

DZIAŁALNOŚĆ SEKTORA PROJEKTÓW NAUKOWYCH I KRIOGENICZNYCH

Sektor Nr1 NIKO LFWE JINR oraz perspektywy wykorzystania technologii nadprzewodnikowych w nauce i gospodarce krajowej

ACTIVITY OF SECTION OF SCIENTIFIC AND CRYOGENIC PROJECTS

Section Nr1 NIKO of Department LFWE JINR and perspectives of use superconducting technologies in science and national industry

Henryk Malinowski

Streszczenie: JINR jest unikalnym ośrodkiem badawczym, gdzie prowadzone są badania podstawowe w dziedzinie cząstek elementarnych, fizyki jądrowej i materii skondensowanej. Akcelerator cząstek NUKLOTRON, który jest obecnie modernizowany w celu umożliwienia badań w zakresie średniej energii (projekt NICA) odgrywa kluczową rolę.

Charakterystyczne w JINR jest to, że większość urządzeń zostało zaprojektowanych i wykonanych na miejscu przez naukowców z Instytutu. Główne elementy Nuklotronu - nadprzewodnikowy system magnetyczny i system chłodzenia, zostały zaprojektowane w sektorze NIKO. To tutaj, zostały przygotowane projekty elektromagnesów nadprzewodnikowych akceleratora i tutaj do chłodzenia elektromagnesów nadprzewodnikowych opracowano skraplarkę helu o wydajności 120l/h. Istotną rolę w realizacji tych zadań odegrał prof. A.G. Zeldowicz (Александр Григорьевич Зельдович), współpracownik prof. Kapicy. Przez wiele lat był kierownikiem NIKO. Jego prace kontynuował prof. J. A. Szyszow, Pod jego kierownictwem zaprojektowano i skonstruowano nadprzewodnikowy system magnetyczny spektrometru SFERA. Od 2006 r. sektor jest prowadzony przez dr inż. Henryka Malinowskiego.

Mimo, że prace wykonane przez naukowców z sektora NIKO skupiają się na aplikacjach w fizyce jądrowej, to doświadczenia przekazane w trakcie budowy jego systemów okazały się cenne, nie tylko w innych dziedzinach nauki (chemia, medycyna), ale także w przemyśle (energetyka, ekologia, górnictwo i inne). Znaczną część tego procesu wdrażania nowych technologii do przemysłu, zrealizowali polscy naukowcy. Poniżej prezentowane są wybrane projekty zrealizowane przez polskich pracowników z LFWE JINR.

Abstract: JINR is a unique research facility where fundamental research in the field of elementary particles, nuclear physics and condensed matter is conducted. Key role is played by particle accelerator NUKLOTRON, which is currently modernized in order to enable measurements in the range of middle energies (project NICA). What is distinctive about JINR is that most of its facilities and instruments have been designed and made on-site by scientists from the Institute.

One of Nuklotron's main components - accelerator's superconducting magnetic system has been designed in NIKO sector. It is here where projects of other superconducting and cryogenic devices have been prepared. NIKO was organized by prof. A.G. Zeldowicz (co-worker of prof. Kapica). Currently the sector is led by dr Henryk Malinowski who has been in charge for 10 years. Although work done by researchers from NIKO sector is focused on applications in nuclear physics, concepts and innovations conveyed in the course of construction of accelerator's systems have proven valuable not only in other branches of science, but also in industry. Significant part of that implementation process has been done by Polish co-workers (scientists/researchers). Below are presented selected projects realized by Polish workers from LFWE JINR.

Słowa kluczowe: Akcelerator Nuklotron-NICA, elektromagnes nadprzewodnikowy

Key words: accenerator, Nuclotron-NICA, superconducting magnets

W Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej w Rosji w Oddziale NIKO LFWE¹, pod kierownictwem prof. Zeldowicza, powstawał projekt nadprzewodnikowego akceleratora cząstek elementarnych Nuklotronu (systemu magnetycznego z elektromagnesami nadprzewodnikowymi) i szereg urządzeń (np. SFERA², Gantri³), w którym wykorzystywano technologię nadprzewodnikową. Wszystkie podzespoły

¹ NIKO LFWE – Научно-исследовательский криогенный отдел Veksler and Baldin LABORATORY OF HIGH ENERGY PHYSICS

² SFERA – spektrometr z nadprzewodnikowym systemem magnetycznym dla NUKLOTRONU

³ Gantri – system do terapii nowotworowej, protonowy lub jonowy, z ruchomym (obrotowym) ramieniem z głowicą do naświetlania. Pacjent w trakcie naświetlania pozostaje nieruchomy

tego projektu projektowano, badano i wykonywano w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ). Do realizacji projektu utworzona została grupa specjalistów – kriogeniców, mająca duże doświadczenie w aplikacji technologii nadprzewodnikowej. Po zamknięciu budowy NUKLOTRONU, większa część tych osób przeszła do innych ośrodków i miała znaczący udział w realizacji takich projektów jak Super-Collider w Dallas; Wielki Zderzacz Hadronów (LHC)⁴ w CERN⁵ w Genewie; akcelerator nadprzewodnikowy w Darmstadt i innych. Obecnie współpraca ta dalej się rozwija. W oparciu o technologię budowy elektromagnesów nadprzewodnikowych opracowaną w ZIBJ, planuje się przebudowę układu wstępnego przyspie-

⁴ LHC – The Large Hadron Collider particle accelerator

⁵ CERN – Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

szania wiązki na zderzaczu LHC w CERNie. W oparciu o tą technologię będzie budowany także collider w Darmstadt.



Fot. 1. Nuklotron pierwszy w świecie nadprzewodzący przyspieszacz cząstek zbudowany w 1993 r. pod kierownictwem A. Baldina będzie jednym z podstawowych urządzeń budowanego Kompleksu NICA (fot. z archiwum ZIBJ, DUBNA)

Photo 1. Nuclotron - first superconducting accelerator, built in 1993 under A. Baldina management. It will be one of the fundamental device of Nica Complex (photo from JINR archive, Dubna)

Zadania realizowane przy współpracy Dubnej z Europejską Organizacją Badań Jądrowych (CERN)

Prace związane z realizacją projektu LHC zainicjowane zostały w 199(7) r. Związane były z konstrukcją spektrometru ALICE i ekranem magnetycznym jonowodu dla tego spektrometru. Odpowiedzialnym za współpracę ze strony ZIBJ w tym temacie, był prof. A. S. Wodopianow. Z przedłożonych w CERNie propozycji wybrano do realizacji projekt ZIBJ nadprzewodnikowego elektromagnesu dla ALICE, który miał być konstruowany w ZIBJ w Dubnej w Rosji. Udział ze strony Polski w tym projekcie miał dr inż. H. Malinowski z Instytutu Elektrotechniki (IEI) w Warszawie, pracujący w Sektorze Nr1 NIKO LWE którego naczelnikiem był J. A. Szyszow.

Współpraca z CERNem dotyczyła:

- projektowania i wykonania prototypu elektromagnesu ALICE⁶,
- zabezpieczenia (dostawę) czujników temperatury kriogenicznej, oraz udział w montażu układu pomiaru i kontroli temperatury przy konstrukcji ATLAS⁷.



Fot. 2. Urządzenie do produkcji nadprzewodnikowego kabla (prąd max 18 kA) przeznaczonego do budowy uzwojeń elektromagnesów NICA

Photo 2. Device for the production of superconducting cable (maximum current 18 kA) designed for the construction of coils of electromagnets NICA

⁶ ALICE – (ang. A Large Ion Collider Experiment) - eksperymentalne stanowisko (jedno z sześciu) umieszczonym w LHC w CERNie

⁷ ATLAS – (ang. A Toroidal LHC Apparatus) - eksperymentalne stanowisko (jedno z sześciu) umieszczonym w LHC w CERNie

Projektowanie i wykonanie prototypu elektromagnesu ALICE

Dla ALICE zaprojektowano elektromagnes nadprzewodnikowy. Strona Polska odpowiadała za projekt i wykonanie układu zasilania i układu zabezpieczenia tego elektromagnesu. Ze względu na koszty budowy (w perspektywie czasu eksploatacji detektora) w ostatniej chwili przed przystąpieniem do realizacji, zmieniono decyzję co do technologii budowy źródła pola magnetycznego. Zamieniono wariant nadprzewodnikowego elektromagnesu na elektromagnes konwencjonalny. Przy czym wykonawstwo pozostawiono do realizacji tej samej grupie, która zajmowała się projektem wariantu nadprzewodnikowego. Strona Polska odpowiadała za izolację uzwojenia elektromagnesu. Rola izolacji w elektromagnesie o wymiarach $\phi=5\text{m}$ i $l=6\text{m}$ jest bardzo duża z uwagi na występujące duże siły elektrodynamiczne i mechaniczne w uzwojeniu elektromagnesu. Przy realizacji tego zadania podjęliśmy współpracę z Zakładami Tworzyw Sztucznych - IZOER-Giem Gliwice – producentem izolacji prepregowej. Tam też została opracowana i wykonana partia nowego prepregu, którą z powodzeniem wykorzystaliśmy do budowy modelu elektromagnesu. W tym czasie, na okres paru lat, autor artykułu został zatrudniony do realizacji tego tematu w Grupie Warszawskiej CERNu pod kierownictwem pana prof. Siemiarczuka. Sprawozdania z postępu prac przedstawiane były na posiedzeniach roboczych w CERNie oraz w ZIBJ w Dubnej. Do pracy w tej grupie zapisano jeszcze trzy osoby z Pracowni Technologii Nadprzewodnikowej IEI. Po pomyślnym badaniu modelu elektromagnesu, ze względu na spodziewane problemy z transportem na odległość kilku tysięcy kilometrów, pracę nad wykonaniem urządzenia w pełnej skali powierzono firmie we Francji. Przewóz transportem drogowym czy morskim elektromagnesu o całkowitym wymiarze 8m x 6m i wadze wielu ton, okazał się zbyt kosztowny i zbyt ryzykowny. Elektromagnes ALICE wykonano według projektu i technologii opracowanej w ZIBJ Dubna.

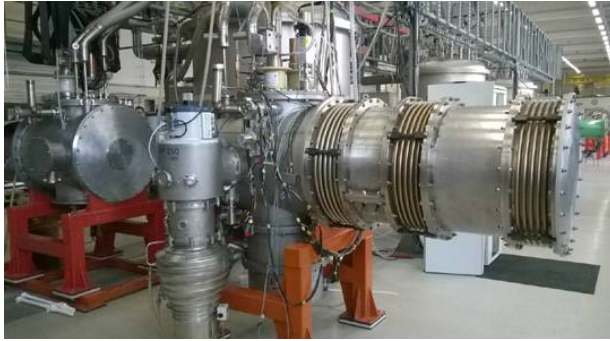
Zabezpieczenia czujników, montażu układu pomiaru i kontroli temperatury przy konstrukcji ATLAS

Prace związane z realizacją projektu ATLAS w CERNie związane były początkowo z dostarczeniem czujników temperatury kriogenicznej. Kalibracją i wykonaniem czujników temperatury zajmował się nasz sektor Nr 1 NIKO. Pracownicy tego sektora brali udział w przygotowaniu czujników, a później ich montażu (czujników z układami izolacji cieplnej) w urządzeniu ATLAS.



Fot. 3. Centrum eksperymentów NUKLOTRONU, miejsce zderzenia wiązki jonowej z wewnętrzną tarczą

Photo 3. Nuclotron - experimental part. Location of internal targets



Fot. 4. Stanowisko do testowania elektromagnesów i kriostatów systemu NICA

Photo 4. Place to test solenoids and cryostats of NICA system

Udział w projektowaniu i konstrukcji elementów systemu NICA

Polska ma istotny wkład w realizację projektu NICA. Dostarcza elementy kriostatu boosteru i collidera (obudowa, zewnętrzna kriostatów; ekrany ciepłe; jonowody i inne).

Prace realizowane są też w kilku innych tematach:

- przepusty prądowe z nadprzewodnika wysokotemperaturowego (HTS) dla multipolowych korektorów w systemie NICA⁸,
- projekt i wykonanie elektromagnesu nadprzewodnikowego, systemu zabezpieczenia i zasilania dla źródła jonów KRION⁹ systemu NICA,
- prace związane z budową spektrometru MPD¹⁰ systemu NICA,
- opracowanie, modelowanie, konstrukcja nadprzewodnikowego systemu dla układu chłodzenia elektronowego z niezamkniętym nadprzewodnikowym ekranem magnetycznym,
- rekonstrukcja (opracowanie nowego układu) urządzenia do kalibrowania czujników temperatury kriogenicznej (1,5-400K),
- udział w pracach związanych z monitoringiem temperatury systemu NICA,
- opracowanie wstępnego projektu systemu SUPER GANTRI¹¹.



Fot. 5. Element kriostatu boosteru z multipolowym elektromagnesem korekcyjnym

Photo 5. Element of booster cryostat with multipoles correction electromagnet

⁸ NICA – Nuclotron-based Ion Collider fAcility

⁹ KRION – źródło jonów z nadprzewodnikowym elektromagnesem o indukcji 6T

¹⁰ MPD – Multi Purpose Detector

¹¹ SUPER GANTRI – system Gantri z nadprzewodnikowym systemem magnetycznym, chłodzonym kontaktowo za pomocą cryocoolerów



Fot. 6. Hala montażu elementów systemu NICA – wspomagająca skraplarka – element usprawniający system chłodzenia nadprzewodnikowych elektromagnesów

Photo 6. Hall for assembly of NICA system elements – ‘satellite refrigerator’ – the element improving cooling system of superconducting electromagnets



Fot. 7. Wstępne łączenie elementów kriostatu systemu NICA w hali montażowej (z archiwum ZIBJ)

Photo 7. Preliminary connecting elements of the cryostat system NICA in the assembly hall

Przepusty prądowe z nadprzewodnika wysokotemperaturowego dla multipolowych korektorów

Wprowadzenie nowych materiałów nadprzewodnikowych przy zastosowaniu przepustów prądowych, może dać znaczne oszczędności w pracy Nuklotronu (później także NICA), poprzez zmniejszenie zużycia ciekłego helu. Przez zamianę w multipolowych korektorach przepustów prądowych miedzianych na przepusty z wysokotemperaturowego nadprzewodnika (High-TC Superconductors, HTS) można osiągnąć istotną redukcję (ok. 20%) zużycia ciekłego helu potrzebnego do chłodzenia całego nuklotronu. Wykorzystana będzie technologia budowy przepustów, opracowana i zastosowana w źródłach jonów DECRISsc¹² 1 i DECRISsc 2. Ukończono prace nad konstrukcją modelu takiego przepustu HTS na prąd I=120A, oraz na prąd 200A dla multipolowych korektorów dla NICA. Planowane było wykonanie tych przepustów (ok. 300 szt.) w Polsce w IEI, ale realizację tego zadania czasowo wstrzymano w połowie 2014 r.

Projekt i wykonanie elektromagnesu nadprzewodnikowego, systemu zabezpieczenia i zasilania dla źródła jonów KRION systemu NICA

Prowadzone są prace nad konstrukcją źródła jonów KRION. Na obecnym etapie zbudowano i przebadano eksperymentalnie model nadprzewodnikowego elektromagnesu

¹² DECRISsc – The Superconducting Magnet System with a Cryocooler for the Ion Source DecrisSc

z polem 8T. Przetestowano układ zabezpieczenia z zimnymi diodami. Przebadano wpływ ekranu nadprzewodnikowego na rozkład pola magnetycznego elektromagnesu nadprzewodnikowego źródła. Budowany jest drugi model elektromagnesu o parametrach elektrycznych bliskich elektromagnesowi docelowemu. Kolejnym etapem będzie budowa układu pomiarowego dla badania jednorodności pola z dokładnością 10^{-4} - 10^{-5} wymaganą przy pracy KRION. Zbudowano elektromagnes nadprzewodnikowy o długości 1200mm i polu $B=6T$. Wykonano prototyp elektromagnesu na 9T. Przeszedł pomyślnie testy: otrzymano pole 8T i przetestowano jego układ zasilania i zabezpieczenia. W 2016 r. planuje się uruchomienie w źródle jonów KRION w którym elektromagnes nadprzewodnikowy chłodzony będzie z pomocą kriokulera.

Prace związane z budową spektrometru MPD systemu NICA

Prace związane z budową spektrometru MPD prowadzone były w ZIBJ przy udziale naszego sektora. Ze względu na obecne techniczne możliwości ZIBJ w zakresie prac związanych z konstrukcją systemu NICA, nadprzewodnikowy elektromagnes wykonywany będzie za granicami Rosji. Prace nad jego konstrukcją miały charakter konsultacji.

Opracowanie, modelowanie, konstrukcja nadprzewodnikowego systemu dla układu chłodzenia elektro-nowego z niezamkniętym nadprzewodnikowym ekranem magnetycznym

W układzie chłodzenia wiązki jonowej – urządzeniu niezbędnemu do pracy NICA, (ale też i Nuklotronu), ważnym elementem jest źródło pola magnetycznego, ogniskujące wiązkę jonową. Źródło takie musi charakteryzować się bardzo dużą jednorodnością pola (10^{-5}). Takie konwencjonalne urządzenia są niezwykle skomplikowane, a przez to drogie. Prowadzone w sektorze badania dają możliwość budowy takiego układu w oparciu o nadprzewodnikową technologię. Planowana jest budowa elektromagnesu nadprzewodnikowego o długości 2,5 m i jednorodności pola 10^{-5} dla układu chłodzenia wiązki Nuklotronu. Wykorzystanie do tego nadprzewodnikowych ekranów magnetycznych jest obiecującym rozwiązaniem. Wstępne badania i eksperymenty potwierdziły takie możliwości. Obecnie prowadzone są prace nad konstrukcją układu magnetycznego z nadprzewodnikowym elektromagnesem i nadprzewodnikowym niezamkniętym ekranem magnetycznym, prototypem dla układu elektronowego chłodzenia wiązki w Nuklotronie o długości $l=1m$. W dalszej perspektywie – dla systemu NICA - konstruowany będzie elektromagnes o wysokiej jednorodności pola długości 6m i polu $B=2T$.

Prace z tym związane w znacznej części prowadzone były dzięki grantowi z Polski.

Rekonstrukcja urządzenia do kalibrowania czujników temperatury kriogenicznej (1,5-400K)

Układ kalibracji czujników temperatury wymaga znacznej modernizacji. Skonstruowany w okresie budowy Nuklotronu (lata 80-te), wykorzystuje mechaniczne podzespoły, które nie spełniają już wszystkich obecnie wymaganych standardów. Projekt przebudowy układu został opracowany przez naukowców z Polski. Prace zostały wykonane, a nowy układ kalibracji po pomyślnym przetestowaniu zostanie wkrótce uruchomiony. Potrzebna jest tylko niewielka adaptacja pomieszczenia w którym będzie pracować.

Udział w pracach związanych z monitoringiem temperatury systemu NICA

Prowadzone są prace dotyczące badań i kalibracji czujników temperatury na zakres 1,5K – 400K. W sektorze produkuje się czujniki temperaturowe węglowe, które były wykorzystane przy budowie Nuklotronu w ZIBJ, Collidera w CERNie, źródłach jonu DECRIS-sc, KRIONu i w szeregu innych urządzeniach, do pracy których niezbędna jest niska (kriogeniczna) temperatura.

Obecnie zapotrzebowanie na tego typu czujniki temperatury jest bardzo duże, ze względu na budowę dla NICA drugiego akceleratora tzw. Boostera i Collidera. Źródłem pola magnetycznego są elektromagnesy nadprzewodnikowe chłodzone do 4,2K. Dla monitoringu pracy tych zespołów niezbędne jest zastosowanie czujników temperatury kriogenicznej.

W oparciu o technologię kalibracji tych czujników, jaka jest w ZIBJ Dubna, budowany jest w FRAKOTERMie¹³ w Toruniu, układ do kalibracji czujników temperatury kriogenicznej. Czujniki będą wykorzystywane też przy budowie NICA Dubna.

Opracowanie wstępnego projektu systemu SUPER GANTRI

Projekt Gantri dotyczy wykorzystania wiązki węglowej Nuklotronu do terapii nowotworowej. Jest to w tej chwili najnowocześniejszy i najskuteczniejszy sposób walki z rakiem. Projekt tego układu opracowany był pod kierownictwem prof. Szyszowa. Prace zostały zamrożone i nie doczekały się badań na modelach. Przewiduje się budowę „medycznej części” przeznaczonej dla Gantri nieco później tj. po zakończeniu budowy systemu NICA. Technologię naszą chcą teraz wykorzystać Słowacy, budując system super-gantri, w którym wykorzystywać będzie się terapię protonową.

W czerwcu br. zakończony został etap wstępnego projektu systemu Gantri z przeznaczeniem dla Słowacji. Projekt przewiduje wykorzystanie opracowanej w naszym sektorze, technologii budowy elektromagnesów nadprzewodnikowych chłodzonych kriokulerami. Uprości to budowę magnetowodu; da znaczne oszczędności i zdecydowanie zredukuje masę całego urządzenia w stosunku do konwencjonalnego rozwiązania (z ciepłymi elektromagnesami).

Współpraca wielostronna (z innymi ośrodkami)

Prace dotyczą:

- a) zastosowania silnego pola magnetycznego w chromatografii planarnej - Zakład Chemii Fizycznej UMCS Lublin,
- b) wykorzystania nadprzewodnikowych elektromagnesów w separatorach do wzbogacania powietrza w tlen dla bloków energetycznych - FRAKOTERM (Świętochłowice, Toruń),
- c) wykorzystania nadprzewodnikowych elektromagnesów w separatorach do oczyszczania węgla z siarki - GIG Katowice; IEL Warszawa, FRAKOTERM Toruń.

Zastosowanie silnego pola magnetycznego w chromatografii planarnej - Zakład Chemii Fizycznej UMCS Lublin

Dzięki badaniom z zakresu chromatografii planarnej prowadzonej w silnym polu magnetycznym pod kierownictwem prof. Ireny Malinowskiej z Instytutu Chemii UMCS w Lublinie, zwiększyły się możliwości badań chromatogra-

¹³ FRAKOTERM – Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe „Frako-Term” Sp. z o.o. powstało w 2004 r. z misją prowadzenia prac badawczych i organizowania procesu wdrażania ich rezultatów do zastosowań przemysłowych

ficznych. Powstał nowy kierunek badań, „magnetochemografia”. Jedynie w takim ośrodku jak ZIBJ można było prowadzić takie badania, do realizacji których potrzebny jest dostęp do układów o dużej indukcji i dużej objętości. Dzięki grantom polskim możliwe jest prowadzenie badań z zakresu magnetochemografii. W oparciu o tę technologię w ICh UMCS budowana jest aparatura dla tego typu badań.

Wykorzystanie nadprzewodnikowych elektromagnesów w separatorach do wzbogacania powietrza w tlen dla bloków energetycznych - FRAKOTERM (Świętochłowice, Toruń)

Technologia nadprzewodnikowa, w rozwoju której uczestniczymy, pozwala na dokonanie znacznego postępu technologicznego również w innych niż fizyka obszarach. Przykładem jest, opracowany przy współpracy z Przedsiębiorstwem Badawczo-Wdrożeniowym FRAKOTERM, układ do wzbogacania powietrza w tlen. Wykorzystuje się tam technologię nadprzewodnikową. Są pierwsze pozytywne rezultaty. Zastosowanie takiego urządzenia w kotłach energetycznych daje możliwość wykorzystania jako paliwa, materiałów o słabych parametrach, które do tej pory uważane były za bezwartościowe (np. ciężkie oleje). Takie urządzenie usprawni proces spalania, obniży koszty eksploatacji kotłów i poprawi „stan ekologii”.

Wykorzystanie nadprzewodnikowych elektromagnesów w separatorach do oczyszczania węgla z siarki - GIG Katowice; IEI Warszawa, FRAKOTERM Toruń

Separatory nadprzewodnikowe wykorzystywane są do oczyszczania węgla z różnych zanieczyszczeń (stanowiących po spaleniu popiół). Najważniejszym jest jednak, możliwość obniżenia w węglu (przed jego spaleniem) zawartości siarki. Siarka w węglu występuje najczęściej (70-80%) w postaci pirytu. Ze względu na niską podatność magnetyczną pirytu, proces jego separacji z węgla, za pomocą „konwencjonalnych” separatorów jest bardzo trudny. Jednak, za pomocą nadprzewodnikowego układu magnetycznego, stanowiącego separator magnetyczny o znacznej indukcji i dużej gradience, można odseparować piryt z węgla. Takie oczyszczanie węgla jest stosowane na skalę przemysłową (na razie w ograniczonym zakresie) w USA. Istnieje wstępne porozumienie między IEI, FRAKOTERMem i Głównym Instytutem Górnictwa (GIG) Katowice o budowie dwóch separatorów nadprzewodnikowych do oczyszczania węgla z siarki. Były już prowadzone rozmowy z Instytutem Górnych Dół w Moskwie, Ukraińską AN, o współpracy Polski, Rosji i Ukrainy w zakresie rozwoju technologii oczyszczania węgla z zastosowaniem nadprzewodnikowej technologii.

Perspektywy wykorzystania technologii i współpracy Polski i ZIBJ

Oczyszczanie kaolinu

Nadprzewodnikowe separatory wykorzystywane są w wielu ośrodkach (Anglia, USA) do oczyszczania kaolinu z tlenków tytanu. W Polsce można wykorzystać tę technologię do produkcji porcelany i elementów porcelanowych dla elektrotechniki. Podobnie i w Rosji można zastosować tę technologię w kilku zakładach. Prof. Wodopianow przeprowadził wstępną rozmowę z dyrektorem zakładu porcelany w Werbilkach. Zadeklarowano współpracę w tej dziedzinie.

Wzbogacanie nowoodkrytych rud tytanu

Wzbogacanie nowoodkrytych rud tytanu za pomocą separatorów nadprzewodnikowych w Polsce, na Śląsku odkryto bogate złoża rudy tytanu. Do jej wzbogacania można wykorzystać technologię jaką stosuje się przy oczyszczaniu kaolinu z TiO_2 .

Oczyszczanie wody przemysłowej

Wody przemysłowe - szczególnie z zakładów metalurgicznych - można oczyszczać za pomocą nadprzewodnikowych separatorów magnetycznych. W ten sposób można byłoby zlikwidować duże odstojniki wody znajdujące się w pobliżu takich zakładów, w których woda jest oczyszczana. Przykłady oczyszczania zanieczyszczonych wód w jeziorach i stawach, pochodzą z Japonii, gdzie pomysłnie przeprowadzono operację oczyszczenia zbiornika wodnego z przemysłowych zanieczyszczeń.

Wzbogacanie rudy żelaza i innych

Wzbogacanie rudy żelaza za pomocą separatorów magnetycznych jest już znane. Za pomocą nadprzewodnikowych separatorów można proces ten znacznie poprawić i zastosować go nawet do rud o niewielkiej podatności magnetycznej (np. hematytu). Jest to najczęściej występująca ruda żelaza. Zastosowanie separatorów nadprzewodnikowych mogłoby podnieść koncentrację żelaza w wydobywanych rudach nawet o 20%.

W podobny sposób wzbogaca się rudy niklu (ilmemit). Zainteresowanie tą technologią jest firma „Norylsk-nikel” - największy producent niklu.

Wykorzystanie separatorów nadprzewodnikowych do pozyskiwania złota

Silne pole magnetyczne można zużytkować do pozyskiwania złota, wykorzystując dużą przewodność elektryczną złota. Dotyczy to naturalnych miejsc występowania (np. obszaru Złotego Stoku), jak również odzysku złota z odpadów przemysłowych (z hałd).

Wykorzystanie separatorów nadprzewodnikowych do pozyskiwania uranu

W RPA przy wydobywaniu niezbyt bogatych rud, tradycyjna droga technologia, wydawała się nieopłacalna. Jednak wzbogacanie rud uranu jest możliwe i finansowo opłacalne, przy zastosowaniu separatorów nadprzewodnikowych. Specyficzne własności rud uranu wymagają użycia separatorów znacznie silniejszych od tych, jakie stosuje się przy wzbogacaniu innych rud materiałów paramagnetycznych. Badania (prowadzone wcześniej przez naukowców z Anglii) nad tą technologią prowadzone były w RPA. Obecnie, powraca się do projektu separacji, które z zastosowaniem wysokogradientowych separatorów nadprzewodnikowych umożliwią eksploatację ubogich rud uranu.

*nacz. sektora dr Henryk Malinowski,
Instytut Elektrotechniki 1,
Warszawa*