

Kryształowy ojciec elektroniki

Albert Einstein powiedział „Naród polski odrodzi się z popiołu jak feniks i zapanuje nad całym światem, gdyż jest narodem geniuszy. Gdybym był Polakiem, prawdopodobnie byłbym jeszcze mądrzejszy”. Miał rację. W Polsce urodziło się wielu inteligentnych i uzdolnionych w licznych dziedzinach ludzi, którzy zmienili świat i poważani są w środowisku naukowym, jednocześnie będąc zapomnianymi w Polsce. Jednym z takich ludzi jest Jan Czochralski – chemik, metalurg, krytalograf. Bez niego dzisiejszy świat prawdopodobnie wyglądałby zupełnie inaczej. Czochralski to ojciec przyszłej elektroniki i technologii przełomu XX i XXI wieku. Okrutna jest rzeczywistość, w której przez zawiść i pomówienia wielcy ludzie zostają zapomniani we własnej ojczyźnie. Pomimo postawy patriotycznej i licznych zasług dla nauki, w szczególności rozwoju elektroniki, Jan Czochralski został zapomniany w Polsce. Wybitny Polak, patriota znany i ceniony na świecie, jeden z najczęściej cytowanych naukowców polskich, zaraz obok Marii Skłodowskiej-Curie i Mikołaja Kopernika, w Polsce znany jest przez nieliczne grono osób. Czochralski był również wsparciem i pomocą podczas II Wojny Światowej dla rodaków.

Można by powiedzieć, że dewizą życiową Czochralskiego było *Bądź wytrwały w tym, co robisz*. Pomimo wielu przeszkód nieustannie, poprzez ciężką pracę, dążył do pozostawienia po sobie jak największej spuścizny naukowej, jednocześnie będąc honorowym obywatelem swojego kraju. Jednak zacznijmy od początku, bo przecież wielkim człowiekiem nikt się nie rodzi.

Biografia

Jan Czochralski urodził się 23 października 1885 roku w Kcyni, w zaborze pruskim niedaleko Bydgoszczy, w szanowanej rodzinie stolarzy. Był ósmym z dziesięciorga rodzeństwa. Już od dziecka widać był jego zamiłowanie do chemii, które swoje owoce dało w późniejszych latach. Jako mały chłopiec przeprowadzał doświadczenia chemiczne w domu, w swoim laboratorium. Nie podobało się to jego ojcu, gdyż eksperymenty były także niebezpieczne! Szkiełka chemiczne i substancje potrzebne do doświadczeń prawdopodobnie nabywał w drogerii Pod Lwem, której właścicielem był Polak, zamiast w aptece Pod Orłem, której właścicielem był Niemiec. Wspieranie Polaków i polskiej gospodarki było zgodne z patriotycznym wychowaniem w domu, jakiemu poddawany był Czochralski. Naukę odbywał w Seminarium Nauczycielskim w Kcyni. Po ukończeniu szkoły nie odebrał swojego świadectwa maturalnego, gdyż jak twierdził, nigdy nie widział tak krzywdzących ocen. Nie doceniono jego ogromnej pasji do chemii. niesprawiedliwy sposób oceniania w polskim szkolnictwie i brak dokumentu utrudnił mu dalszą karierę nauczycielską i naukową, nie pozwolił genialnemu umysłowi na rozwijanie się w pełni.

Ojcu nie podobały się chemiczne zainteresowania syna – postawił mu ultimatum: dom albo chemia. Janek wybrał drugą drogę i dlatego już w wieku 16 lat przeniósł się do Krotoszyna, gdzie pracował w aptece i prowadził tam dalsze doświadczenia. Później wyjechał do Berlina, gdzie rozpoczął pracę w aptece dra Augusta Harolda w Altglienicke (dzisiejsza dzielnica Berlina). Zyskał tam uznanie dla swoich zdolności i zapału w prowadzeniu badań. Na własną rękę analizował rudy, smary, oleje i metale. Dzięki temu zdobył doświadczenie i dużą samodzielność w formułowaniu problemów badawczych. Nawet sprzeciw ojca nie był w stanie

zniechęcić go do rozwijania swojej pasji i podążania w kierunku, który go interesuje. Jest przykładem człowieka o silnym charakterze, który wie co chce osiągnąć w życiu oraz nie zniechęca się trudnościami.

Jako wolny słuchacz uczęszczał na Wydział Chemii na Politechnice w Charlottenburgu. Ku zdziwieniu wszystkich, jako wybitnie uzdolniony student, mimo braku świadectwa maturalnego, w 1910 roku otrzymał tytuł inżyniera chemii. W tym czasie uczęszczał także na wydział artystyczny Uniwersytetu w Berlinie, gdzie poznał swoją przyszłą żonę i 2 października 1910 roku wziął z nią ślub. Margaret Hasse była pianistką i córką miejscowego przedsiębiorcy budowlanego. Mieli troje dzieci. Przez krótki czas pracował w laboratorium firmy Kunheim & Co. Wkrótce zaoferowano mu pracę w laboratorium koncernu Allegemeine Elektrizitaets – Gessellschaft (AEG). Posada ta przygotowała go do objęcia stanowiska kierownika w wielkich laboratoriach badania stali i żelaza. Był wysoce szanowany w Niemczech i na świecie, o czym może świadczyć fakt, że w 1927 roku oprowadzał prezydenta Niemiec Paula von Hindenburga wraz z towarzyszącymi mu osobami po wystawie „Werkstoffschau”.

Czochralski badał właściwości fizyczne metali. Za niezbędne uznał opracowanie sposobu krystalizacji oraz określenie czasu potrzebnego do tego procesu dla konkretnych metali. W 1916 udało mu się tego dokonać. Odkrycie przeszło do historii jako największe i najbardziej znane w jego działalności naukowej. Według anegdoty, Czochralski podczas sporządzania swoich notatek z kolejnego bezowocnego dnia badań, przez swoje roztargnienie i zmęczenie, zamiast do kałamarza z atramentem włożył stalówkę do tygla ze stopioną cyną. Po wyciągnięciu jej zobaczył cienką nić ciągnącą się od stalówki. Zastanowiło go to zjawisko i zaczął je badać, aż opracował metodę otrzymywania monokryształów oraz metodę pomiaru szybkości krystalizacji.

W 1924 roku pracując dla niemieckiego przemysłu opracował stop metalu nazwany metalem B od Bahnmetal (metal kolejowy). Idealnie nadawał się na panewki do produkcji ślizgowych łożysk kolejowych.

Dzięki sukcesom w świecie naukowym, Jan Czochralski zyskiwał rozgłos i uznanie wśród naukowców. Na sprzedaży patentów i wynalazkach zarabiał duże pieniądze. W wieku 32 lat objął stanowisko kierownika w jednym z najlepiej wyposażonych laboratoriów przemysłowych w Niemczech. W tym czasie powstało również wiele z jego cennych prac i patentów. W 1925 roku został przewodniczącym Zarządu Głównego Niemieckiego Towarzystwa Metaloznawczego. Jego osobą zainteresował się Henry Ford – założyciel słynnego koncernu samochodowego. Czochralski wyjechał z 3-tygodniową wizytą do USA, w jej trakcie poznał i zaprzyjaźnił się z Thomasem Edisonem. Ford oprowadził chemika po swojej fabryce oraz zaproponował mu pracę w laboratorium duraluminium. Jednak przez cały czas pracy za granicą Jan Czochralski myślał o powrocie do Polski i odrzucił propozycję.

Pod wpływem prośb prezydenta Polski i chemika Ignacego Mościckiego zdecydował się na powrót do ojczyzny. Widać więc ogromny patriotyzm Czochralskiego, który zamiast pozostać w Detroit, gdzie pracowałby w światowej elicie, wolał wrócić do swojej ojczyzny by tutaj pomagać jej mieszkańcom w odbudowaniu na nowo Polski ze zniszczeń wojennych. Czuł obowiązek wsparcia odradzającego się przemysłu i odradzającej się ojczyzny w tworzeniu nowego środowiska naukowego. Objął stanowisko profesora kontraktowego na Politechnice

Warszawskiej. 17 listopada 1929 roku otrzymał tytuł doktora *honoris causa*, jako ósmy w historii uczelni. Drugi był Ignacy Mościcki, a piąta Maria Skłodowska-Curie. Otrzymanie takiego tytułu i to jako jeden z nielicznych w historii dowodzi, jak duży intelekt posiadał Jan Czochralski. W kolejnym roku z rąk prezydenta otrzymał tytuł profesora zwyczajnego. W tym samym czasie rzekł się obywatelstwa niemieckiego. Nie zostało to jednak oficjalnie zatwierdzone, co sprawiło mu w późniejszym czasie duże kłopoty. W 1932 nabył dworek w Warszawie przy ul. Nabelaka. Stał się on miejscem spotkań osobistości ze sfery politycznej i artystycznej ówczesnej Polski, takich jak Kornel Makuszyński, Leopold Staff, Wacław Berent czy Ludwik Solski. Był człowiekiem towarzyskim, otwartym, o dużej wrażliwości, obeznanym w świecie, sztuce oraz kulturze.

W trakcie swojej pracy na Politechnice Warszawskiej w ramach Wydziału Chemii założył Zakład Metalurgii i Metaloznawstwa. Duża część prac wykonywana była dla wojska, co czyniło ją tajną. Wojsko kupowało aparaturę i odczynniki potrzebne w laboratorium, a także zarządzało nim – było więc wspaniale wyposażone.

Politechnika w porozumieniu z okupantem stworzyła w czasie wojny osiem Zakładów. Czochralski kierował Zakładem Badań materiałów. W Zakładzie prowadził działalność dla Wehrmachtu, chociaż oficjalną współpracę z Niemcami zawiązał w porozumieniu z władzami polskiej konspiracji. Zamówienia od Niemców realizowane były z opóźnieniem, części wykonywane wadliwie lub ze złych materiałów. Wszystko dzięki zaangażowaniu Czochralskiego.

Mimo to jego poświęcenie i patriotyzm nie zostały po wojnie docenione. Z powodu, że Zakład, w którym pracował wykonywał zlecenia dla Niemiec został oskarżony „o współpracę z niemieckimi władzami okupacyjnymi na szkodę osób spośród ludności cywilnej, względnie Państwa Polskiego” i zamknięty w areszcie w Piotrkowie Trybunalskim na trzy miesiące. Na szczęście z uwagi na brak dowodów został wypuszczony, a śledztwo umorzone. Były Konsul Rzeczypospolitej Gustaw Olechowski wstawił się w obronie Czochralskiego, przedstawiając dowody jego patriotyzmu. Prokuratura uniewinniła go, jednak w grudniu 1945 roku władze Polski pozbawiły Jana Czochralskiego tytułu profesora oraz praktycznie całkowicie wykluczyły ze środowiska naukowego. Długo trwały także procesy sądowe, z profesorem Broniewskim, który oskarżył naukowca o zniesławienie. Uważał też, że Czochralski jest wrogiem narodu polskiego. Niestety chemik nie bronił się, ponieważ nie mógł ujawnić swojej współpracy z AK – groziło za nią kilkuletnie więzienie. Na szczęście ostatecznie wygrał sprawę. Jednak to również przyczyniło się do zapomnienia o Polaku na wiele lat, gdyż część środowiska naukowego nigdy mu tej wygranej nie wybaczyła.

Upokorzony naukowiec powrócił do swojego rodzinnego miasta Kcyni. Zniechęcony do prowadzenia dalszych badań, założył małą firmę BION produkującą m.in. pasty do butów, płyny do trwałej ondulacji i sól peklującą. Brutalna rewizja zorganizowana przez Urząd Bezpieczeństwa doprowadziła Czochralskiego do ataku serca, w skutek czego 22 kwietnia 1953 roku zmarł w szpitalu w Poznaniu. Pochowany został w rodzinnej Kcyni. Przykre jest, że powodem jego śmierci byli współpracownicy i współobywatele. Odebrali mu honor, zasługi, tytuły. Pomówienia i zazdrość doprowadziły do zmarnowania twórczego potencjału człowieka cennego dla świata i nauki. Bezpośrednim powodem jego śmierci był zawał serca, ten był

z kolei spowodowany rewizją z urzędu, a to z kolei motywowane nieufnością i podejrzeniami wobec profesora. Tak więc zmarł jako człowiek skompromitowany przez władze oraz środowisko naukowe.

Zasługi

Niezwykły człowiek, ale przede wszystkim naukowiec. Był autorem lub współautorem ponad 120 publikacji, a także wielu wynalazków i patentów związanych z metalurgią. W ogromnym stopniu przyczynił się do rozwoju techniki, wyprzedzając pomysłami swoją epokę. Jednocześnie zrewolucjonizował rzeczywistość, w której żył. W trakcie swojej pracy, jako naukowiec zajmował się konstrukcją urządzeń, adaptacją metod do badania metali, przeprowadzał badania nad krystalizacją metali i ich stopów. Prowadził badania metalograficzne, mikroskopowe i rentgenowskie, wyznaczał wykresy fazowe, a do badania korozji i innych faz wykorzystywał trawienie chemiczne. Jako jeden z pierwszych wykorzystał metody rentgenowskie do badań nad metalami.

Z jego inicjatywy w 1917 roku powstało ogromne, świetnie wyposażone laboratorium metalurgiczne we Frankfurcie nad Menem. Jemu także przyznane zostało kierownictwo nad placówką, gdyż miał duży udział w rozpowszechnianiu idei badań służących potrzebom przemysłu.

W 1924 roku opatentował stop metalu B. Stop jest odporny na korozję. Pozwalał na rozwijanie większych prędkości pojazdów ze względu na wyższy niż cyna punkt topności. Dodatkowo nie wymagał on obróbki mechanicznej przed użyciem do łożysk. Było to korzystne z ekonomicznego punktu widzenia. Ten ołowiuowo-alkaliczny stop okazał się najlepszym stopem nadającym się do produkcji łożysk kolejowych. Opracowanie tego stopu pozwoliło na rozwój kolei niemieckiej, która wykupiła od niego patent. Później zastosowano go w innych państwach (Niemczech, Polsce, Wielkiej Brytanii, Stanach Zjednoczonych i ZSRR). Swoje osiągnięcia opublikował w książce „Lagermetalle und ihre technologische Bewertung” napisanej z G. Welterem.

Czochralski był wybitnym naukowcem, ale też patriotą oddanym swojemu krajowi. Po powrocie do ojczyzny wspierał polską przedsiębiorczość, jak i samych obywateli. Z zarobionych na patentach pieniędzy fundował stypendia dla studentów, wspierał finansowo odbudowę dworku Chopina w Żelazowej Woli, prowadzenie wykopalisk w Biskupinie. Dbał o jak największy rozwój naukowy w Polsce, która w tamtym czasie potrzebowała wielu wykształconych ludzi. Jego inicjatywy dały zatrudnienie ogromnej ilości obywateli, jednocześnie pomagając im przetrwać i uniknąć więzienia. Swoje kontakty wykorzystywał do wyciągania ludzi z więzień oraz ratowania licznych zbiorów muzealnych. Z obozów i pojmań przez Gestapo wydostał wielu Polaków. W trakcie wojny uzyskał od Niemców pozwolenie na wyjazd do Warszawy, skąd wywoził mienie uwięzionych, a z Politechniki Warszawskiej aparaturę, aby chronić ją przed zagarnięciem przez okupanta. W powojennym czasie uważano, że działał na szkodę Polaków, we współpracy z Niemcami.

Ocenianie czyichś działań wyłącznie na podstawie powierzchownej analizy jest niesprawiedliwe. Takie postępowanie nie pozwala na poznanie sytuacji oraz motywacji, którymi kieruje się dana osoba. Czasem działania, które powierzchownie wydają się

niewłaściwe, u źródła są szlachetne. Tak było w tym wypadku – oceniony tylko przez pryzmat swojej rzekomej współpracy z okupantem, profesor został niesprawiedliwie posądzony o sprzeniewierzenie się państwu polskiemu. Ten niezwykle człowiek ryzykował swoim życiem razem z rodziną, aby ratować jak najwięcej istnień. Nie protestował on przeciwko okupantowi otwarcie afirmując swoją polskość. Działając potajemnie i bez rozgłosu walczył z okupantem. Czyni go to honorowym patriotą.

Monokryształy i metoda Czochralskiego

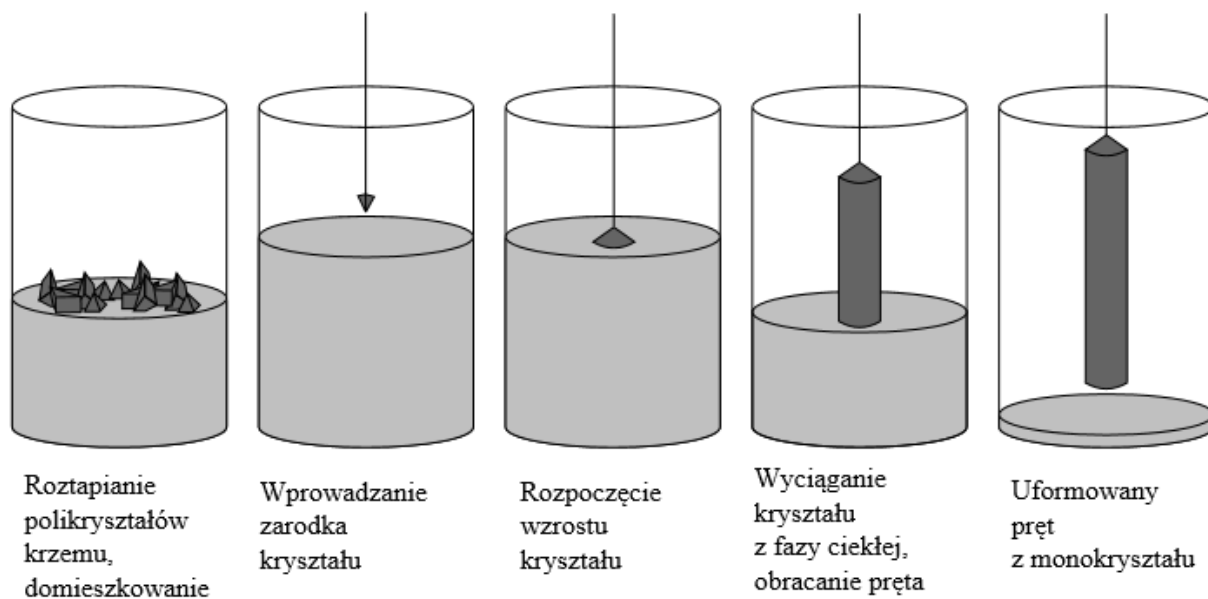
„Życie jest jak jazda na rowerze, aby utrzymać równowagę musisz się poruszać naprzód...”
Albert Einstein. Jan Czochralski położył kamień milowy w rozwoju elektroniki.

Dzisiaj bardziej prawdopodobna od przytoczonej wcześniej anegdoty wydaje się inna teoria. Czochralski większość życia zajmował się badaniem właściwości fizycznych metali. Już wcześniej wykorzystywano metodę wyciągania wazeliny w aptekach – w ten sposób sprawdzano czy wazelina jest naturalna – tą dobrą można było wyciągać „w nitki”. Był to tzw. test trychidowy. Pokazuje to, jak dobrym eksperymentatorem i obserwatorem był Czochralski. W swoich badaniach nad właściwościami metali potrafił wykorzystać swoje wieloletnie doświadczenie aptekarskie. Niestety, naukowiec nie doczekał nowego zastosowania swojego dzieła – wykorzystania monokryształów do produkcji półprzewodników.

Odkrycie i opracowanie przez Czochralskiego metody pomiaru szybkości wytwarzania monokryształów z metali jest osiągnięciem, które zmieniło realia dzisiejszego świata. Gdyby nie on niemożliwe byłoby dzisiaj otrzymywanie kilkudziesięciu ton monokryształów każdego dnia. Jego metoda przyczyniła się do rozwoju fizyki ciała stałego (w tym fizyki metali), technologii ciała stałego (w tym półprzewodników), elektroniki oraz elektroniki kwantowej.

Monokryształ to materiał, który w całości składa się z jednej struktury krystalicznej, z nielicznymi tylko defektami i pęknięciami. Na całej powierzchni zachowuje te same właściwości danego metalu.

Czochralski opracował technikę uzyskiwania monokryształów – poprzez powolne i stopniowe wyciąganie zarodka metalu krystalicznego z tygla, w którym znajduje się stopiona substancja. Jest to metoda zapewniająca kontrolowaną i stabilną krystalizację na jego powierzchni, gdyż kolejne warstwy kryształu narastają na zarodku w ściśle określony sposób. Sam naukowiec nazywał ją „metodą kapilary”, nawiązując do kapilary umieszczonej na końcu haczyka zasysającego stopiony metal. Aby otrzymać cylindryczny monokryształ o orientacji krystalograficznej – określa ona ułożenie sieci monokrystalicznej względem zewnętrznego układu odniesienia – w trakcie produkcji monokryształu zarodek oraz tygiel należy wprawić w ruch obrotowy. Parametry układu zastosowane przy hodowli ograniczają prędkość przesuwu i prędkość obrotową zarodka. Te z kolei decydują o kształcie i wymiarze hodowanego kryształu (średnicy i długości).



Rysunek 1 Proces Czochralskiego (<http://pl.wikipedia.org>)

Po opracowaniu metody, przy jej pomocy prowadził kolejne pionierskie badania na otrzymywanych monokryształach. Między innymi zajmował się anizotropią własności mechanicznych. Polegały one na sprawdzaniu rozszerzalności termicznej, przewodnictwa elektrycznego, współczynnika załamania światła, szybkości wzrostu i rozpuszczania kryształu w zależności od kierunku, pod jakim były rozpatrywane. Zaproponował pierwsze modele anizotropii wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie monokryształów miedzi.

Obecnie wykorzystanie metody Czochralskiego najczęściej odbywa się w piecach indukcyjnych. W zależności od tego, z jakiej substancji monokryształ produkujemy, używa się tygli wykonanych z kwarcu, grafitu, azotku boru lub innych materiałów żaroodpornych, niewchodzących w reakcje z substancją. Cały proces przeprowadzany jest w próżni lub w atmosferze gazu obojętnego w celu uniknięcia utlenienia i utrzymania czystości.

Dokonując swojego odkrycia wyprzedził swoją epokę o kilkadziesiąt lat. W połowie XX wieku naukowcy tacy jak Gordon K. Teal i John B. Little rozwinęli tę technikę, nazwali metodą Czochralskiego i przenieśli ją z metalurgii do fizyki półprzewodników, a później przemysłu elektronicznego. Po skonstruowaniu przez Waltera Brittaina, Johna Bardeena i Williama Shockleya tranzystora, na początku lat 50-tych rozpoczęło się wykorzystanie metody na skalę przemysłową. Obecnie w każdym urządzeniu elektronicznym znajdują się monokryształy krzemu wytworzone przy jej użyciu. Znajdują się one w układach scalonych, diodach i innych elementach półprzewodnikowych.

Rehabilitacja

Na szczęście mimo popadnięcia w zapomnienie na tyle czasu, od kilku lat organizuje się akcje nagłaśniające osiągnięcia Jana Czochralskiego. Odnaleziono dokumenty udowadniające brak jego współpracy z okupantem i pomoc Polskiej Armii Krajowej. Pozwoliło to na przywrócenie mu tytułu profesora oraz zrehabilitowanie jego dobrego imienia. Oficjalną decyzję o powrocie Jana Czochralskiego do środowiska naukowego, jako profesora z uwagi na jego zasługi wydano 29 czerwca 2011 roku, a 27 października 2011 roku wpisano do Panteonu Wynalazców

i Odkrywców Polskich, powstałego, aby przypominać w Polsce i na świecie o wybitnych umysłach polskiego pochodzenia. Przewodniczący Kapituły Panteonu, prof. dr hab. inż. Michał Kleiber – Prezes PAN, dokonał w Pałacu na Wyspie w Łazienkach Królewskich w Warszawie uroczystego wpisu Jana Czochralskiego. Uważam, że był to bardzo ważny krok dla upamiętnienia tak ważnej w historii ludzkości postaci.

Z okazji rocznicy jego śmierci rok 2013 ogłoszono Rokiem Czochralskiego. Organizowano prezentacje, seminaria, wystawy, które wspominały pamięć o nim. Największą akcją w Polsce był flash mob „pokaż kryształ Czochralskiego!”, która odbyła się 23 października 2013 roku w 128 rocznicę jego śmierci. W 2014 roku wydano trzyczęściową publikację, upamiętniającą wszystkie wydarzenia, jakie odbywały się w poprzednim roku. Wydano ją w ilości 300 sztuk, a następnie przekazano instytucjom zaangażowanym w organizację tych wydarzeń.

Młodzi ludzie mogą brać z niego przykład, gdyż był on człowiekiem oświeconym, inteligentnym, lecz przede wszystkim wytrwałym w dążeniu do celu. Mimo wielu przeciwności nieustannie rozwijał się i przyczyniał badaniami do rozwoju nauki. Przez całe życie spotykały go przeciwności losu, on jednak dzięki swojej pasji był w stanie je przewyciężyć.

Na świecie znany i ceniony, w Polsce zapomniany i kojarzony jedynie przez nieliczne grono osób. Tak kreuje się niesprawiedliwa rzeczywistość pamięci o Janie Czochralskim. Mimo akcji organizowanych ku pamięci o nim, ciągle zna go niewiele osób. Na szczęście z roku na rok grono to rośnie. Uważam że to ważne, aby mówić o tym wielkim naukowcu, ale przede wszystkim niezwykłym człowieku. Poza swoimi licznymi zasługami dla nauki jest, także niedocenionym wzorem honorowego patrioty, ciepłego i empatycznego, czytanego oraz ceniącego sztukę i rozmowy na wysokim poziomie człowiekiem. Kryształowy ojciec elektroniki oraz obywatel, z którego każdy Polak powinien być dumny.

Bibliografia

Życie i dzieło prof. Jana Czochralskiego, <http://www.bg.pw.edu.pl>

128 rocznica urodzin prof. Jana Czochralskiego, <http://www.ncbr.gov.pl>

Metoda Czochralskiego, <http://pl.wikipedia.org>

Anna Pajęczkowska, Katarzyna Racka, Rok prof. Jana Czochralskiego – 2013, Polskie Towarzystwo Wzrostu Kryształów, 2013

Paweł E. Tomaszewski, Jan Czochralski – historia człowieka niezwykłego, Polska Akademia Umiejętności, Tom XIII, Prace Komisji Historii Nauki PAU, 2014

Jan Czochralski, Czy stosowanie metalu „B” jest gospodarczo wskazane?, Przegląd Mechaniczny, 1937, t3, ss. 157-159, ss. 531-532

Jan Czochralski, <http://pl.wikipedia.org>

Mirosław Nader, Sylwetka Profesora Czochralskiego – przedwojenna i okupacyjna działalność, losy powojenne, Politechnika Warszawska, http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/3576/Czochralski_sylwetka.pdf

Jan Czochralski w Berlinie, <https://www.janczochralski.com/biografia-wstep/in-berlin/>

Jan Czochralski - uczonego, którego technologia zmieniła świat, <http://naukawpolsce.pap.pl>

J. Żmija, Jan Czochralski - jego wkład do nauki, Wojskowa Akademia Techniczna, 2013