławskiego w dziedzinie LFB były na tyle istotne dla rozwoju polskiej radiolokacji, iż dwukrotnie pracownicy instytutu wchodzili w skład zespołów wyróżnionych Nagrodami Państwowymi (w 1964 – J. Kampa i W. Sielanko; w 1971 – W. Sielanko).

Epoka LFB o małych szumach skończyła się wraz z końcem lat 60. na skutek postępu w technologii przyrządów półprzewodnikowych umożliwiających konstrukcję wzmacniaczy bardzo wysokiej częstotliwości, pracujących w torach odbiorczych współczesnych radarów. LAMPY LFB zaczęły być gwałtownie wypierane z systemów radiolokacyjnych przez układy półprzewodnikowe [9]. Zjawisko to nastąpiło również w Polsce, choć nieco później, bo w początku lat siedemdziesiątych. Brak było zapotrzebowania na nowe opracowania, a bieżące zapotrzebowanie na dotychczasowe typy lamp wynikało z konieczności ich wymiany w eksploatowanych stacjach. Dziś LFB o niskim współczynniku szumów to już historia. Odegrały one jednak dużą rolę w rozwoju systemów radiolokacyjnych, a także dużą rolę w ukształtowaniu Ośrodka Wrocławskiego.

Warto wspomnieć, iż w roku 1997 opracowano 2 typy wzmacniaczy na półprzewodnikach LO-6P i LO-5P. Wzmacniacze te stanowią zamienniki lamp LFB-61 i LFB-51 pracujących w radarach typu „Jawor” i „Nida”. Wszystkie te wzmacniacze zostały opracowane we Wrocławiu przez zespoły kierowane przez doc. Jerzego Kampę i mgr inż. Wiesława Laske.

W latach 1998-2002 OW PIT brał także udział w modernizacji zestawów rakietowych. Modernizacja polegała na opracowaniu wzmacniaczy zastępujących LFB w torach odbiorczych radarów wykrywających i naprowadzających zestawów rakietowych. Opracowano 9 typów tych wzmacniaczy, pracujących w pasmach od 4,8 do

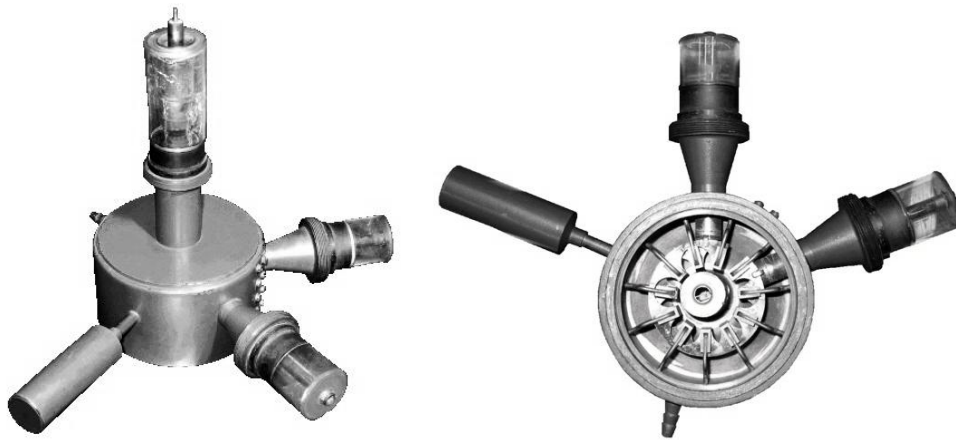


Rys. 3. Fotodetektor o fali bieżącej

16 GHz. Cechą charakterystyczną tych wzmacniaczy jest pełna kompatybilność z wzmacniaczami lampowymi a wymiana tych ostatnich nie wymagała żadnych przeróbek w odbiornikach radarowych zestawów raketowych.

4. Lampy o fali bieżącej średniej i dużej mocy

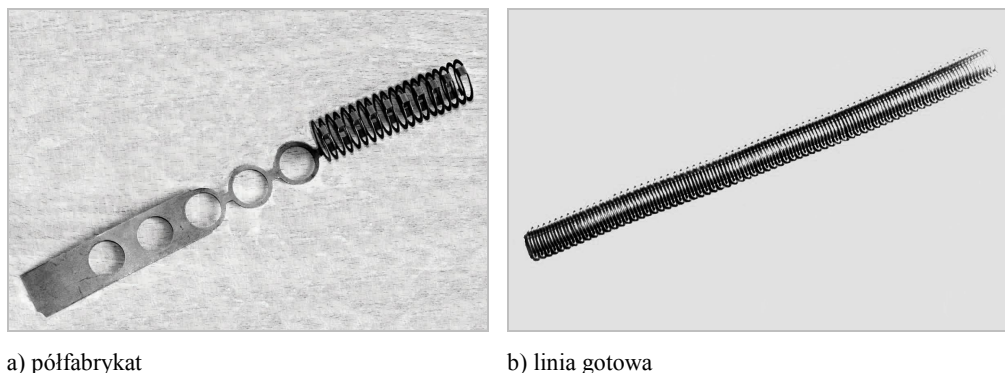
Pod koniec 1959 roku Oddział Wrocławski PIE otrzymał nowe zadanie – skonstruowania najnowszej wtedy lampy dużej mocy – platinotronu. Realizację zadania powierzono zespołowi kierowanemu przez Wojciecha Czarczyńskiego. Było to bardzo trudne zadanie. Rzecz polegała na tym, że była to lampa dużej mocy, odpowiadająca średniej wielkości magnetronowi, a w OW PIE nie było praktycznie nic. Ani doświadczenia w konstruowaniu lamp metalowych dużej mocy, ani doświadczenia w zakresie lamp M, ani odpowiednich urządzeń. Zadanie brzmiało dość ambitnie – odtworzyć platinotron QK431 firmy Raytheon. Dzięki pomysłom Wojciecha Czarczyńskiego i zmysłowi praktycznemu jego najbliższego współpracownika Tadeusza Fijewskiego opracowano szereg nowatorskich rozwiązań między innymi specjalną techniką realizacji zimnych złącz dyfuzyjnych miedź–miedź [10], która z powodzeniem została wykorzystana do montażu amplitronu. Dzięki temu w stosunkowo krótkim okresie czasu wykonano serię modelową (rys. 4). Uzyskano moc wyjściową (w układzie samowzbudnym) około 670 kW [11]. Na tym etapie całość prac została przekazana do ZE „LAMINA”.



Rys. 4. Platinotron PT61

Kolejnym zadaniem, jakie otrzymał zespół Wojciecha Czarczyńskiego, było opracowanie lamp z falą bieżącą do stacji radiolokacyjnych na pasma L i S. Na każde z tych pasm należało opracować lampę do pracy ciągłej o mocy kilkudziesięciu watów i lampę do pracy impulsowej o mocy kilku kilowatów.

Po wstępnym okresie organizacji zespołu przystąpiono do rozwiązywania nowych problemów. Zespół posiadał już doświadczenie w zakresie technologii lamp metalowych i trochę urządzeń. Znacznie gorzej było z elementami, których nie można było wykonać w instytucie oraz z materiałami. Dość obszerna była dostępna literatura. Stosunkowo łatwo opracowano lampy o mniejszej mocy, z spiralnymi liniami opóźniającymi podobnymi do stosowanych w LFB o niskim współczynniku szumów. Gorzej było z LFB o mocy wyjściowej 5 i 10 kW. W lampach takich są stosowane linie typu pierścieniowo-prętowego, wykonywane z precyzyjnych rur molibdenowych. Sama rura kosztowała około 1000 \$, a na jedną lampę trzeba było dwie. W dodatku trzeba było obchodzić embargo. W związku z tym w pierwszych modelach zastosowano linie pierścieniowo-prętowe ze stali austenitycznej, wykonywane mozolnie na tokarce. Jednak nie było to rozwiązanie problemu, ponieważ stal austenityczna ma znacznie gorsze właściwości od molibdenu. Prof. Wojciech Czarzyński wpadł na pomysł konstrukcji linii o parametrach linii pierścieniowo-prętowej [12], ale możliwej do wykonania z taśmy molibdenowej (rys. 5), znacznie tańszej i dostępnej w kraju bez ograniczeń. Po kilku miesiącach prób i pomiarów linia pierścieniowo-pętłowa była gotowa.



a) półfabrykat

b) linia gotowa

Rys. 5. Linia pierścieniowo-pętłowa

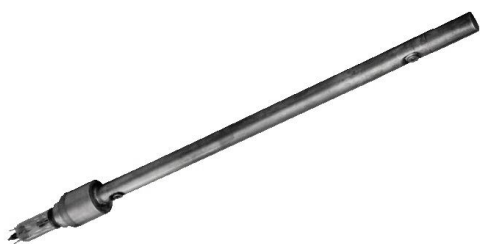
Rozwiązanie zostało zgłoszone do opatentowania w 1968 r. [13], a wyniki badań linii opóźniającej opublikowano w Pracach PIE. Niestety nie wyrażono zgody na opatentowanie w USA, Anglii i Francji. Linie o podobnej konstrukcji zastosowano w USA około roku 1971. W roku 1975 ukazał się artykuł [14], w którym autor pisze: *W zakresie mocy od 1 do 20 kilowatów linia pierścieniowo-pętłowa przewyższa każdą z tych lepiej znanych linii. Ma największą impedancję i jest najbardziej stabilną wielokilowatową linią z falą bieżącą, jaką dysponujemy. Korzyści dla projektanta radaru obejmują małe wymiary, niski ciężar, duże wzmocnienie i dużą sprawność, uwolnienie od drgań pasożytniczych, małą zawartość harmonicznych na wyjściu, wspaniałą charakterystykę fazową i niski koszt w masowej produkcji.* W 2000 roku dr Wojciech

Czarczyński i dr Janusz Sobański uzyskali kolejny patent na linię opóźniającą pierścieniowo-pętlową [15].

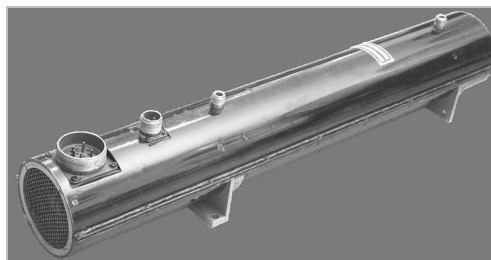
Poważny problem techniczny stanowiło skuteczne chłodzenie lamp. W stosowanym w instytucie systemie ogniskującym w postaci magnesów periodycznych z ferrytowych pierścieni balon lampy miał złe warunki odprowadzania ciepła. Prof. Wojciech Czarczyński wraz z mgr inż. Tadeuszem Fijewskim opatentowali sposób chłodzenia lamp płynem na całej jej długości. Opracowana została przez mgr inż. Maciej Korusiewicza oryginalna metoda projektowania magnesów periodycznych o zadanej charakterystyce. W czasach, w których symulacje komputerowe nie stanowiły codzienności, posiadanie dobrej metody projektowania było istotne.

Dziełem zespołu prof. Wojciecha Czarczyńskiego było niewątpliwie dopracowanie metod projektowania lamp z falą bieżącą. W zespole tym powstało również sporo innych oryginalnych rozwiązań technicznych, jak np. sposób precyzyjnego ustawiania siatki modulacyjnej w wyrzutni elektronów. Grupa, którą udało się zebrać profesorowi, okazała się bardzo stabilna i mimo odejścia prof. Wojciecha Czarczyńskiego z zespołu, pod kierownictwem mgra inż. Tadeusza Fijewskiego przetrwała wiele lat. Efektami ich pracy były kolejne opracowania, z reguły wdrażane do produkcji.

Od początku lat siedemdziesiątych OW OBREP brał udział w opracowaniu rodziny lamp do pełnokohierentnych radarów typu N (NUR). Opracowano lampy LO-20 i LO-111 pracujące w paśmie L w nadajnikach radaru ostrzegawczego NUR 31. Lampa LO-20 (rys. 6) o mocy wyjściowej 20W i lampa LO-111 (rys. 7) o mocy wyjściowej 5kW w impulsie stanowiły dwa pierwsze stopnie łańcucha wzmacniaczy mocy nadajnika. Lampy te miały już konstrukcję całkowicie metalowo-ceramiczną i periodyczny układ ogniskujący (ppm).



a) lampa po odpompowaniu



b) lampa w układzie ogniskującym

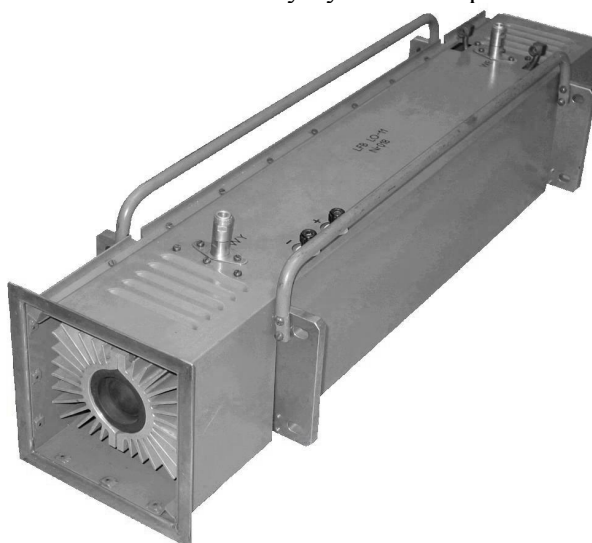
Rys. 6. LFB LO-20 lampa na pasmo L opracowana w latach 1971–1974 o mocy wyjściowej 20 W, stosowana do napędu lampy LO-111

W tym samym okresie rozpoczęto opracowanie LFB pracujących w paśmie S dla radaru N-21 do wykrywania celów niskolejących. Dla nadajników tych radarów zostały opracowane lampy LO-401 i LO-301. Także i te lampy miały konstrukcję

metalowo-ceramiczną i periodyczny układ ogniskujący. Opracowaniem tych lamp kierowali dr Wojciech Czarczyński i mgr inż. Tadeusz Fijewski. Dużą rolę w tym okresie odegrał dr inż. Janusz Sobański zajmując się obok zagadnień technologicznych ogólną koncepcją rozwoju LFB mocy w PIT Produkcja wszystkich wymienionych lamp została w 1984r. przekazana do DZE „DOLAM”, gdzie są one dotąd produkowane.

W pierwszym okresie rozwoju radiolokacji większość stacji radarowych pracowała z falą ciągłą. Obecnie radary impulsowe, które umożliwiają dużą rozdzielność i dużą dokładność pomiaru odległości oraz posiadają zdolność jednoczesnej obserwacji i pomiaru współrzędnych wielu obiektów stanowią przytłaczającą większość urządzeń radiolokacyjnych. Są one stosowane zarówno do wykrywania i naprowadzania samolotów, jak i do precyzyjnego śledzenia obiektów, obserwacji powierzchni Ziemi, nawigacji morskiej i wielu innych zadań. Stąd zapotrzebowanie użytkowników skierowane jest przede wszystkim na lampy impulsowe. W tym też kierunku poszedł rozwój lamp w OW. Opracowano szereg nowych typów lamp. Są to lampy impulsowe, które mogą pracować jako samodzielne źródła mocy mikrofalowej lub jako przedwzmacniacze w impulsowych układach radiolokacyjnych. W zależności od potrzeb zamawiającego wykonuje się LFB sterowane siatkowo lub katodowo. Moc wyjściowa gwarantowana jest w paśmie pracy bez konieczności dodatkowego dobierania napięcia synchronizmu. Metalowo-ceramiczna konstrukcja lamp dobrze zabezpiecza je przed skutkami narażeń. Wytwarzane są lampy z falą bieżącą małej mocy pracujące w pasmach S, L, C o mocy ciągłej 30 W i wzmacnieniu 30–35 dB, impulsowe lampy z falą bieżącą małej i średniej mocy pracujące w pasmach S, L, C o mocy wyjściowej 15 do 100 W i wzmacnieniu od 30 do 40 dB oraz impulsowe lampy z falą bieżącą dużej mocy pracujące w pasmach X, S, L, C o średniej mocy wyjściowej 50 do 800 W, szczytowej mocy wyjściowej 5 do 40 kW i wzmacnieniu od 26 do 35 dB.

Warto podkreślić, iż po powstaniu OW PIT w roku 1993 szereg nowych LFB został opracowany przez zespół mgra Tadeusza Fijewskiego:



Rys. 7. Lampa LO 11 na pasmo L o mocy wyjściowej 5,5 kW w impulsie (prototyp lampy LO111)

Warto podkreślić, iż po powstaniu OW PIT w roku 1993 szereg nowych LFB został opracowany przez zespół mgra Tadeusza Fijewskiego:

Warto podkreślić, iż po powstaniu OW PIT w roku 1993 szereg nowych LFB został opracowany przez zespół mgra Tadeusza Fijewskiego:

- LO-302 o mocy impulsowej 10 kW, pracująca w paśmie S, moc średnia 150 W,
- LO-112 o mocy impulsowej 10 kW, pracująca w paśmie L, moc średnia 150 W;
– przez zespół dr inż. Eugeniusza Adamskiego:
- LO-750 o mocy impulsowej 5 kW, pracująca w paśmie X, moc średnia 100 W,
- LO-550 o mocy impulsowej 10 kW, pracująca w paśmie C, moc średnia 500 W;
– przez zespół mgr Waldemara Wiejaka:
- LO-303m o mocy impulsowej 10 kW, pracująca w paśmie S, moc średnia 400 W,
- LO-120 o mocy impulsowej 40 kW, pracująca w paśmie L, moc średnia 800 W.

Poza lampami z falą bieżącą w OW PIT opracowano i wykonano również kompletne bloki wzmacniaczy (lampa wraz z zasilaczem).

W 1995 roku rozpoczęto w OW PIT w ramach projektu celowego prace nad nadajnikami zakłóceń. Była to próba stworzenia aktywnego elementu obrony elektronicznej współpracującego z urządzeniami rozpoznania. Dla tego celu opracowano lampy o fali bieżącej o mocy 20 W pracujące w pasmach: 2–4 GHz, 4–8 GHz, 8–12 GHz i 12–18 GHz. Prowadzono też szereg prac rozpoznawczych związanych z perspektywą wykorzystania polowych źródeł elektronów w zastosowaniach mikrofalowych [16, 17, 18].

Dalszy rozwój lamp mikrofalowych we Wrocławiu związany jest przede wszystkim z rozwojem radiolokacji w kraju. Można oczekiwać prac zmierzających do poprawy parametrów lamp, szczególnie chodzi tu o wzmocnienie, sprawność, skrócenie czasu startu lampy. Można oczekiwać też prac zmierzających do opracowania i uruchomienia produkcji wielowiązkowych LFB stanowiących najnowszą generację tych lamp. Przykładem może tu być realizacja projektu badawczego, którego celem jest opracowanie metod projektowania LFB [19] przy zastosowaniu symulacji komputerowych, zwłaszcza zaś metod projektowania wielowiązkowych LFB. Kierownikiem projektu jest doc. dr Janusz Sobański a jednym z realizatorów prof. Wojciech Czarzyński.

5. Uwagi końcowe

W pierwszej dekadzie istnienia Ośrodka Wrocławskiego nie było zbyt sprzyjających warunków dla działalności naukowej. Problemy organizacyjne, budowa podstaw działalności Ośrodka, brak doświadczeń zespołu, konieczność realizacji bieżących zadań o charakterze przede wszystkim konstrukcyjno-technologicznym, zadań objętych klauzulą tajności powodowały że sprawy rozwoju naukowego pracowników były na drugim planie. Dopiero w połowie lat sześćdziesiątych środowisko zaczęło się uaktywniać. Przyczyniły się do tego wyjazdy Wojciecha Czarzyńskiego i Jerzego Kampa na staże naukowe do Anglii, a także uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych przez tego pierwszego. Zaczęła rosnać ilość publikacji i udział w konferencjach naukowych. W latach 1968-75 stopień doktora nauk technicznych uzyskało 7 osób. Do 1975 roku stanowisko docenta uzyskały 4 osoby (dr Wojciech Czarzyński, dr Jerzy Kampa, dr Wiktor Sielanko, dr Janusz Sobański).

Szczególna rola w działalności naukowej związanej z lampami mikrofalowymi przypada prof. Wojciechowi Czarczyńskiemu. Był pierwszą osobą w OW PIE, która uzyskała stopień doktora z tematyki związanej z badaniami zjawisk występujących w lampach mikrofalowych. Jest autorem lub współautorem 64 publikacji i 36 prac niepublikowanych z tego około 30% stanowią prace związane z lampami mikrofalowymi. Uzyskał 4 patenty i 1 wzór użytkowy. W 1971 została wydana jego książka „Lampy mikrofalowe”. Prowadził i prowadzi wykłady z lamp mikrofalowych na Politechnice Wrocławskiej.

Wrocławski Ośrodek lamp mikrofalowych mimo upływu blisko 50 lat to dalej dwie jednostki: oddział Instytutu (OW PIT) i zakład przemysłowy (PPPE „DOLAM” SA). Perspektywy ich rozwoju są trudne do określenia. Zapotrzebowanie krajowe na lampy mikrofalowe typu LFB nie jest i nie będzie zbyt duże. W PPPE „Dolam” S.A. [20] produkowane są impulsowe lampy z falą bieżącą średniej i dużej mocy pracujące w pasmach S, L opracowane w latach wcześniejszych przez OW. Zakład nie prowadzi prac rozwojowych w zakresie LFB. Wątpliwy jest też rozwój produkcji w Zakładach „DOLAM”, na podstawie opracowań OW PIT, ze względu na to że OW sam jest zainteresowany produkcją małoseryjną. Wielkoseryjna produkcja musiałaby się opierać na dużym eksporcie, co wydaje się mało realne. Jeśli idzie o OW PIT to perspektywy są lepsze ze względu na powiązanie organizacyjne z PIT, powiązanie prac rozwojowych i produkcji małoseryjnej [21], oraz pewną elastyczność wynikającą z tego iż obok lamp mikrofalowych istnieje inna działalność związana z techniką mikrofalową.

Podobne perspektywy jak przed OW PIE rysują się przed ZE „LAMINA”. Wytwarzają one aktualnie magnetrony, amplitrony, zwieraki, diody magnetronowe. Zakłady produkują lampy przede wszystkim dla potrzeb radiolokacji. Podejmują również działania nad opracowaniem i wdrożeniem do produkcji lamp mikrofalowych z przeznaczeniem do pracy w zastosowaniach cywilnych.

Reasumując, rozwój lamp mikrofalowych w Polsce jak na razie jest ściśle związany z rozwojem polskiej radiolokacji, co w perspektywie nie stwarza zbyt optymistycznej wizji dla lamp mikrofalowych.

Wykaz literatury

- [1] Czarczyński W., *Lampy mikrofalowe*, Warszawa, WKiŁ, 1971, 299 s.
- [2] Sielanko W., *Lampy z falą bieżącą niskoszumne*, Przegląd elektroniki, 1/1960, s. 28–31.
- [3] Czarczyński W., Ryley J.E., Gambling W.A., *Hysteresis and virtual cathode, formation in electron beams. Powstawanie histerezy i katod pozornych w wiązках elektronowych*. International J. Electron, 1966, Vol. 21, No. L, s. 51–62.
- [4] Czarczyński W., *Zjawiska związane z ładunkiem przestrzennym w wiązках elektronów*, Prace Przem. Inst. Elektron., 1968, R. 9, nr J, s. 45–64, 5.
- [5] Czarczyński W., Majewski S., *Szkodliwa modulacja drganiem ładunku przestrzennego w lampach o fali bieżącej*, Prace Przem. Inst. Elektron., R. 9, nr ¼, s. 185–195.
- [6] Kampa J., Sielanko W., *Fotodetektor z falą bieżącą do demodulacji światła laserowego modulowanego mikrofalami*, Prace Przemysłowego Instytutu Elektroniki IX, nr 3/1968.

- [7] Godziński Z., Kampa J., Sielanko W., *Zasada działania, konstrukcja i technologia fotodetektora o fali bieżącej do demodulacji wiązki laserowej modulowanej mikrofalami*, Materiały z III Ogólnopolskiej Konferencji REK, Poznań, kwiecień 1968, 1–8.
- [8] Godziński Z., Kampa J., Majewski S., Sielanko W., *Zagadnienie oporności równoważnej mikrofalowego fotodetektora z falą bieżącą*, Archiwum elektrotechniki XIX, 1970, zeszyt 4, 787–799.
- [9] Czarczyński W., Sielanko W., *Perspektywy lamp mikrofalowych mocy*, Biuletyn Informacyjny Elektroniki, 1969, R. 9, nr 3, s. 3–15.
- [10] Fijewski T., Czarczyński W., *Próżnioszczelne złącza miedz–miedź*, Prace Przem. Inst. Elektron., 1962, R. 3, nr 3, s. 223–224.
- [11] Czarczyński W., *Platinotron*, Prace Przem. Inst. Elektron., 1961, R. 2, nr 2, s. 67–76.
- [12] Czarczyński W., *Pierścieniowo-prętowe linie opóźniające*, Prace Przemysłowego Instytutu Elektroniki, 1970, R. 11, nr 1, s. 11–24.
- [13] Czarczyński W., *Sposób wykonywania linii opóźniającej*, Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa, PL. Patent. Polska, nr 62579. Zgłoszenie P129882 z 04.11.1968. Opubl. 15.05.1971.
- [14] Phillips R.M., *High Power Ring-Loop Traveling-Wave Tubes for Advanced Radar*, MSN, February–March 1975, 47.
- [15] Czarczyński W., Sobański J., *Linia opóźniająca pierścieniowo-pętlowa*, Politechnika Wrocławska, Wrocław, PL. Patent. Polska, nr 178322. Zgłoszenie nr 312593 z 30.01.1996. Opubl. 28.04.2000.
- [16] Czarczyński W., Sobański J., *Application of field-emitter-arrays to the microwave tubes. Zastosowanie układów emiterów polowych w lampach mikrofalowych*, 10th International Microwave Conference. MIKON-94 [Telecommunications Research Institute (PIT)]. Książ Castle – Poland, May 30–June 2, 1994, Vol. 1 [B.m.: b.w. 1994], s. 212–217.
- [17] Borkowicz Z., Czarczyński W., Sobański J., *Perspectives of field electron sources in microwave applications. Perspektywy polowych źródeł elektronów w zastosowaniach mikrofalowych*, 11th International Microwave Conference. MIKON-96 [Telecommunications Research Institute], Warsaw, Poland, May 27–30, 1996, Vol. 1 [B.m.: b.w. 1996], s. 299–304.
- [18] Czarczyński W., Sobański J., *Źródła mocy i wzmacniacze mikrofalowe o dużej sprawności z wykorzystaniem emisji polowej*, Systemy rozpoznania i walki radioelektronicznej. III Konferencja Naukowo-Techniczna. WAT. Żegiestów, 7–9 kwietnia 1997 r., T. I, s. 190–200.
- [19] Czarczyński W., Francik A., Sobański J., Tadrzak P., *Simulation of electromagnetic fields in multicavity delay lines for TWT. Symulacja pól elektromagnetycznych w wielonękowych liniach opóźniających dla LFB*, 17th International Conference on Electromagnetic Fields and Materials. EMFM-2004, Telecommunications Research Institute (PIT), Warsaw, May 17th–18th, 2004, s. 40–44.
- [20] PPPE „DOLAM” S.A – *lampy mikrofalowe*, <http://www.unitra-dolam.pl/>.
- [21] OW PIT – *lampy mikrofalowe*, <http://www.pitow.wroc.pl/>.

ZASTOSOWANIA TERMICZNYCH ODDZIAŁYWAŃ SKONCENTROWANYCH WIĄZEK ELEKTRONOWYCH DUŻEJ MOCY Z CIAŁEM STAŁYM W POLSKIM PRZEMYŚLE I NAUCE

Stefan Wójcicki
*Przemysłowy Instytut Elektroniki,
Ul. Długa 44/50, 00-241 Warszawa*

1. Wstęp

Jubileuszowe seminarium naukowe na Wydziale Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej, poświęcone między innymi jubileuszowi prof. Andrzeja Hałasa jest okazją do przypomnienia i podsumowania jego dorobku naukowego i zawodowego, którego znaczna część nierozzerwalnie wiąże się z tematyką skoncentrowanych wiązek elektronowych dużej mocy [10].

Wiązki elektronowe oferują ogromne bogactwo spektakularnych właściwości, które są od lat z dużym powodzeniem wykorzystywane zarówno w urządzeniach przemysłowych zaliczanych do „wysokiej techniki” jak i w najbardziej wyrafinowanej aparaturze naukowej.

Przyjmuje się, że głównymi wyróżnikami wiązek elektronowych, decydującymi o ich właściwościach i zastosowaniach są moc wiązki elektronów, osiągalny poziom gęstości mocy w strefie oddziaływania z materiałem, oraz napięcie przyspieszające. Kryteria te decydują o sposobie oddziaływania wiązki elektronowej z ciałem stałym i legły u podstaw pierwotnego podziału wiązek elektronowych. Wyróżnia się zatem wiązki elektronowe, których istotą oddziaływania z ciałem stałym jest wydzielanie energii cieplnej. Właściwości tych wiązek oraz ich zastosowania stanowią przedmiot niniejszego referatu. Wiązki elektronowe stosowane jako nośnik informacji mogą być zakwalifikowane do grupy drugiej. Mówi się wówczas o nietermicznych zastosowaniach wiązek elektronowych. W tej grupie najbardziej popularne są tak powszechnie znane urządzenia jak mikroskopy elektronowe, sondy elektronowe, urządzenia do elektronolitografii, urządzenia do polimeryzacji warstw fotoochronnych.

Wracając do urządzeń wykorzystujących termiczne oddziaływania wiązki elektronowej, jako najbardziej popularne należy wymienić: spawarki, mikrodrażarki, piece do topienia i rafinacji metali, urządzenia do oczyszczania strefowego, urządzenia do hartowania powierzchniowego, urządzenia do naświetlania materiałów półprzewodnikowych (najczęściej po implantacji) oraz urządzenia do obróbki cieplnej metali.

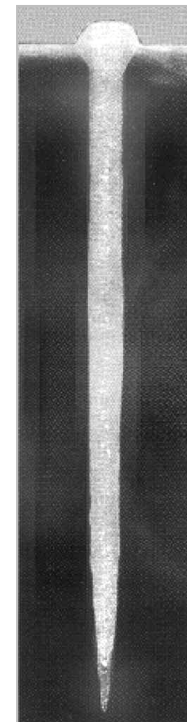
W kraju, najliczniejsze aplikacje zarówno w przemyśle jak i w instytutach naukowych znalazły spawarki elektronowe. Dlatego też na ich przykładzie zostaną przedstawione problemy związane z wytwarzaniem wiązek elektronowych, sposobami ich

sterowania i kontroli parametrów, pokazane zostaną przykłady rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych podzespołów oraz konstrukcji spawarek.

2. Charakterystyka wiązek elektronowych w zastosowaniach spawalniczych

Wiązki elektronowe wykorzystywane w spawalnictwie charakteryzują się następującymi właściwościami:

– **Posiadają bardzo dużą gęstość mocy w strefie oddziaływania z materiałem.** Osiąga ona wartość od 10 do 100 kW/mm². Pod tym względem skoncentrowana wiązka elektronowa przewyższa o kilka rzędów inne znane źródła energii wykorzystywane w procesach spawania metali. Jedynie wiązki laserowe (i to w ograniczonym zakresie) posiadają zbliżone wartości gęstości mocy. W konsekwencji, spoiny wykonane za pomocą wiązki elektronowej charakteryzują się bardzo dużą głębokością, a ich krawędzie są niemal równoległe (rys. 1). Stosunek głębokości spoiny do jej szerokości w przekroju poprzecznym kształtuje się jak 10:1 dla urządzeń niskonapięciowych i 50:1 dla urządzeń wysokonapięciowych. Duża koncentracja energii wiązki elektronowej umożliwia jednocześnie wykonanie spoin o wymaganej głębokości z użyciem minimalnej energii. Na przykład: wykonanie spoiny o długości 1 metra blach stalowych o grubości 4 mm przy użyciu łuku elektrycznego pochłania ok. $3,22 \cdot 10^6$ J energii, natomiast ta sama spoina wykonana za pomocą wiązki elektronów pochłania zaledwie $0,1 \cdot 10^6$ J energii. Pozytywnym efektem małej ilości energii wprowadzanej do spawanych detali są ich niewielkie odkształcenia spawalnicze. Są one jeszcze dodatkowo minimalizowane ponieważ naprężenia występujące przy skurczach spawalniczych, w przypadku spoin o równoległych krawędziach (wykonanych wiązką elektronową) kompensują się wzajemnie. Rozpoznanie tych ostatnich właściwości wiązki elektronowej spowodowało w swoim czasie jeden z wielu przełomów w spawalnictwie, polegającym między innymi na odwróceniu cyklu wykonawstwa detali i eliminacji wielu zbędnych operacji. Zmodyfikowano także technologie, szczególnie w przypadkach wymagających ulepszenia cieplnego.



Rys.1. Charakterystyczny przekrój poprzeczny spoiny wykonanej wiązką elektronową; głębokość spoiny – 55 mm, moc wiązki elektronowej 5 kW, materiał – stal nierdzewna (PIE, Warszawa)

– **Spawanie wiązką elektronową ma praktycznie charakter adiabatyczny.** Brak transmisji energii cieplnej do otoczenia jest przyczyną ograniczenia strefy wpływu ciepła, co jest bardzo często pożądane w celu zachowania rodzimej struktury materiału jak i właściwości mechanicznych spoiny. Ta sama właściwość skon-

centrowanych wiązek elektronowych dużej mocy umożliwia bezproblemowe spawanie metali o dużym przewodnictwie cieplnym takich jak miedź, aluminium, srebro, złoto i inne.

– **Wiązki elektronowe dają się łatwo i precyzyjnie sterować.** Parametry energetyczne wiązki elektronowej mogą być kontrolowane, praktycznie w sposób bezinercyjny, w pełnym zakresie od zerowej do maksymalnej wartości mocy. Również przestrzenna i czasowa struktura wiązki może być bardzo dokładnie kształtowana, zgodnie z wymaganiami procesu spawalniczego. Wiązka elektronowa daje się łatwo przemieszczać i odchyłać, co wykorzystywane jest zarówno do precyzyjnego prowadzenia jej wzdłuż szczeliny spawalniczej nawet o skomplikowanym zarysie, jak i do nadawania jej ruchów oscylacyjnych w celach technologicznych.

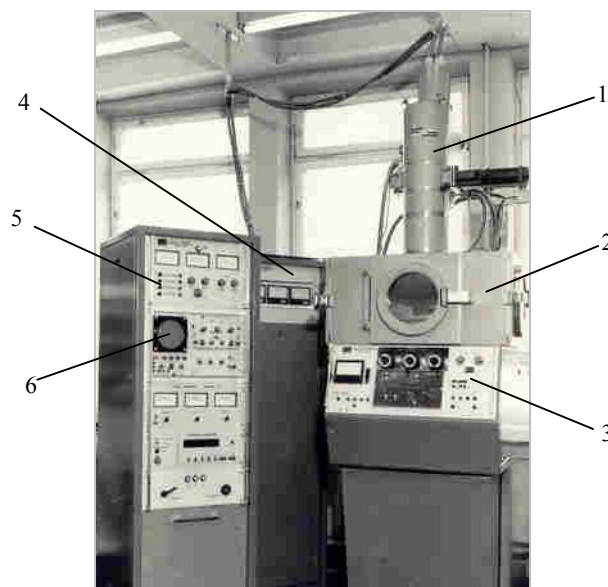
– **Procesowi spawania metali za pomocą wiązki elektronowej towarzyszy szereg wiele zjawisk fizycznych,** które są nośnikiem szczegółowych informacji o tym procesie. Do najlepiej rozpoznanych należy emisja wtórna elektronów (i jonów). Jak stwierdzono w licznych pracach badawczych, chwilowa wartość strumienia elektronów zależy od wielu czynników takich jak stan powierzchni spawanych elementów, chwilowa głębokość kanału spawalniczego, zawartość zanieczyszczeń w materiałach spawanych, koncentracja energii w wiązce, poziom dystorsji wiązki elektronowej i wiele innych. Prace te umożliwiły wykorzystanie sygnałów elektronów wtórnych do budowy systemów automatycznie naprowadzających wiązkę elektronów na szczelinę spawalniczą, systemów optymalnego ogniskowania wiązki niezależnie od zmiennego profilu przekroju spawanych detali i wielu innych.

– **Proces spawania odbywa się w warunkach próżniowych.** Umożliwia to spawanie metali reaktywnych takich jak beryl (materiał stosowany na osłony elementów paliwowych w reaktorach atomowych), niob, wanad, tytan, tantal. Również aluminium, ze względu na jego duże powinowactwo do tlenu, szczególnie warstwy wierzchniej, najchętniej spawany jest w warunkach próżniowych.

– **Możliwość pełnej automatyki urządzeń do spawania wiązką elektronową.** Wskazane powyżej właściwości wiązki elektronowej umożliwiły automatyzację urządzeń w stopniu poprzednio w spawalnictwie nieznanym. Jest to szczególnie ważna cecha w przypadkach, kiedy spawarka jest przeznaczona do zainstalowania w istniejących automatycznych liniach produkcyjnych. Już od dość dawna do standardów należy wyposażenie spawarek w systemy komputerowego sterowania i kontroli PLC lub CNC. Służą one do nastaw i kontroli takich parametrów eksploatacyjnych jak napięcie przyspieszające, prąd wiązki elektronów, prąd soczewki magnetycznej, prąd cewek odchyłających, częstotliwość, amplituda i kształt oscylacji wiązki, prędkość i kierunek ruchów stołów roboczych z zamocowanymi detalami, sterowanie systemem próżniowym spawarki i inne. Co ważniejsze, systemy te mogą być i są wyposażone w biblioteki programów oraz systemy ekspertowe umożliwiające m.in. zachowanie rygorów norm spawalniczych.

3. Konstrukcja spawarki elektronowej

Podstawowymi podzespołami klasycznej spawarki elektronowej (rys. 2) są: kolumna elektronooptyczna, zwana również działem elektronowym (1), zespół zasilaczy kolumny (4), próżniowa komora robocza wraz z oprzyrządowaniem technologicznym (2), oraz system pomp próżniowych. W referacie, z uwagi na duże zaangażowanie ówczesnego Instytutu Technologii Elektronowej (obecnie Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki) w problematykę optyki elektronowej bliżej zostaną przedstawione jedynie problemy związane z konstrukcją kolumn elektronooptycznych.



Rys. 2. Spawarka elektronowa WS2/30. Przykład konstrukcji klasycznej spawarki elektronowej z lat 70. (Opracowano w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej przez zespół kierowany przez Andrzeja Hałasa): 1 – kolumna elektronooptyczna, 2 – komora robocza wraz z oprzyrządowaniem, 3 – zespół napędów oprzyrządowania, 4 – zasilacz kolumny, 5 – szafa sterownicza układu próżniowego oraz zasilania kolumny elektronooptycznej, 6 – system identyfikacji położenia wiązki elektronowej względem szczeliny spawalniczej

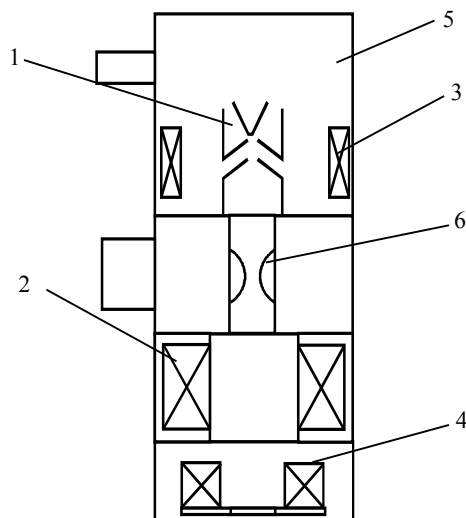
3.1. Kolumny elektronooptyczne

Przyjmuje się, że najistotniejszym podzespołem spawarki elektronowej decydującym w zasadniczy sposób o możliwościach aplikacyjnych spawarki jest kolumna elektronooptyczna. Zadaniem kolumny elektronooptycznej jest wytworzenie strumienia elektronów, nadanie mu odpowiedniej energii, ukształtowanie go w wiązkę, najczęściej o symetrii obrotowej, zogniskowanie jej na szczelinie spawalniczej łączonych

detali, oraz w miarę potrzeby nadanie jej ruchów oscylacyjnych w zależności od potrzeb technologicznych.

W zależności od zastosowanego napięcia przyspieszającego wyróżnia się spawarki niskonapięciowe, w których wielkość napięcia przyspieszającego strumień elektronów wynosi około 30 kV oraz spawarki wysokonapięciowe gdzie stosuje się napięcia przyspieszające powyżej 60 kV. Pokazana na rysunku 2 należy do klasy spawarek niskonapięciowych. W okresie późniejszym zaczęły dominować spawarki elektronowe wysokonapięciowe (rys. 11).

Schemat konstrukcji kolumny elektronoptycznej pokazano na rys. 3. W wersji najuboższej w jej skład wchodzi: system generacji, ekstrakcji i formowania elektronów w wiązkę potocznie zwany wyrzutnią elektronową (1) oraz soczewka magnetyczna (2). W rozwiązaniach praktycznych kolumna wyposażona jest jednak w szereg dodatkowych elementów elektronoptycznych jak cewki układu justowania wiązki (3), cewki układu odchylenia (4), kolektory elektronów wtórnych systemów identyfikacji położenia wiązki i inne. Niezależnie od elementów elektronoptycznych kolumny odpowiedzialnych za formowanie parametrów energetycznych wiązki elektronowej w skład kolumny wchodzi również szereg elementów mechanicznych, próżniowych, optycznych, elektrycznych itp.



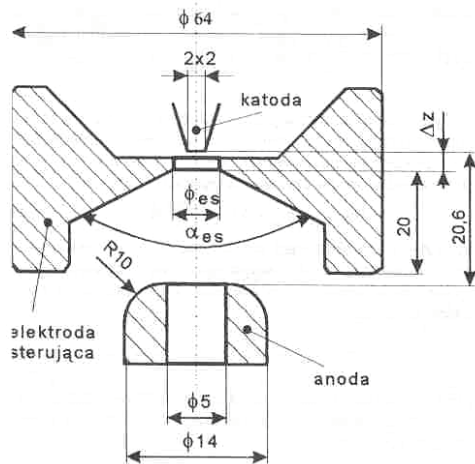
Rys. 3. Schemat kolumny elektronoptycznej: 1 – wyrzutnia elektronowa,
2 – soczewka magnetyczna, 3 – cewki układu justowania,
4 – cewki układu odchylenia, 5 – próżniowa komora wyrzutni, 6 – zawór odcinający

W spawarkach elektronowych dominują trójelektrodowe wyrzutnie elektronowe (rys. 4), które są zmodyfikowanymi wyrzutniami sferycznymi typu Pierce'a [14]. Ko-

nieczność modyfikacji wynika z faktu, że w warunkach realnych, na skutek oddziaływania czynników szkodliwych jak np. termicznej deformacji elektrod wyrzutni, rozproszonych pól magnetycznych, oddziaływania jonów pozostałości gazowych na tory elektronów itp., wyrzutnie Pierce'a generują wiązki elektronowe o parametrach odbiegających od wielkości założonych. Dotyczy to przede wszystkim wymiarów źrenicy elektrooptycznej, która zazwyczaj jest znacznie większa niż to założono. Skutkuje to niemożliwością uzyskania wysokiej koncentracji mocy w ognisku wiązki lub w rejonie jej strefy aktywnej, a więc w najistotniejszej strefie jej oddziaływania z materiałem.

Projektowanie wyrzutni elektronowej najczęściej jest realizowane w dwóch fazach [15]. W pierwszym kroku wykorzystuje się dostępne programy komputerowe dla wstępnego określenia kształtów elektrod wyrzutni oraz budowy wyrzutni w oparciu o rezultaty obliczeń. W drugiej fazie, instaluje się wyrzutnię w realnym środowisku jej pracy i metodami eksperymentalnymi koryguje się kształty oraz wzajemne położenie elektrod. Ponieważ wiązki elektronowe stosowane w spawarkach należą do klasy wiązek średnioperweancyjnych [18], stwarza to dodatkowe problemy na etapie modelowania komputerowego. Wynika to z faktu, że dla takiej klasy wiązek elektronowych zarówno prawa optyki geometrycznej jak i prawa przepływu ładunku obowiązują w bardzo ograniczonym zakresie, lub zgoła stosować ich nie można.

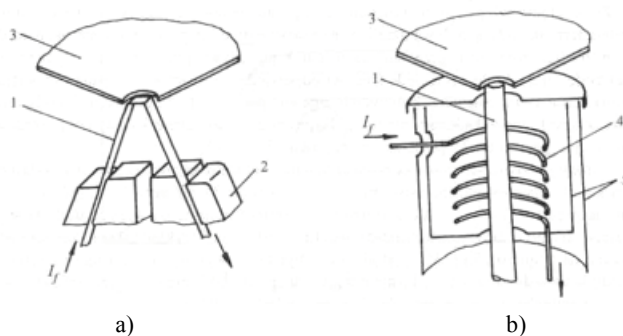
Przykład kształtu i wzajemnego usytuowania elektrod wyrzutni elektronowej pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Schemat konstrukcji wyrzutni elektronowej z katodą tantalową, bezpośrednio żarzoną stosowanej w spawarkach typu WE-10/60. (Opracowano w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej w 1990 r.)

Kolejny problem, z jakim borykają się konstruktorzy to problem katod. Wymagania dużej gęstości mocy wiązki elektronowej sprawiają, że katody winny charakteryzować się dużą gęstością prądu emisji. Jednak warunki pracy w spawarkach tych podstawowych elektrod wyrzutni są bardzo trudne. Katody poddawane są intensywnemu

bombardowaniu jonowemu, ich właściwości emisyjne ulegają degradacji na skutek zatrucia parami spawanych metali oraz cząsteczkami gazów w przypadku niedostatecznie wysokiej próżni.



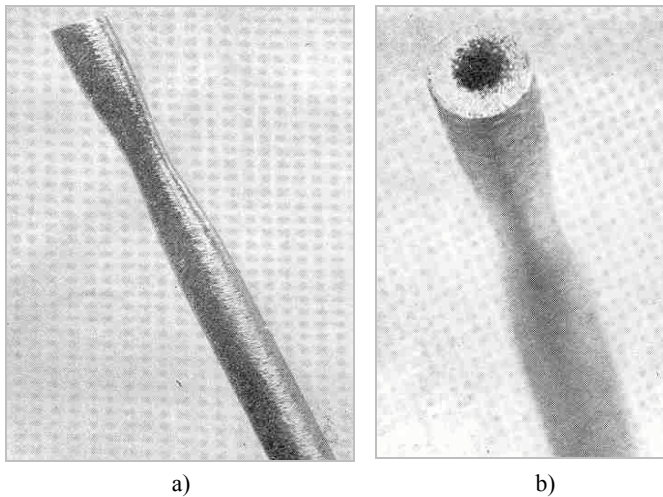
Rys. 5. Zespoły katodowe wyrzutni stosowane w spawarkach krajowych:
a) z katodą bezpośrednio żarzoną, b) z katodą pośrednio żarzoną. 1 – katoda,
2 – uchwyt katody, 3 – elektroda sterująca, 4 – katoda pomocnicza, 5 – ekrany cieplne

Duża gęstość prądu emisji uzyskiwana jest najczęściej przez podnoszenie temperatury pracy katody. W przypadkach takich rosną jednak rozrzuty początkowych prędkości termicznych elektronów, co wpływa negatywnie na parametry źrenicy elektrooptycznej. Ponadto czas życia katod ulega znacznej redukcji

W wyrzutniach spawarek elektronowych stosowane są dwa typy katod pokazane na rys. 5, a mianowicie katody bezpośrednio żarzone, nagrzewane wskutek przepływu prądu przez tę elektrodę (efekt Joule'a) i pośrednio żarzone, bombardowane elektronami emitowanymi z dodatkowej katody. W przypadku katod bezpośrednio żarzonych (rys. 5a), wykonanych w postaci taśm pojawia się dodatkowy problem kompensacji silnego efektu magnetronowego wywołanego przepływem prądu żarzenia katody. Przy stosowaniu katod pośrednio żarzonych (rys. 5b) problem deformacji torów elektronów na skutek oddziaływania pola magnetycznego generowanego przez prąd płynący przez spiralną katodę pomocniczą jest słabszy, komplikuje się natomiast budowa zasilaczy (dodatkowy zasilacz katody pomocniczej). Czas życia katod bezpośrednio żarzonych jest stosunkowo krótki. Cienka taśma katody ulega bowiem uszkodzeniom wskutek wspomnianych wyżej efektów bombardowania, ale i katody pośrednio żarzone ulegają degradacji (rys. 6), co zmienia warunki emisji elektronów [1]. Wybór katody wyrzutni jest więc kompromisem między wieloma sprzecznymi czynnikami.

Istotnym elementem kolumny elektrooptycznej jest soczewka magnetyczna. Jej zadaniem jest wytworzenie gaussowskiego rozkładu pola magnetycznego o idealnej symetrii obrotowej, co jest podstawą wiernego odwzorowania źrenicy elektrooptycznej. W rzeczywistości, na skutek niejednorodności materiału nabiegunkników soczewki, nierównomierności uzwojeń, nasycenia materiału pole to jest zniekształcone.

Należy również liczyć się z błędami aberracji sferycznej i chromatycznej odwzorowania źrenicy. Fundamentalne znaczenie decydujące o gęstości mocy wiązki elektronicznej w jej ognisku ma powiększenie układu odwzorowującego. Tu również konstruktorzy muszą dokonywać kompromisowych wyborów rzutujących także na konstrukcję mechaniczną kolumny elektrooptycznej.



Rys. 6. Uszkodzenia prętowej katody wolframowej pośrednio zarzonej [1] pracującej w temperaturze około 2900 °C, po 8 godzinach eksploatacji: a) – na skutek odparowania materiału w strefie o najwyższej temperaturze pracy b) – na skutek bombardowania powierzchni czołowej katody jonami

Analogiczne problemy pojawiają się w przypadku magnetycznych cewek odchylających i justujących wiązkę elektroniczną. Generalnie żąda się, aby elementy te nie wprowadzały dodatkowych dystorsji symetrii wiązki.

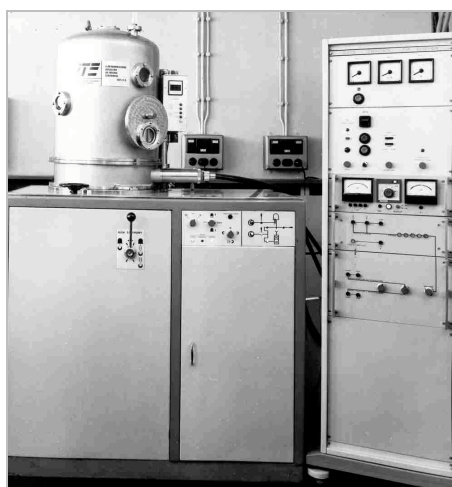
Spełnienie tych wszystkich często sprzecznych oczekiwań nie jest zadaniem łatwym. Ostateczną weryfikacją jakości zaprojektowanej kolumny elektrooptycznej jest kształt i wady powstające w spoinie. Należy stwierdzić, że konstrukcje opracowane w Instytucie Technologii Elektronicznej Politechniki Wrocławskiej są pod tym względem w pełni porównywalne z konstrukcjami czołowych europejskich i światowych producentów spawarek elektronicznych.

3.2. Prace podstawowe, przykłady konstrukcji spawarek

Aby osiągnąć ten światowy poziom należało wcześniej rozwiązać z powodzeniem szereg fundamentalnych problemów naukowych i technicznych dotyczących nieznanych obszarów zasad działania przyrządów elektrooptycznych. Prace te wiążą się nierozdzielnie z osobami prof. Wiesława Barwicza i prof. Andrzeja Hałasa.

W Politechnice Wrocławskiej prace te zapoczątkowano już w latach pięćdziesiątych. W roku 1957 Andrzej Hałas w ramach pracy dyplomowej opracował wyrzutnię do mikroskopu elektronicznego [8, 9]. Kilkuletnie prace nad konstrukcją mikroskopu elektronicznego wykształciły zespół specjalistów z zakresu optyki elektronicznej i kon-

strukcji urządzeń elektronowiązkowych. Umożliwiło to podjęcie szeregu dalszych prac zmierzających do wykorzystania wiązki elektronowej jako źródła ciepła w procesach technologicznych [10]. W efekcie opracowano między innymi urządzenie do strefowej rafinacji materiałów [11]. Jedno z takich urządzeń (rys. 7) wdrożono w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej gdzie służyło głównie do produkcji bardzo czystego tantalu, który następnie był używany w zakładach lamp elektronowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że materiałem wsadowy były tu wytopy uzyskiwane w innym krajowym urządzeniu wykorzystującym wysokoenergetyczną wiązkę elektronów a mianowicie w piecu elektronowym o mocy 10 kW (rys. 8).



Rys. 7. Urządzenie typu EUTS-6/15 do topienia strefowego metali wiązką elektronową. (Opracowano w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej)



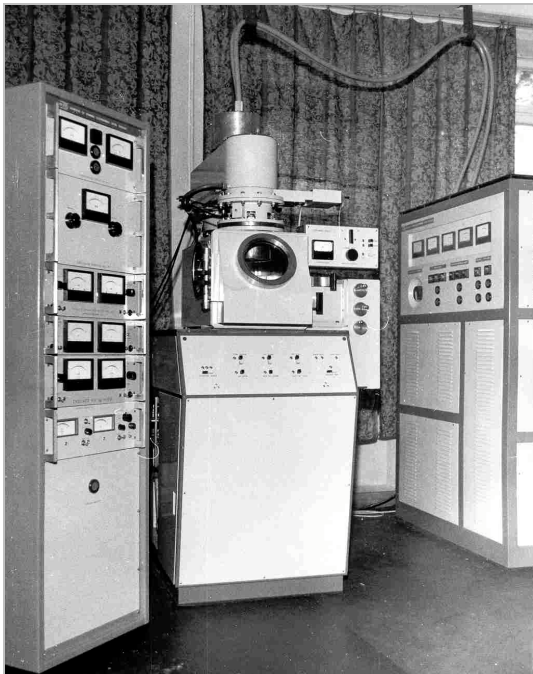
Rys. 8. Piec elektronowy do topienia metali 10 kW/25 kV. (Opracowano w ówczesnym Oddziale Wrocławskim Przemysłowego Instytutu Elektroniki)

Na bazie takich doświadczeń stosunkowo łatwo było sformować zespół, który opracował i uruchomił na początku lat siedemdziesiątych pierwszą w kraju specjalizowaną spawarkę elektronową o mocy 2 kW i napięciu przyspieszającym 25 kV (rys. 9). Spawarka ta i uruchomiana kilka lat później spawarka WS2/30 (rys. 2) były wykorzystywane do świadczenia specjalistycznych usług spawalniczych na rzecz małych jednostek gospodarczych. Przede wszystkim jednak spawarki stanowiły poligon doświadczalny dla prowadzenia podstawowych prac naukowych związanych z wytwarzaniem wiązki elektronowej, oddziaływaniem jej z ciałem stałym a także prac nad technologią spawania wiązką elektronową różnych metali.

W tym czasie pod kierunkiem Andrzeja Hałasa wykonano sześć prac doktorskich związanych z tymi zagadnieniami. W pracach tych analizowano zależność kształtu spoin od parametrów wiązki i środowiska [2, 4], podejmowano problemy ograniczania

defektów w spoinach [13, 16], zajmowano się automatyzacją procesu [7, 17]. Można zatem mówić o szkole związanej z elektronowymi wiązkami termicznymi. I nawet po przejściu do innej dziedziny nauki twórcy tej szkoły, prof. Andrzeja Hałasa jej rozwój był kontynuowany, co zaowocowało między innymi rozprawami habilitacyjnymi Kazimierza Friedla [6] (obecnie profesora zwyczajnego) i Jana Felby [5] (obecnie profesora nadzwyczajnego Politechniki Wrocławskiej).

Również wielu pracowników innych ośrodków naukowych w ścisłej współpracy z Instytutem Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej pogłębiało wiedzę w dziedzinie wiązek elektronowych dużej mocy. Należy tu wymienić chociażby autora niniejszego referatu [18] i jego współpracowniczkę z Przemysłowego Instytutu Elektroniki dr Katarzynę Olszewską [12].



Rys. 9. Pierwsza krajowa spawarka uniwersalna typu EUS-1. (Opracowano w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, 1970)



Rys. 10. Okładka Przeglądu Spawalnictwa z ogólnym widokiem spawarki elektronowej SEW 0,6/25 (Opracowano w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, 1983)

Wyniki tych i wielu innych prac były prezentowane między innymi na licznych krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych, a poziomem swoim nie odbiegały od prac reprezentowanych wówczas przez czołowe ośrodki naukowe w Europie.



Rys. 11. Wysokonapięciowa uniwersalna spawarka elektronowa typu SE10/60
(Opracowano w Instytucie Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej)



Rys. 12. Specjalizowana spawarka
wysokonapięciowa typu SE10/60
do spawania elementów noży tokarskich
(Opracowano w Instytucie Technologii
Elektronowej Politechniki Wrocławskiej)

Do bezspornych sukcesów zespołu pracowników Instytutu Technologii Elektronowej należy zaliczyć to, że prowadzone prace poznawcze znalazły swoje praktyczne przełożenie w postaci wielu konstrukcji urządzeń elektronowiązkowych, wdrożonych do polskiego przemysłu i placówek naukowych. Najbardziej charakterystyczne przykłady takich wdrożeń przytoczono poniżej.

W pełni specjalizowana spawarka elektronowa wykorzystywana przy masowej produkcji rezystorów drutowych została opracowana na początku lat osiemdziesiątych i zainstalowana w Zakładzie Rezystorów UNITRA-TELPOD w Szczucinie (rys. 10).

W połowie lat osiemdziesiątych opracowano spawarki elektronowe serii SE 10/60 należące już do klasy spawarek wysokonapięciowych. Spawarki te dysponowały napięciem przyspieszającym 60 kV a moc wiązki elektronowej osiągała wartość nominalną 10 kW. Parametry te umożliwiają wykonanie w stali kwasoodpornej spoin o głębokości do około 40 mm. W kooperacji z jednostkami przemysłowymi wykonano zarówno spawarki uniwersalne (rys. 11) jak i specjalizowane (rys 12).

4. Stan obecny i perspektywy spawania elektronowego w Polsce

W chwili obecnej rolę konstruktora spawarek elektronowych dla potrzeb krajowych odbiorców (ale nie tylko) przejął Przemysłowy Instytut Elektroniki w Warszawie przy dalszej personalnej współpracy z obecnym Wydziałem Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej. Związki pomiędzy tymi jednostkami datują się od czasu, kiedy nieżyjący już prof. W. Barwicz kierował jednocześnie obydwojema zespołami.



Rys. 13. Ogólny widok spawarki elektronowej 60 kV / 3 kW. Wdrożenie: Zakłady Pratt and Whitney, Ropczyce, 2002 r. (Opracowano w Przemysłowym Instytucie Elektroniki w Warszawie, przy współpracy – w zakresie zasilacza wysokonapięciowego – Wydziału Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej)

To jego zasługa, jak również jego współpracowników, do których należał Andrzej Hałas, że tematyka oddziaływań cieplnych wiązek energetycznych z ciałem stałym doczekała się tak licznych aplikacji. Najnowsza z nich to specjalistyczna spawarka elektronowa 60 kV/3 kW wdrożona w 2002 r. w oddziale zakładów Pratt and Whitney w Ropczycach (rys. 13). Jest ona przeznaczona do spawania elementów drgań skrętnych silników wysokoprężnych produkowanych przez zakłady Volvo.

Należy podkreślić, że spawarka ta jest wyposażona w nowoczesny zasilacz wyrzutni elektronowej całkowicie odporny na zakłócenia takie jak wyładowania jarzeniowe i łukowe w obszarze wyrzutni elektronowej. Jego nowoczesność uzewnętrznia się również niespotykaniem małymi gabarytami i masą. W stosunku do tradycyjnych zasilaczy o tej samej mocy i napięciach przyspieszających jest on kilkanaście razy lżejszy i mniejszy [3]. Stanowi on przedmiot zainteresowań zagranicznych producentów spawarek elektronowych. Nadzór nad jego realizacją, pierwszym uruchomieniem w spawarce zastępczej we Wrocławiu a następnie finalnym uruchomieniu w Ropczycach sprawował Jan Felba – pracownik naukowy Wydziału Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej.

Autor niniejszego opracowania, w związku z jego zaproszeniem w 2004 r. przez Niemieckie Towarzystwo Spawalnicze, do wygłoszenia referatu na konferencji międzynarodowej poświęconej technologii spawania wiązką elektronową [19], dokonał przeglądu spawarek elektronowych aktualnie pracujących w polskim przemyśle i instytutach naukowych. Stwierdził, że z ogólnej ilości około 30 wykonanych urządzeń 15 jest ciągle eksploatowanych i istnieje zainteresowanie wykonaniem kolejnych urządzeń. Zainteresowanie to, w tym okazywane przez najbardziej nowoczesne zakłady przemysłu lotniczego i samochodowego, jest najlepszą rekomendacją idei, która zapoczątkowana została przed laty w Politechnice Wrocławskiej, a w rozwój której znaczący wkład miał Andrzej Hałas. Jak widać z przytoczonych liczb i niesłabnącego zainteresowania, idea ta jest ciągle żywa. Mało tego, dzięki spawaniu elektronowemu wiele polskich zakładów przemysłowych jest zdolnych kooperować ze światowymi firmami gospodarczymi, ponieważ wiązka elektronowa i urządzenia wykorzystujące jej unikatowe właściwości ciągle pozostają synonimem wysokiej techniki.

Spis literatury

- [1] Barwicz W., *Zastosowania wiązek elektronowych w przemyśle i badaniach naukowych*, Wyd. UNITRA-OBREP, 1974.
- [2] Bielawski M., *Oddziaływanie plazmy z wiązką elektronową w procesie spawania*, praca doktorska, Instytut Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1983.
- [3] Dora J., Felba J., Sielanko W., *A new generation of power supplies for electron beam welding machines*, Vacuum, 2005, Vol. 77, No. 4, p. 463–467.
- [4] Felba J., *Wpływ parametrów wiązki elektronowej na kształt spoin otrzymywanych w niskonapięciowych spawarkach elektronowych*, rozprawa doktorska, Instytut Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.

- [5] Felba J., *Wytwarzanie i pomiary wiązki elektronowej o dużej gęstości mocy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996.
- [6] Friedel K., *Oddziaływanie wiązki elektronowej na ciało stałe w warunkach głębokiej penetracji*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1983.
- [7] Kirczuk Cz., *Metoda kontroli ogniskowania wiązki elektronowej w procesie spawania elektronowięzkowego*, rozprawa doktorska, Instytut Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
- [8] Hałas A., *Mikroskop elektronowy ME-50*, Przegląd Elektroniki, 1960, s. 26–28.
- [9] Hałas A., Szymański H., *Mikroskopy elektronowe*, WKiŁ, Warszawa 1965.
- [10] Hałas A., *Zastosowania wiązek elektronowych i jonowych*, Prace OBREP, nr 9, 1976.
- [11] Hałas A. i in., *Zastosowanie wiązki elektronowej do strefowego oczyszczania materiałów trudno-
topliwych*, Prace PIE, 1971, 12, nr 1/2, s. 88–92.
- [12] Olszewska K., *Doświadczalne badanie strumieni cząstek naładowanych, emitowanych z obszaru
oddziaływania wiązki elektronowej z materiałem, w celu oceny możliwości ich wykorzystania do
kontrolowania procesu spawania elektronowego*, rozprawa doktorska, Instytut Techniki Mikrosys-
temów, Wrocław 2000.
- [13] Pabiasz S., *Termiczne oddziaływanie wiązki elektronowej z materiałem w warunkach występowania
wytopów kolcowych*, rozprawa doktorska, Instytut Technologii Elektronowej Politechniki Wrocław-
skiej, Wrocław 1984.
- [14] Pierce J., *Theory and Design of Electron Beams*, D. Van Nostrand Book, Princeton 1954.
- [15] Sayegh G., *Theoretical and Experimental Techniques for Electron Beam Welding Guns*, 3rd Seminar
on EB Processing, Vitry/Seine, France, March 1974.
- [16] Smardz S., *Spawanie quasi-podwójną wiązką elektronową*, rozprawa doktorska, Instytut Techno-
logii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1981.
- [17] Śmiechowicz R., *Metoda ustawiania i obserwacji detali w spawarce elektronowięzkowej*, rozprawa
doktorska, Instytut Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1976.
- [18] Wójcicki S., *Analiza i projektowanie średnioperweancyjnych wyrzutni elektronowych dużej mocy
z zastosowaniem statystycznych metod planowania doświadczeń*, rozprawa doktorska, Instytut Tech-
nologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996.
- [19] Wójcicki S. i in., *Electron Beam Welding in Poland*, 6th International Conference Beam Technology,
Halle 2004, p. 86–94.

PROFESOR WOJCIECH CZARCZYŃSKI

Prof. Wojciech Czarczyński urodził się 17 kwietnia 1933 r. w Poznaniu. W czasie wojny stracił ojca, który był zawodowym oficerem. W roku 1951 zdał egzamin maturalny w liceum ogólnokształcącym w Ostrowie Wlkp. W tym samym roku rozpoczął studia w Szkole Inżynierskiej w Poznaniu na Wydziale Elektrycznym. Studia ukończył na Wydziale Łączności Politechniki Wrocławskiej w r. 1957, uzyskując dyplom magistra inżyniera łączności.

Od roku 1955 został młodszym asystentem w świeżo zorganizowanej przez prof. Wiesława Barwicza – Katedrze Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. Powołanie Katedry Elektroniki związane było z rozwojem we Wrocławiu ośrodka technologii elektronowej. Ośrodek ten z biegiem czasu silnie się rozwinął, obejmując obok części akademickiej także instytut resortowy i część przemysłową.

W roku 1956 podjął dodatkowo pracę w Zakładzie Lamp Mikrofalowych Centralnego Laboratorium Elektroniki, przekształconego następnie w Oddział Wrocławski Przemysłowego Instytutu Elektroniki. W roku 1957 zostaje kierownikiem laboratorium lamp mikrofalowych w tymże Instytucie.

W roku 1959 zrezygnował z pracy na Politechnice Wrocławskiej, poświęcając się aż do roku 1975 całkowicie pracy w Oddziale Wrocławskim Przemysłowego Instytutu Elektroniki. Prof. Wojciech Czarczyński zajmował się konstrukcją i technologią lamp mikrofalowych, początkowo lampami o fali bieżącej o małych szumach, następnie amplitronami, a od roku 1961 lampami o fali bieżącej średniej i dużej mocy. Wraz z zespołem wykonał pierwszy w kraju model amplitronu o dużej mocy. Prace te miały charakter tajny i prof. Wojciech Czarczyński nie mógł publikować wyników bezpośrednio związanych z prowadzonymi pracami. Jest świetnym konstruktorem i technologiemi lamp mikrofalowych. W warunkach prawie całkowitego odcięcia od zewnętrznej informacji naukowo-technicznej, dzięki talentowi i kreatywności prof. Wojciech Czarczyński uzyskał szereg znakomitych konstrukcji. Do takich opracowań należy nowy rodzaj linii opóźniającej do lamp o fali bieżącej mocy. W tym względzie prof. Wojciech Czarczyński uzyskał jako pierwszy patent. Podobne rozwiązania opracowały również ośrodki w USA i Europie (Varian, Thomson, Hughes). Wraz z mgr inż. Tadeuszem Fijewskim opatentował oryginalną metodę chłodzenia lamp o fali bieżącej z periodycznym, magnetycznym układem ogniskującym i metoda ta została zastosowana w produkcji przemysłowej. Opracowane w tym czasie nowe konstrukcje lamp o fali bieżącej zostały wdrożone do produkcji seryjnej.

Prof. Wojciech Czarczyński odbył w latach 1964–1965 roczny staż w Electronics Department Southampton University w Wielkiej Brytanii. Staż ten był związany z uzyskaniem stypendium ONZ. W czasie pobytu w Southampton University podjął badania nad zjawiskami związanymi z ładunkiem przestrzennym, zwłaszcza nad mechanizmami

dynamiki katody pozornej. Badania te kontynuował w kraju. Do najważniejszych wyników badań należy zaliczyć wykrycie nowego mechanizmu drgań katody pozornej oraz analizę związku histerezy katody pozornej z koncentracją jonów.

W r. 1966 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej na podstawie rozprawy „Zjawiska związane z ładunkiem przestrzennym w wiązkach elektronów”.

Wielkie doświadczenie i zdobyta wiedza pozwoliły prof. Wojciechowi Czarczyńskiemu na opracowanie znakomitej, oryginalnej książki o charakterze podręcznikowo-monograficznym „Lampy mikrofalowe” wydanej przez WKiŁ w roku 1971.

Towarzyszący osiągnięciem praktycznym, konsekwentny rozwój naukowy pozwolił prof. Wojciechowi Czarczyńskiemu na uzyskanie w roku 1973 stanowiska docenta w OW PIE.

W roku 1975 prof. Wojciech Czarczyński został przeniesiony służbowo do Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, a w roku 1978, w związku ze zmianami organizacyjnymi, do Instytutu Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej. W tymże roku objął kierownictwo zespołu pracującego nad technikami wytwarzania struktur submikrometrowych, zwłaszcza nad elektrono- i rentgenolitografią oraz nad procesami trawienia jonowego i plazmowego. Efektem tych ostatnich badań było opracowanie własnej konstrukcji urządzenia planarnego do trawienia jonowego i plazmowego, a także modyfikacja wielu importowanych urządzeń do trawienia plazmowego wykorzystywanych w przemyśle oraz 3 obronione prace doktorskie, których był promotorem. Jeden z wychowanków prof. Wojciecha Czarczyńskiego uzyskał stopień doktora habilitowanego i zajmuje obecnie poważne stanowisko w Uniwersytecie w Kassel. Od r. 1983 przedmiotem Jego badań były przede wszystkim zastosowania technik jonowych. W roku 1985 rozpoczął badania nad ciekłometalicznymi źródłami jonów. Badał emisję mikrokropel oraz wpływ elektronów wtórnych na emitery ciekłometaliczne. Brał udział w opracowaniu metody obserwacji emiterów ciekłometalicznych w promieniach Roentgena. W roku 1985 wygłosił na Uniwersytecie w Dreźnie serię 8 wykładów nt. „Interaction of ions with solids”.

W roku 1987 prof. Wojciech Czarczyński został wybrany dyrektorem Instytutu Technologii Elektronowej na 3-letnią kadencję, przypadającą na najtrudniejszy okres transformacji społeczno-gospodarczej. W latach 1991–1992 odbył półtoraroczny staż na Uniwersytecie w Kassel, Niemcy częściowo w ramach WE-Heraeus-Stiftung. W roku 1993 podjął równoległe prace nad polowymi emiterami elektronów. W szczególności zajmował się możliwościami zastosowania emiterów polowych w przyrządach mikrofalowych. Badał modele zachowania się jonów w układach wyrzutni elektronów z katodami polowymi, zajmował się szukaniem nowych materiałów na emitery polowe oraz badaniem właściwości emisyjnych matryc emiterów.

W roku 1995 uzyskuje stopień doktora habilitowanego na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej na podstawie rozprawy habilitacyjnej nt. „Ciekłometalicz-

ne źródła jonów”. W tymże roku zostaje powołany na stanowisko profesora nadzwyczajnego na Politechnice Wrocławskiej.

W roku 2001 prof. Wojciech Czarczyński uzyskuje tytuł naukowy profesora. Ostatnio związany jest z Katedrą Inżynierii Powierzchni Wydziału Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej.

Prof. Wojciech Czarczyński jest autorem bądź współautorem 64 publikacji i 36 prac niepublikowanych. Wśród publikacji jest 16 artykułów zagranicznych w obiegu światowym (Int. J. Electronics, Electron. Lett., J. Vac. Sci. Technol., Vacuum, J. Phys. D); 2 monografie i 2 podręczniki. Jest autorem lub współautorem 6 patentów i 1 wzoru użytkowego. Do najnowszych ważnych pozycji należy wydana w roku 2000 monografia pt. „Mikroelektronika próżniowa”, stanowiąca próbę syntezy tej nowej dziedziny elektroniki.

Działalność dydaktyczna prof. Wojciecha Czarczyńskiego obejmuje 2 okresy pracy na uczelni, rozdzielone pracą w resortowej placówce badawczej.

W pierwszym okresie, w latach 1955–1959, brał udział w organizacji dydaktyki w nowopowołanej Katedrze Elektroniki Wydziału Łączności Politechniki Wrocławskiej. W tamtych pionierskich czasach uczestniczył w opracowaniu programów i uruchomieniu laboratorium lamp elektronowych dla całego Wydziału Łączności oraz laboratorium wysokiej próżni i laboratorium technologii elektronowej. Prowadził także wykład z lamp elektronowych dla studentów trzeciego roku Wydziału Łączności.

W okresie pracy w Oddziale Wrocławskim Przemysłowego Instytutu Elektroniki nie utracił kontaktu z dydaktyką na Politechnice Wrocławskiej. W latach 1975–1976 prowadził ćwiczenia z podstaw elektrotechniki na Wydziale Elektrycznym. W latach 1979–1980 był kierownikiem studium podyplomowego „Technika mikrofalowa”. Od roku 1984 wykłada technikę mikrofalową dla różnych specjalności kierunku Elektronika i Telekomunikacja. Wykładał również dla studentów Wydziału Podstawowych Problemów Techniki PWr. oraz prowadził seminarium dyplomowe. Był opiekunem ponad 20 prac dyplomowych oraz promotorem 3 zakończonych przewodów doktorskich.

Duży jest także dorobek prof. Wojciecha Czarczyńskiego w zakresie działalności organizacyjnej. Oprócz wymienionych wcześniej funkcji był członkiem Rady Naukowej Przemysłowego Instytutu Elektroniki, w latach 1984-87 był członkiem z wyboru Senatu PWr., w latach 1988–1990 był członkiem Sekcji Wiązek Elektronowych, Jonowych i Fotonowych – Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN, w latach 1997–1998 brał udział w pracach Sekcji Elektroniki KBN.

Za swe osiągnięcia prof. Wojciech Czarczyński został odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym i Srebrnym Krzyżem Zasługi, Medalem za Zasługi dla Obronności Kraju oraz Złotą Odznaką Politechniki Wrocławskiej. Otrzymał wiele nagród w tym 11 nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej.

Sumując osiągnięcia prof. Wojciecha Czarczyńskiego w zakresie konstrukcji i technologii lamp mikrofalowych, badań naukowych w zakresie mikroelektroniki próżnio-

wej, także osiągnięcia w zakresie dydaktyki, rozwoju kadry naukowej i organizacji można stwierdzić, że Jego działalność obejmująca okres półwiecza, stanowi jeden z najważniejszych filarów wrocławskiego ośrodka technologii elektronicznej. Ośrodek ten zainicjowany przez Prof. Wiesława Barwicza imponująco się rozwinął i zajmuje ważną, specjalną pozycję w kraju.

Prof. Wojciech Czarczyński ma wiele dodatkowych zainteresowań. Będąc kapitanem żeglugi jachtowej odbywa szereg ciekawych rejsów.

Dokonane dotąd wyliczenie osiągnięć prof. Wojciecha Czarczyńskiego w wielu dziedzinach nie charakteryzuje w pełni Jego sylwetki, bardzo barwnej sylwetki. Profesor Wojciech Czarczyński jest osobą niekonwencjonalną, niepokorną, chodzącą własnymi drogami. Te cechy charakteru czasami komplikowały Mu życie, ale też umożliwiały Mu wykroczenie poza stereotypy i prawdziwie twórczy wkład w dziedziny, którymi się zajmował.

Opracował: prof. dr hab. inż. Andrzej Mulak

PROFESOR ANDRZEJ HAŁAS

Prof. dr inż. Andrzej Hałas urodził się 18 października 1934 r. w Poznaniu, gdzie mieszkał do 1954 r. z przerwą w okresie wojny, kiedy to stał się wraz z rodziną ofiarą hitlerowskiej akcji wysiedleń i trafił do Warszawy. W Warszawie zaczął naukę szkolną na tajnych kompletach i tu też w 1944 r. stracił ojca. Szkoła podstawowa, średnia oraz 5 semestrów studiów wyższych odbytych w Poznaniu wraz z wpływem inteligentnego środowiska domowego ukształtowały jego osobowość jako doskonały przykład zgodności ze stereotypem „poznaniaka” – w najlepszym znaczeniu tego określenia i widoczne to było w całej jego 50-letniej karierze zawodowej.

Po przeniesieniu z Wydziału Elektrycznego Szkoły Inżynierskiej w Poznaniu na Wydział Łączności Politechniki Wrocławskiej związał się na stałe z Wrocławiem. Studia ukończył w 1957 specjalizując się w zakresie technologii lamp elektronowych, ale już wcześniej w 1955 r. został zastępcą asystenta w Katedrze Elektroniki. Ta powstała w 1954 r. Katedra była wówczas w stadium organizacji, pracowało w niej łącznie 5 osób, w tym obaj jubilaci, pod kierunkiem prof. Wiesława Barwicza dojeżdżającego z Warszawy. W tych czasach uruchamianie laboratoriów dydaktycznych i badawczych polegało na często własnoręcznym tworzeniu stanowisk technologicznych i pomiarowych gdyż praktycznie nie było możliwości zakupu gotowych urządzeń. Była to więc dla ówczesnego studenta ostatnich lat, a następnie młodego magistra inżyniera, szkoła życia w zakresie umiejętności organizatorskich i twórczych prac technicznych o nie-małej składowej prac manualnych.

Zaczęta w tym okresie kariera dydaktyczna młodego nauczyciela akademickiego postępowała bardzo szybko – już w końcowym okresie studiów uczestniczył w tworzeniu trzech laboratoriów dydaktycznych, w tym laboratorium technologii wysokiej próżni, a w 1958 r. objął wykład z technologii wysokiej próżni, który w różnych wariantach prowadzi do dzisiaj. Jako student o dwa lata młodszy od Andrzeja Hałasa byłem jego słuchaczem i odbywałem ćwiczenia w stworzonym przez niego laboratorium. Tematyka próżniowa stała się jednym z „motywów przewodnich” działalności prof. Andrzeja Hałasa w całej jego karierze zawodowej, a jego dokonania w tym zakresie przedstawione są w referacie dr hab. Piotra Szwemina w ramach naszej sesji historycznej.

W swej dalszej działalności dydaktycznej jubilat prowadził wszystkie formy zajęć – ćwiczenia laboratoryjne i audytoryjne oraz wykłady z zakresu technologii projektowania lamp elektronowych, elementów elektronicznych i podstaw elektroniki próżniowej. W ostatnich latach prowadzi także seminarium dyplomowe dla studentów specjalności „Mikrosystemy” oraz organizuje unikatowe laboratorium otwarte, którego celem jest wyrabianie samodzielności studentów w zakresie projektowania i wykonywania zadań laboratoryjnych.

W realizacji zadań dydaktycznych przez prof. Andrzeja Hałasa zawsze znajdowały wyraz jego życiowe zasady „wymagać jak najwięcej od siebie i od innych”. Jego wykłady zawsze były i są starannie przygotowane merytorycznie i metodologicznie, systematycznie ulepszone i unowocześniane, a jego wymagania wobec studentów były znane jako szczególnie surowe. Egzaminy i kolokwia prowadził z kamienną twarzą, nie kokietował studentów ustępliwością czy łagodnością ocen, a mimo to w znanych mi rankingach kadry dydaktycznej instytutu studenci przyznawali mu pierwsze miejsce lub jedną z najwyższych lokat. Nas, jego kolegów taka postawa studentów zadziwiała, a przy tym wydawało to dobre świadectwo naszej braci studenckiej. Istotnym elementem dydaktycznej działalności prof. Andrzeja Hałasa było wypromowanie przez niego ok. 50 dyplomantów.

Dorobek w zakresie kształcenia kadry naukowej to wypromowanie ośmiu doktorów. Dwóch z nich jest już profesorami na Politechnice Wrocławskiej.

Wiedza i talent dydaktyczny naszego jubilata były także uznane poza Politechniką Wrocławską. Przez szereg lat prowadził na Politechnice Warszawskiej monograficzny wykład poświęcony zastosowaniom wiązki elektronowej do obróbki i analizy powierzchni ciała stałego. Prowadził także wykład z techniki próżni w ówczesnej Wyższej Szkole Inżynierskiej w Koszalinie. Od 1979 r. uczestniczył w działalności organizatorskiej w zakresie dydaktyki na szczeblu ogólnokrajowym – powołano go na członka Zespołu Dydaktyczno-Wychowawczego Elektroniki przy Ministerstwie Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki, przekształconego następnie w Zespół Ekspertów ds. Elektroniki i Telekomunikacji przy Ministerstwie Edukacji Narodowej. W latach 1989–1990 zlecono mu kierowanie pracą tego Zespołu. W 1994 r. prof. Andrzej Hałas wybrany został do Rady Głównej Szkolnictwa Wyższego i pozostawał w tej Radzie przez trzy kadencje do 2002 r. Pełniąc obowiązki przewodniczącego Komisji ds. Rozwoju i Organizacji wykazał się wielkim zaangażowaniem i kompetencją, stał się autorytetem w zakresie opiniowania działalności dydaktycznej uczelni. W uznaniu jego zasług i pozycji został wybrany w trzeciej kadencji wiceprzewodniczącym Rady Głównej.

W działalności badawczej i technicznej Andrzeja Hałasa, której wyniki przedstawił w 66 publikacjach i 44 pracach niepublikowanych, wyróżnić można kilka głównych wątków. Obok wspomnianej już **techniki próżni** od pierwszych lat jego pracy w Katedrze Elektroniki obiektem zainteresowania Jubilata były **lampy elektronowe**. Opracował bądź uczestniczył w zespołach opracowujących: fotokomórkę próżniową i gazowaną, dwa typy lampy zliczającej impulsy (dekatronu), klistron oraz jarzeniową lampę cyfrową, wdrożoną następnie do wieloletniej produkcji, także eksportowej, we wrocławskich Zakładach DOLAM. Celem pracy doktorskiej wykonywanej przez Jubilata w „tandemie” z Andrzejem Mulakiem i obronionej w 1965 r. było opracowanie koncepcji i doprowadzenie do powstania prototypu oryginalnej lampy oscyloskopowej pracującej do częstotliwości 1 GHz, a więc w zakresie mikrofalowym.

Kolejnym ważnym kierunkiem działalności badawczej i technicznej prof. Andrzeja Hałasa były **zastosowania wiązki elektronowej**. Z tą tematyką zetknął się już w swej pracy dyplomowej, która poświęcona była opracowaniu wyrzutni elektronowej do transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Mikroskop ten stał się pierwszym poważnym zadaniem realizowanym przez Jubilata najpierw w Oddziale Wrocławskim Przemysłowego Instytutu Elektroniki, gdzie był równolegle zatrudniony, a następnie w Katedrze Elektroniki Politechniki Wrocławskiej.

Twórcza działalność Jubilata w zakresie wytwarzania, formowania i prowadzenia wiązki elektronowej, budowy systemu elektronooptycznego mikroskopu prowadzona wspólnie z Henrykiem Szymańskim doprowadziła do kilku bardzo ważkich rezultatów.

Po pierwsze powstał prototyp mikroskopu ME-50, demonstrowany na Targach Poznańskich w 1959 r. gdzie wzbudził duże zainteresowanie, a jego ulepszona wersja ME-60 o parametrach kwalifikujących ją do średniej klasy światowej mimo napływających zamówień nie została wdrożona do produkcji, co w ówczesnym systemie ekonomicznym było prawie regułą dotyczącą wówczas i w kolejnych latach także wielu innych prototypów aparatury elektronicznej doprowadzanej do poziomu wdrożenia, a nawet formalnie wdrażanej, lecz bez rezultatów produkcyjnych.

Doświadczenia naukowe i techniczne zdobyte przy pracach nad mikroskopami transmisyjnymi doprowadziły do powstania wrocławskiej szkoły naukowej optyki elektronowej przez wiele lat rozwijanej pod kierunkiem prof. Henryka Szymańskiego, do podjęcia tematyki badawczej i technicznej dotyczącej mikroskopii skaningowej, uprawianej do dziś na Wydziale Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej i wreszcie do podjęcia prac inicjowanych przez prof. Wiesława Barwicza i prof. Andrzeja Hałasa, a kierowanych przez szereg lat przez prof. Andrzeja Hałasa dotyczących termicznych oddziaływań wiązki elektronowej z ciałem stałym. Ta obszerna dziedzina prac prof. Andrzeja Hałasa w zakresie zastosowań wiązki elektronowej jest w ramach niniejszego seminarium przedstawiana w referacie dra inż. Stefana Wójcickiego.

Trzecim rezultatem prac nad mikroskopem transmisyjnym było powstanie w 1965 r. książki „Mikroskopy elektronowe”, napisanej przez Andrzeja Hałasa i Henryka Szymańskiego, która do dziś jest jedyną pozycją na ten temat w języku polskim i ciągle jeszcze jest użyteczna dla użytkowników mikroskopów.

Wpływ prof. Andrzeja Hałasa w całej Jego karierze zawodowej na stan polskiego środowiska elektroniki próżniowej wyrażał się autorstwem wysoko ocenianych książek o charakterze podręcznikowym, tj., obok wyżej wymienionej pozycji, dwóch bardzo różniących się wariantów „Technologii wysokiej próżni”, a także przygotowywanych na zaproszenie organizatorów konferencji naukowych licznych referatów, w których imponował erudycją i dojrzałością spojrzenia na omawiane zagadnienia oraz umiejętnością formułowania tekstów.

Nie mniejsze znaczenie od omówionej wyżej działalności badawczej i dydaktycznej Jubilata ma jego intensywna i owocna działalność organizatorska prowadzona od

początku kariery zawodowej. To Andrzej Hałas, dzięki swej aktywności i pracowitości i chyba także dzięki wspomianej na początku „poznańskiej” postawie życiowej, solidności i wytrwałości, stał się prawą ręką prof. Wiesława Barwicza w Katedrze Elektroniki już w latach pięćdziesiątych, kiedy to miałem okazję jego działalność obserwować. Mimo stosunkowo rzadkich wizyt Profesora we Wrocławiu nasza niewielka grupa pracowała w sposób zdyscyplinowany, aktywnie i bezinteresownie i wpływ na to Andrzeja Hałasa jest z perspektywy czasu nie do przecenienia. Nawet to co nas wtedy czasami denerwowało, a miało na celu kształtowanie dyscypliny pracy, wywarło pozytywny wpływ na działalność całego zespołu i doprowadziło do wytworzenia nawyków, które przetrwały do dziś, które przejęli nasi młodzi współpracownicy i które pozwalają mieć nadzieję na dalszy rozwój i sukcesy Wydziału.

Gdy w 1968 r. nastąpiły zmiany organizacyjne na Uczelni, dr inż. Andrzej Hałas powołany został na stanowisko docenta i w latach 1968–1977 pełnił obowiązki zastępcy dyrektora ds. badań naukowych i współpracy z przemysłem w Instytucie Technologii Elektronowej. Jednocześnie pełnił funkcje kierownika Zakładu Doświadczalnego (1968–1974), kierownika Zakładu Technologii Wysokiej Próżni (1968–1972), oraz kierownika Zakładu Zastosowań Wiązek Elektronowych i Jonowych (1972–1976) w tym Instytucie. W końcu 1977 r. został mianowany dyrektorem Instytutu Technologii Elektronowej, a w 1980 r. dyrektorem Centrum Uczelniano-Przemysłowego Technologii Elektronowej przy Politechnice Wrocławskiej. Powołanie tego Centrum, jednego z kilku w kraju, było rezultatem i ukoronowaniem intensywnego rozwoju Instytutu, który po połączeniu z Oddziałem Wrocławskim Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Elektroniki Próżniowej i pod kierownictwem prof. Andrzeja Hałasa stał się największym instytutem Politechniki Wrocławskiej i chyba także największym instytutem szkół wyższych. Instytut, prowadzący wówczas w ramach Politechniki wydzieloną gospodarkę finansową i zatrudniający ok. 300 pracowników, z czego tylko czwarta część płatna była z dotacji ministerialnej, pełnił rolę dużej jednostki naukowo-badawczego zaplecza przemysłu, a także uprawiał małoseryjną działalność produkcyjną. Gdy przejmowałem w 1981 r. funkcję dyrektora Instytut był w bardzo dobrej kondycji ekonomicznej i kadrowej i nikt w Instytucie nie zapomniał nigdy o ogromnym wpływie i osobistym wkładzie prof. Andrzeja Hałasa w dzieło doprowadzenia Instytutu do takiego stanu.

Pełniąc funkcję dyrektora Instytutu Jubilat podejmował także inicjatywy ważne dla całego środowiska technologii elektronowej w kraju. W 1978 r. zaproponował by lokalne konferencje naukowe organizowane przez Instytut przekształcić w cykliczną krajową konferencję poświęconą problematyce technologii elektronowej, rotacyjnie organizowaną przez główne ośrodki naukowe działające w tej dziedzinie. Inicjatywę tę poparło grono profesorów Politechniki Warszawskiej, a w szczególności prof. Bohdan Paszkowski i prof. Wiesław Woliński. W 1980 r. odbyła się pierwsza konferencja ELTE-80 organizowana przez Politechnikę Wrocławską w Karpaczu. Do dziś w cyklu 3–4-letnim odbyło się osiem konferencji organizowanych przez Politechnikę Wro-

ciałowską (3), Politechnikę Warszawską (3), Uniwersytet im. Adama Mickiewicza i Akademię Górniczo-Hutniczą. Konferencje te niezmiennie pełnią funkcję integracyjną w środowisku technologii elektronicznej.

W 1982 r. prof. Andrzej Hałas został powołany przez rektora Wacława Kasprzaka na stanowisko prorektora Politechniki Wrocławskiej. W wyborach 1984 r. rektor Jan Kmita zaproponował jego kandydaturę na prorektora. Po wybraniu przez Kolegium Elektorów, prof. Andrzej Hałas pełnił do 1987 r. funkcję I zastępcy Rektora i podlegały mu sprawy ogólne. W czasie tej kadencji doprowadził do uporządkowania i zreformowania struktury administracji centralnej Uczelni.

Tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego nadała mu Rada Państwa w 1983 r., a w 1996 r. minister powołał go na stanowisko profesora zwyczajnego. Od początku 2002 r., tj. od czasu przekształcenia Instytutu w Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki prof. Andrzej Hałas pełni funkcję kierownika Katedry Mikroelektroniki i Mikrosystemów.

Przedstawione wyżej ważkie i liczne zasługi prof. Andrzeja Hałasa dla macierzystej uczelni należy uzupełnić o zasługi dla innych krajowych ośrodków i instytucji naukowych. Szczególnie silne związki łączyły go z jednostką zaplecza przemysłu elektronicznego, jakim był Przemysłowy Instytut Elektroniki, przekształcony w Ośrodek Badawczo-Rozwojowy, a następnie w Instytut Technologii Próżniowej i który po tych kilku zmianach nazwy znów jest częścią Przemysłowego Instytutu Elektroniki (powrócił do nazwy pierwotnej). Przedstawiciele tej instytucji uprzejmi byli przygotowani do dwóch referatów opisujących wybrane wątki historii elektroniki próżniowej w kraju. W tej instytucji prof. Andrzej Hałas był zatrudniony w pierwszych latach swej kariery zawodowej, następnie w latach 1972–1999 był członkiem jej Rady Naukowej, a przez dwie ostatnie kadencje pełnił obowiązki przewodniczącego tej Rady. W latach 1992–1998 był ponownie zatrudniony w tej instytucji na połowie etatu. Ponadto w latach 1978–1981 prof. Andrzej Hałas pełnił obowiązki zastępcy dyrektora ds. naukowych w Centrum Naukowo-Produkcyjnym Podzespołów i Urządzeń Elektronicznych „Unitra-Dolam” we Wrocławiu i ta cząstkowa „fuzja personalna” cementowała związki uczelnianego Instytutu Technologii Elektronicznej z przemysłem.

Specyficzną cechą osobowości i stylu pracy prof. Andrzeja Hałasa było to, że jego okresowe dodatkowe zatrudnienie poza Uczelnią czy pełnienie przez Niego licznych funkcji w organizacjach i instytucjach naukowych nie miało zauważalnego wpływu na Jego aktywność w podstawowym miejscu pracy, jakim była Politechnika Wrocławska.

Do już wymienionych funkcji należy dodać nieprzerwaną działalność od 1978 r. jako członka Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN, przez cztery kadencje przewodniczącego lub wiceprzewodniczącego Sekcji Technologii Elektronicznej i Materiałów Elektronicznych tego Komitetu. W latach 1991–1992 prof. Andrzej Hałas był członkiem sekcji Elektronika przy Komitecie Badań Naukowych. Od wielu lat Jubilat uczestniczy w pracach rad redakcyjnych czasopism krajowych „Elektronika” i „Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji PAN”, a także był członkiem rady

redakcyjnej wydawanego w Rosji i na Białorusi czasopisma „Wakuumnaja Technika i Technologia”. Nie angażując się nigdy w działalność polityczną aktywność społeczną wykazał przewodnicząc w połowie lat osiemdziesiątych Radzie Spółdzielczego Zrzeszenia Budowy Domów Jednorodzinnych „Politechnika”. Jego działalność w stowarzyszeniach naukowo-technicznych przedstawiono szczegółowo w jednym z referatów.

Zasługi prof. Andrzeja Hałasa nie pozostawały niezauważane czy niedoceniane. Był laureatem 3 nagród Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki, 2 nagród Ministra Edukacji Narodowej, 2 nagród Ministra Obrony Narodowej, nagrody kolegium rektorów uczelni Wrocławia i Opola, 20 nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej. Wśród licznych odznaczeń państwowych, resortowych i regionalnych, jakimi został wyróżniony znajdują się Kawalerski i Oficerski Order Odrodzenia Polski, Medal Komisji Edukacji Narodowej, Brązowy i Srebrny Medal za Zasługi dla Obronności Kraju, Medal im. prof. Janusza Groszkowskiego, Złota Odznaka Politechniki Wrocławskiej.

Opracował: prof. dr inż. Jerzy Zdanowski



Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej
są do nabycia w księgarni
„Tech”

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
budynek A-1 PWr., tel. (0-71) 321 32 52
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową

ISBN 83-7085-877-5