

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Huberta Głowińskiego pt.:

**„Dynamika namagnesowania warstwowych struktur
magnetycznych i nanostruktur”**

wykonanej w Instytucie Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu.

W przedstawionej do recenzji rozprawie, mgr inż. Hubert Głowiński opisał badania właściwości magnetycznych różnorodnych struktur cienkowarstwowych oraz taśm amorficznych wykonane za pomocą spektroskopii rezonansu ferromagnetycznego (FMR), szerokopasmowej spektroskopii rezonansu ferromagnetycznego z wykorzystaniem wektorowego analizatora obwodów (VNA-FMR), magnetometrii wibracyjnej (VSM), kerrowskiej magnetometrii magnetooptycznej (MOKE) i pomiarów magnetooporowych (GMR). Struktury cienkowarstwowe Autor osadzał jedną warstwą po drugiej metodą magnetronowego rozpylania jonowego. Składały się one z wielu warstw, zawierających różne materiały, o grubościach od ułamka nanometra do kilkudziesięciu nanometrów. Skład materiałowy i grubości poszczególnych warstw Autor dobierał w ten sposób, że całość tworzyła łącznie albo podwójny zawór spinowy (o strukturze prostej lub inwersyjnej), albo układ charakteryzujący się anizotropią jednozwrotową, albo anizotropią powierzchniową. Autor przygotował trzy różne układy z anizotropią jednozwrotową i dwa – z anizotropią powierzchniową. Strukturalne i morfologiczne właściwości próbek badał z wykorzystaniem reflektometrii rentgenowskiej (XRR) i dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), wyznaczając takie parametry jak: tekstura, szorstkość, stała sieci czy wielkość ziaren. Taśmy amorficzne miały grubość rzędu kilkunastu mikrometrów i były wytwarzane oczywiście inną techniką, o czym Autor nie wspomina, ograniczając się jedynie do podania nazwy producenta i komercyjnego oznaczenia badanych taśm. W przypadku każdego z wymienionych powyżej materiałów, Autor dokonywał pomiarów głównie za pomocą technik spektroskopii rezonansu ferromagnetycznego, od czasu do czasu włączając także i inne techniki. Następnie, na tej podstawie, wyznaczał parametry magnetyczne takie jak: namagnesowanie efektywne, pole

anizotropii jednoosiowej, pole anizotropii jednozwrotowej, pole anizotropii rotacyjnej, pole koercji, stała anizotropii objętościowej, stała anizotropii powierzchniowej czy współczynnik tłumienia Gilberta.

Już taki skrótowy przegląd zawartości rozprawy pozwala na sformułowanie trzech uwag o charakterze ogólnym, mających istotne znaczenie dla jej oceny.

Po pierwsze: tematyka podjęta przez Autora jest bardzo ważna i aktualna, bowiem magnetyczne układy niskowymiarowe, z uwagi na swoje ciekawe właściwości i ogromny potencjał aplikacyjny, stanowią w chwili obecnej jedno z wiodących zagadnień współczesnej fizyki magnetyzmu. Wybór takiej tematyki jest niezaprzeczalnie ogromnym atutem rozprawy.

Po drugie: w swych badaniach Autor wykorzystał nowoczesne metody badawcze i preparacyjne, przy czym podkreślić należy jego ogromny wysiłek włożony w rozwój techniki VNA-AFM, przez co w istotny sposób wzbogacił potencjał badawczy nauki polskiej. Jest to oczywiście też duży plus rozprawy. Możliwości badawcze VNA-AFM w porównaniu z tradycyjną wnękową techniką FMR, dobitnie wykazane przez Autora, rzeczywiście robią ogromne wrażenie. Chciałbym tu zwrócić uwagę zwłaszcza na możliwość pracy w trybie przemiatania częstotliwością zmiennego pola mikrofalowego przy ustalonej konfiguracji magnetycznej próbki, co szeroko otwiera bramę do pomiarów w niewielkich polach magnetycznych, a więc np. w zakresie występowania struktury domenowej. W swojej rozprawie Autor unikał głębszej dyskusji wyników uzyskanych w zakresie pól mniejszych od pola koercji badanych materiałów, ale to mogłoby być ciekawe i moim zdaniem warto byłoby do tego powrócić w przyszłości.

Po trzecie: w rozprawie zwraca uwagę mnogość badanych obiektów, liczba zaatakowanych problemów i liczne zastosowane techniki pomiarowe. Jeżeli przeliczyć rozdziały albo podrozdziały rozprawy zawierające opisy wyników badań i wydzielone ze względu na obiekt badań albo ze względu na problem badawczy, to otrzymuje się liczbę 9 (podrozdziały 4.2, 4.3, 4.4, 5.2, 5.3, 6.2, 6.3, 8.2, rozdział 7). Technik pomiarowych można doliczyć się 8, jeżeli jako jedną z nich potraktuje się szeroką pojętą numeryczną obróbkę danych (XRD, XRR, FMR, VNA-FMR, VSM, MOKE, GMR, symulacje/dopasowania). Tak więc Autor rozpracował 9 obiekt-problemów stosując 8 technik pomiarowych. Przy tak sporych liczbach nie można oprzeć się pokusie dokonania pewnych statystyk. I tak: do rozwiązania 9 różnych problemów Autor 9 razy zastosował technikę VNA-FMR, 7 razy dopasowania numeryczne, 6 razy VSM, 3 razy XRD, XRR, FMR, MOKE i jeden raz GMR. Rozkład nie jest więc tu równomierny, a niewątpliwie priorytetową okazała się technika

VNA-FMR, wybierana przez Autora za każdym razem. Z kolei pojedynczym problemem rozwiązywanym z zastosowaniem największej liczby technik jednocześnie okazało się być badanie podwójnych zaworów spinowych (podrozdział 6.2). Autor zaatakował ten problem za pomocą 7 technik, czyli za pomocą wszystkich dostępnych za wyjątkiem tradycyjnego FMR. I w tym przypadku rozkład daleki jest od równomiernego, bowiem pozostałe problemy Autor rozwiązywał za pomocą od jednej do pięciu różnych technik jednocześnie. Co z tego wszystkiego wynika?

Otóż z jednej strony świadczy to – moim zdaniem – o ogromnej pracowitości Autora, który pomimo tego, że nie wszystkie problemy potraktował jednakowo, to przedstawił w rozprawie imponującą liczbę wyników. Warto w tym miejscu przytoczyć jeszcze jedną, jakże wymowną, statystykę, mianowicie: rozprawa zawiera 72 rysunki, z czego 17 złożonych jest z co najmniej dwóch oddzielnych paneli, a w 34 przypadkach dany rysunek czy panel zawiera jednocześnie więcej niż jeden zmierzony lub wyliczony przebieg.

Z drugiej jednak strony prezentacja tylu tematów jednocześnie, z których każdy jest skądinąd ważny i ciekawy, może być – w mojej opinii – potraktowana jako swego rodzaju mankament rozprawy, polegający na braku jednego wyraźnie określonego wątku tematycznego, wokół którego koncentrowałyby się wysiłki Autora. Na bazie powyżej przytoczonych statystyk nieodparcie nasuwa się wniosek, że elementem łączącym wszystkie prezentowane zagadnienia jest technika VNA-FMR, a osią przewodnią rozprawy jest wykazanie przydatności tej techniki do badania różnych materiałów. Potwierdzają to słowa Autora, który w pierwszych dwóch zdaniach Podsumowania (rozdział 9, str. 115), a więc w zdaniach sztandarowych, pisze tak: *„W niniejszej pracy doktorskiej przedstawiono rezultaty badań dynamiki namagnesowania w warstwowych strukturach magnetycznych. Pokazano, że VNA-FMR ze standardowym falowodem koplanarnym (dodatek A) nadaje się do pomiarów zarówno grubych warstw (taśmy amorficzne o grubości rzędu mikrometrów), jak i ultracienkich warstw o grubości w zakresie pojedynczych nanometrów”*. Tym sposobem Autor przełamał pewne utarte schematy związane z pisanem rozpraw doktorskich, ale – moim zdaniem – można mu to wybaczyć, zwłaszcza gdy się kontempluje piękno i wagę wykresu przedstawiającego zależność częstotliwości rezonansowej od pola magnetycznego dla próbki NiFe/NiMn, uzyskaną metodą VNA-FMR (rys. 4.4 na str. 45). Na wykresie tym zaznaczono też dwa punkty otrzymane metodą FMR dla jednej wartości pola ale dwóch różnych jego zwrotów, w celu porównania wyników mierzonych za pomocą obu metod. Zgodność jest tu idealna, a postęp w możliwościach badawczych VNA-FMR względem „klasycznego” FMR należy uznać za wręcz powalający, gdy zamiast

pojedynczego punktu, zarejestrowanego dla jednej wartości pola, widzi się pełną zależność dyspersyjną zmierzoną w szerokim zakresie pól.

W tym miejscu chciałbym dorzucić jeszcze uwagę dotyczącą tytułu rozprawy. Tytuł wydaje się być sformułowany nazbyt ogólnie, gdyż odwołuje się do bardzo szerokiej klasy materiałów i nie zawiera sprecyzowanych nazw badanych obiektów. Jest to – moim zdaniem – znowu konsekwencją dużej liczby różnorodnych obiektów, o których traktuje rozprawa, bowiem trudno byłoby je wszystkie wymienić w tytule, nie ryzykując wydłużenia go ponad miarę. Muszę jednak przyznać, że w zasadzie tytuł zgodny jest z treścią rozprawy.

Po tych uwagach ogólnych, przejdę teraz do spraw bardziej szczegółowych.

Licząca łącznie 140 stron rozprawa jest podzielona na dziewięć rozdziałów. Pierwszy rozdział jest wstępem ogólnym. Drugi stanowi wstęp bardziej szczegółowy i omawia podstawy magnetyzmu i dynamiki magnetyzacji w układach cienkowarstwowych oraz efekt gigantycznego magnetooporu. Trzeci poświęcony jest zastosowanym metodom badawczym (FMR, VNA-FMR, VSM, XRR, XRD, magnetometria MOKE, magnetoopór) i preparacyjnym (magnetronowe rozpylanie jonowe). Następnich pięć rozdziałów – najważniejszych z punktu widzenia całości pracy – zawiera oryginalne wyniki badań, ich opracowanie i dyskusję.

Rozdział czwarty prezentuje wyniki pomiarów dynamiki magnetyzacji w układach z anizotropią jednozwrotową, takich jak **Co/IrMn** (dokładniej: Co(5nm *lub* 10nm)/IrMn(30nm), w tym przypadku nie określono podłoża), **NiFe/NiMn** (dokładniej: Si/NiFe(30nm)/NiMn(56nm)) oraz **Co₂FeSi/IrMn** (dokładniej: Si/Ti(5nm)/[IrMn(20nm)/Co₂FeSi(10nm)]x3/IrMn(20nm)/Ti(5nm)). Najciekawszym rezultatem jest tu wyznaczenie wielkości anizotropii rotacyjnej i wyjaśnienie mechanizmów jej powstawania.

Rozdział piąty przedstawia wyniki pomiarów dynamiki magnetyzacji w strukturach warstwowych z anizotropią powierzchniową, takich jak **Co/Au** (dokładniej: Si/Ti(4nm)/Au(8nm *lub* 23nm *lub* 46nm)/Co(klin0-3nm)/Au(2nm)) oraz **CoFeB/MgO** (dokładniej: Ta(5nm)/Ru(20nm)/Ta(3nm)/CoFeB(klin0.82–1.46nm)/MgO(1nm)/Ta(5nm)/Ru(5nm), w tym przypadku nie określono podłoża). Warte podkreślenia jest tu wyznaczenie anizotropii powierzchniowej i objętościowej w układzie Co/Au i udowodnienie, że anizotropia powierzchniowa zmniejsza się wraz ze wzrostem grubości, a więc i wraz ze wzrostem szorstkości, warstwy buforowej Au.

Rozdział szósty omawia wyniki pomiarów dynamiki magnetyzacji w podwójnych zaworach spinowych o strukturze prostej:

Si/Ti(4nm)/Au(40nm)/[Co(0.7nm)/Au(1nm)]x4/Cu(4nm)Py(3nm)/Co(0.5nm)/Cu(3nm)/Co(3nm)/IrMn(15nm)/Au(5nm) i inwersyjnej:

Si/Ti(4nm)/Au(10nm)/IrMn(10nm)/Co(3nm)/Cu(3nm)/Py(3nm)/Cu(4nm)/[Co(0.7nm)/Au(1nm)]x4/Au(5nm). Na szczególną uwagę zasługuje tu wykazanie, że warstwa polaryzatora o namagnesowaniu prostopadłym w niewielkim stopniu oddziałuje dipolowo z warstwą swobodną i warstwą analizatora (sprzężoną poprzez efekt „exchange-bias” z warstwą antyferromagnetyka), powodując niewielkie zmiany anizotropii i tłumienia tych dwóch ostatnich warstw.

Rozdział siódmy prezentuje wyniki badań wpływu grubości bufora na intensywność sygnału VNA-FMR w podwójnych zaworach spinowych. Autor udowodnił tu, że wzrost przewodnictwa warstwy buforowej powoduje wzrost intensywności sygnału VNA-FMR.

Rozdział ósmy zawiera pionierskie – jeżeli chodzi o zastosowanie techniki VNA-FMR – wyniki pomiarów antyrezonansu ferromagnetycznego w dwóch rodzajach taśm amorficznych, wyprodukowanych albo na bazie żelaza, niklu, molibdenu i boru, albo na bazie żelaza, miedzi, niobu, krzemu, boru i niklu (grubość badanych taśm wynosiła 15 000 nm).

Rozdział dziewiąty, ostatni, stanowi podsumowanie. Rozprawę zamyka spis literatury, liczący 103 pozycje, dodatek poświęcony szczegółom technicznym budowy i działania spektrometru VNA-FMR oraz spisy: rysunków i tabel.

W mojej opinii, układ rozprawy jest logiczny i przejrzysty. Obszerny materiał został właściwie posegregowany pomiędzy poszczególne rozdziały i podrozdziały, umożliwiając w miarę łatwe dotarcie do konkretnych informacji. Na pierwszy rzut oka układ podrozdziałów w rozdziałach od 4 do 6 i w rozdziale 8 wydaje się być zaskakujący, bowiem każdy z tych rozdziałów, poświęconych wynikom pomiarowym, rozpoczyna się od podrozdziału wstępnego, charakteryzującego właściwości danego obiektu badań w oparciu o dostępną światową literaturę naukową. W typowych rozprawach takie informacje są zwykle zamieszczane w rozdziale wstępnym do całej rozprawy. Jednak po chwili zastanowienia należy zgodzić się z układem zaproponowanym przez Autora, bowiem w przypadku takiej mnogości badanych obiektów, umieszczenie razem w jednym miejscu wszystkich informacji o danym obiekcie – i tych zaczerpniętych z literatury i tych dołożonych przez Autora na podstawie własnych badań – wydaje się być jak najbardziej zasadne.

Uważam, że przedstawione w rozprawie wyniki zostały opracowane bardzo rzetelnie. Autor rzeczowo przedstawił procedury pomiarowe, wyniki eksperymentalne,

metody analizy wyników i dokonał przejrzystej interpretacji uzyskanych rezultatów. Udowodnił tym samym, iż osiągnął wszechstronną biegłość fizyka-eksperymentatora, potrafiącego z powodzeniem sprostać ambitnym wyzwaniom współczesnej nauki. Na szczególną uwagę zasługuje – moim zdaniem – spektakularne opracowanie wyników badań warstwy CoFeB/MgO uzyskanych za pomocą VNA-FMR w trybie z przemiataniem częstotliwości, przedstawione na rysunku 5.6 (str. 66) i rysunku 5.7 (str. 67). Składając razem szereg przebiegów zmierzonych w różnych wartościach pola magnetycznego skierowanego albo wzdłuż kierunku łatwego albo trudnego, Autor uzyskał dwuwymiarowe mapy wielkości parametru S_{21} (związanego z absorpcją mikrofalową), w zależności od pola magnetycznego i częstotliwości. Naniósł na te mapy krzywe uzyskane z dopasowania i ostatecznie udowodnił, że stosowanie do opisu krzywych dyspersyjnych równań Kittel'a, zakładających równoległość wektorów: pola magnetycznego i magnetyzacji, możliwe jest jedynie w ograniczonym zakresie.

Mankamentem opracowania wyników jest brak wyraźnego komentarza dotyczącego niepewności dopasowywanych parametrów. O ile bowiem w przypadku tabeli 8.1 (str.111) i tabeli 8.2 (str. 112) niepewności te są wypisane jawnie, to o tyle w pozostałych przypadkach przytaczania wartości wyników dopasowań (tabela 4.1 na str. 41, dane na str.44, tabela 4.3 na str. 53, tabela 5.1 na str. 61, dane na str.62, 68, 69, tabela 6.1 na str. 85, dane na str.100) brak jest jakiegokolwiek wzmianki na temat niepewności. Tym sposobem Autor zmusza czytelnika do domysłów, że owe niepewności są na poziomie ostatniej cyfry znaczącej, co oczywiście nie musi być zgodne z prawdą.

Podsumowując powyższe uwagi, nie pozostaje mi nic innego, jak tylko wyrazić pozytywną ocenę merytorycznej zawartości rozprawy mgra inż. Huberta Głowińskiego. Autor podjął ciekawą tematykę, spreprował odpowiednie próbki i uzyskał wartościowe wyniki, które opracował i przedyskutował w sposób prawie niebudzący zastrzeżeń. Moją pozytywną ocenę wzmacnia dodatkowo fakt, że w tej tematyce mgr inż. Hubert Głowiński może pochwalić się współautorstwem pięciu artykułów opublikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, w tym dwóch w Journal of Applied Physics.

Jeżeli chodzi o kwestię samej prezentacji wyników, to mam jeszcze parę drobnych uwag.

Przy opisie struktur Co/IrMn na str. 41 oraz CoFeB/MgO na str. 64 nie mogłem doszukać się informacji o rodzaju podłoża, na jakim osadzone były próbki, podczas gdy w opisie wszystkich pozostałych obiektów badań, taką informację łatwo było znaleźć. O ile jeszcze w przypadku struktur Co/IrMn można domyślnie przyjąć za adekwatną informację podaną na str. 37 przy okazji opisu metody otrzymywania warstw przy pomocy rozpylania jonowego, że „*Warstwy osadzane były na naturalnie utleniony monokryształ krzemu Si(100) o bardzo dużej czystości*”, to o tyle w przypadku próbek CoFeB/MgO spreparowanych przez firmę zewnętrzną, nie jest to już takie oczywiste.

W podrozdziale 4.3, poświęconym właściwościom warstw NiFe/NiMn, można odczuć lekki niepokój, gdy w trzecim akapicie na str. 43 napotyka się informację o warstwie permaloju NiFe o grubości 30 nm w kontakcie z warstwą stopu **IrMn** o grubości 56 nm, zamiast oczekiwanego stopu NiMn. Podobna dezinformacja (IrMn) zawarta jest w podpisie rys. 4.4 na str. 45.

Czytając zdanie na str. 45: „*Pomiar został wykonany w kierunku łatwym, ustalonym podczas wygrzewania w polu magnetycznym*” nie trudno jest się domyślić, że Autorowi chodziło tutaj o pomiar wykonany w polu magnetycznym przyłożonym w kierunku łatwym i że pracując nad tekstem zastosował typowy żargonowy skrót myślowy. Podobny żargon występuje także jeszcze w kilku innych miejscach rozprawy.

Na rys. 4.5 na stronie 46, przedstawiającym zmierzoną przy pomocy VNA-FMR zależność częstotliwości rezonansowej od pola magnetycznego dla warstw NiFe/NiMn, Autor dorzucił dla porównania pętlę histerezy, zmierzoną zupełnie inną techniką (prawdopodobnie VSM, co sugerują informacje podane na dalszych stronach). Niestety nie oznaczył przy tym odpowiednich wartości na dodatkowej osi pionowej, wbrew regułom ścisłości naukowej.

Prawdziwą zagadkę napotkałem natomiast na str. 51, gdzie w tekście pracy przy szczegółowym opisie warstw Co₂FeSi/IrMn Autor podał, że zarówno warstwa buforowa jak i pokrywająca w tej próbce były wykonane z tytanu (Ti) o grubości 5nm, natomiast na wstawce do rys. 4.9 na stronie następnej, przedstawiając tę próbkę schematycznie, warstwy te oznaczył symbolem Ta, co jednoznacznie oznacza pierwiastek o nazwie tantal. Która z tych informacji jest prawdziwa?

Nieco zagadkowy jest też rys. 5.4 umieszczony na str. 63 i przedstawiający trzy pętله histerezy zmierzone metodą P-MOKE dla trzech różnych obszarów próbki Au/Co, zawierających różne liczby podsystemów magnetycznych. Problem polega na tym, że trudno jest się domyślić czy przesunięcie poszczególnych histerez względem osi pionowej,

oznaczonej jako „Namagnesowanie [j.u.]”, zostało wprowadzone sztucznie przez Autora w celu zwiększenia przejrzystości całego rysunku, czy też kryje się w tym jakiś głębszy sens związany z asymetrią histerezy.

Przywoływany już wcześniej spektakularny rys. 5.6 na str. 66 nie zawiera skali przypisującej poszczególnym barwom wartości parametru S_{21} . W tekście Autor opisuje znaczenie koloru czerwonego i fioletowego (który nawiasem mówiąc w przysłanej mi do recenzowania wydrukowanej wersji rozprawy nie występuje, natomiast w wersji elektronicznej rzeczywiście jest widoczny), natomiast nic nie wspomina o kolorze granatowym, niebieskim, zielonym czy żółtym. Podobny brak występuje w przypadku rys. 5.7 na str. 67. Ponieważ są to jedyne w całej rozprawie rysunki o charakterze dwuwymiarowej mapy, to brak odpowiedniej legendy szczególnie rzuca się tutaj w oczy.

W całym tekście pracy Autor wielokrotnie i konsekwentnie stosuje skrót AFM dla oznaczenia antyferromagnetyka. I oto nagle na str. 69 wypisuje następujące zdanie: „*Wraz z grubości bufora zwiększała się szorstkość warstw, co potwierdzono przy pomocy pomiarów metodą AFM*”. Jak wiadomo, skrót AFM jest powszechnie stosowany do oznaczenia mikroskopii sił atomowych, ale o tej metodzie Autor nie wspomina w żadnym innym miejscu rozprawy. Nie podaje przy tym też żadnego odnośnika literaturowego (np. do swojej publikacji oznaczonej w rozprawie literą J), w związku z czym, poza niewątpliwą konfuzją oznaczeń, dopuszcza się jeszcze co najmniej użycia niewyjaśnionego skrótu oraz wygenerowania u czytelnika luki poznawczej.

I wreszcie ostatnia sprawa: ani w tekście podrozdziału 6.3, ani w podpisach rysunków 6.14, 6.15 i 6.16 (str. od 88 do 90), przedstawiających na jednym z paneli widma absorpcji VNA-FMR zmierzone w trybie z przemiataniem polem, nie mogłem doszukać się informacji o częstotliwości, przy której te widma zostały zarejestrowane. W innych miejscach rozprawy, przy wykresach tego samego typu, informacja o częstotliwości była umieszczona albo w podpisie rysunku (rys. 6.5, rys.6.9), albo w tekście rozprawy (rys. 7.2, 7.5), albo wprost na rysunku (rys. 7.3, 7.4, 8.2).

Wymienione powyżej niedociągnięcia wymieniłem niejako z obowiązku i pragnę zaznaczyć, że nie dewaluują one zbyt mocno mojej oceny rozprawy jako całości.

Pod względem językowym rozprawa napisana jest w miarę starannie, o czym może świadczyć stosunkowo niewielka liczba – jak na znaczną objętość całej rozprawy – błędów gramatycznych i literowych, jakie udało mi się zauważyć. Dla porządku wymienię poniżej

Str. 83: „... charakteryzuje się bardzo wąską **pętle** histerezy ...”

Do tego należy dorzucić jeszcze kilkanaście przypadków pominięcia w pisowni polskich liter oraz dosyć często występujący w całej wydrukowanej wersji pracy błąd polegający na tym, że nowe zdanie zaczyna się od małej litery. Ten ostatni problem Autor usprawiedliwił już wcześniej wyjaśniając e-mailowo, że było to niezamierzonym skutkiem pewnych automatycznych funkcji formatowania tekstu pracy.

Wymienione powyżej usterki językowe nie mają oczywiście istotnego wpływu na moją pozytywną ocenę całej rozprawy.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Huberta Głowińskiego do jej publicznej obrony.

