

# Inżynieria biomedyczna, to prawdziwa misja, służba nauk technicznych naukom medycznym

– rozmowa z prof. Ewarystem TKACZEM, kierownikiem Katedry Biosensorów i Przetwarzania Sygnałów Biomedycznych na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 69, 2, 69–74

**Katedra Biosensorów i Przetwarzania Sygnałów Biomedycznych, którą kieruje Pan Profesor wywodzi się głównie z Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach oraz z Centrum Materiałów Poliimerowych i Węglowych PAN w Zabrze. W 2005 roku powstał na Politechnice Śląskiej międzywydziałowy kierunek studiów „biotechnologia” we współpracy z Wydziałem Chemicznym oraz Wydziałem Inżynierii Środowiska, a na Wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki specjalność „Bioinformatyka”. Jakie są merytoryczne związki pomiędzy elektroniką, chemią i biotechnologią?**

Związki merytoryczne pomiędzy wymienionymi dziedzinami nauki są na tak wysokim poziomie, że najwzyczajniej dziedziny te praktycznie nie mogą istnieć samodzielnie, albo ich samodzielne istnienie byłoby całkowicie nieefektywne. Albowiem przykłady potwierdzające taką opinię można mnożyć. Ograniczę się więc tylko do jednego, za to bardzo aktualnego. Otóż dzisiaj właśnie, kilka godzin temu brałem udział w dwóch zabiegach chirurgicznych w Klinice Chirurgii Endoskopowej; pierwszy z nich dotyczył operacji barku, drugi – operacji kolana. Podczas zabiegu, operujący chirurg powiedział do mnie, że gdyby nie rozwój wymienionych wyżej dziedzin i ich wzajemne współdziałanie, a także pewna szeroko rozumiana komplementarność czy lepiej kompatybilność, to podobne operacje wymagałyby otwierania odpowiedniego stawu, a i tak widoczność pola operacyjnego byłaby bardzo ograniczona. W efekcie operacja trwałaby znacznie dłużej, a proces rehabilitacji pacjenta operowanego „na otwarto” byłby bardzo długi, nieporównywalny z rehabilitacją po zabiegu artroskopowym. Biotechnologia w moim rozumieniu, to nauka o technicznych aspektach medycyny; elektronika – w kontekście tego przykładu – to obrazowanie medyczne, transmisja i gromadzenie danych i, wreszcie, wstępna, niemal *on-line* ich interpretacja, a w konsekwencji wnioskowanie. Patronuje temu wszystkiemu chemia, która dostarcza podstaw wiedzy np. o materiałach wykorzystywanych zarówno w elektronice, jak i w biotechnologii.

**Jakie są obecnie związki pomiędzy tymi Wydziałami? Czy taki stan dobrze służy rozwojowi Państwa zainteresowań badawczych?**

Aktualnie Wydział Inżynierii Biomedycznej, pierwszy i jedyny jak dotąd w Polsce, przenosi się do swojej nowej siedziby w Zabrze. Otrzymaliśmy budynek, który został poddany niemal kapitalnemu remontowi. Przeprowadzono cały szereg adaptacji na potrzeby nowego Wydziału, wynikających ze specyfiki kształcenia inżynierów biomedycznych. Bez większego ryzyka można powiedzieć, że własna siedziba i nowoczesne laboratoria przekazane Wydziałowi Inżynierii Biomedycznej w Centrum Nowych Technologii (otwartym w ubiegłym roku w Politechnice Śląskiej) bardzo pozytywnie wpłynę na ugruntowanie związków pomiędzy wspomnianymi wyżej Wydziałami. Powoli zbliża się (w 2015 r.) 10. rocznica utworzenia międzywydziałowego kierunku studiów „biotechnologia”. Sądzę, że w bardzo bliskiej perspektywie związki te zaowocują wspólnymi aplikacjami grantowymi, które skierowane będą do różnych źródeł finansowania badań; w przypadku powodzenia, na co nie ukrywam bardzo liczymy, wpłyną w istotny spo-



Prof. dr hab. inż. Ewaryst TKACZ jest absolwentem Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach (1982) i studiów doktoranckich w Instytucie Inżynierii Biomedycznej Politechniki w Brnie. Habilitacja w Instytucie Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (1987). Tytuł profesora otrzymał w październiku 2007 r. Doświadczenie zawodowe zdobywał w Polsce i za granicą, m.in. w Czechach, Wielkiej Brytanii, USA. Najważniejsze obszary jego

zainteresowań badawczych i wykładów, to bionika, cyfrowe przetwarzanie biosygnałów, komputerowo wspomagana diagnostyka medyczna, sztuczne narządy, biotechnologia, bioinformatyka. Od 1999 roku prowadzi wykłady na studiach doktoranckich z zakresu bioniki, sztucznych narządów, inżynierii genetycznej i tkankowej. Prowadzi również zajęcia laboratoryjne z aparatury rentgenowskiej, metod numerycznych, prawdopodobieństwa i statystyki, programowania komputerów, bioinformatyki.

Jest profesorem na Politechnice Śląskiej w Gliwicach i w Instytucie Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN w Gliwicach.

Jest członkiem wielu organizacji naukowych w Polsce i za granicą, m.in. IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineering*); ESAO (*European Society of Artificial Organs*); Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego (PTK); ECS (*European Cardiac Society*); EMBS (*Engineering in Medicine and Biology Society*); Polskiego Towarzystwa Inżynierii Biomedycznej; Komitetu Elektroniki PAN (Oddział Śląski); Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej.

Profesor Ewaryst Tkacz jest organizatorem licznych międzynarodowych kongresów i sympozjów naukowych. Jest autorem ponad 120. publikacji naukowych i laureatem wielu wyróżnień i nagród. Lubi muzykę i fotografię. Jeździ na nartach, gra w siatkówkę i wtenisa, pływa.

sób na pozyskanie specjalistycznej aparatury badawczej, a już w nieco dłuższej perspektywie, na opracowanie nowych, bardziej zaawansowanych aplikacji biotechnologii w medycynie. Wszyscy mamy gorące głowy, pełne pomysłów. Trzeba je tylko zamieniać w rzeczywistość, aby osiągnąć właściwy efekt.

**Pracownicy Katedry Pana Profesora prowadzą badania m.in. w dziedzinie technologii otrzymywania ekologicznych, biomorficznych kompozytów typu węgiel/polimer oraz charakteryzowania ich właściwości fizykochemicznych. Czego w szczególności dotyczą te badania?**

Zespół pod kierownictwem Prof. Marty Krzezińskiej zajmuje się otrzymywaniem monolitycznych kompozytów strukturalnych opartych, w myśl zasad *Zielonej Chemii*, na materiałach odnawialnych i biodegradowalnych.

Motywiącą do podjęcia tej tematyki była potrzeba tworzenia nowych ekologicznych produktów, cechujących się unikalnymi właściwościami strukturalnymi, które trudno byłoby uzyskać na drodze tradycyjnych technologii. Materiały te mogą zastąpić konwencjonalne materiały, których wytworzenie jest bardzo drogie oraz wymaga użycia szkodliwych substancji chemicznych.

Biomorficzne kompozyty otrzymywane są na bazie roślin. Materiał roślinny poddawany jest ściśle kontrolowanej karbonizacji i, w przypadku materiałów wielkopowierzchniowych, aktywacji. Otrzymane w ten sposób monolityczne materiały węglowe poddawane są infiltracji polimerami, np. roztworem chitozanu. Materiał roślinny jest, jak wiadomo, tanim i ogólnie dostępnym surowcem odnawialnym. Charakteryzuje się wysoką porowatością, sztywnością, a także doskonałą wytrzymałością, niską gęstością oraz odpornością na uszkodzenia. Właściwości te wynikają w głównej mierze z anizotropowej morfologii roślin, czyli jednokierunkowego systemu porów otwartych. Taka budowa stwarza możliwość napełniania matrycy roślinnej różnego rodzaju gazowymi i ciekłymi wypełniaczami, co powoduje, że taki materiał roślinny stanowi doskonały nośnik/matrycę do otrzymywania szerokiej gamy biomorficznych kompozytów, o określonych właściwościach fizycznych i mechanicznych. Cechą charakterystyczną materiałów otrzymanych na bazie prekursorów roślinnych jest pseudomorficzna struktura, będąca odwzorowaniem morfologii komórkowej rośliny, na bazie której powstała.

Zespół opracował technologię otrzymywania m.in. biomorficznych monolitycznych kompozytów z chitozaniem jako wypełniaczem. Chitozan jest powszechnie stosowany w wielu dziedzinach życia, np. w rolnictwie, oczyszczaniu wód i ścieków, przemyśle spożywczym i kosmetycznym, a także znajduje zastosowania w biomedycynie. Przyczyniają się do tego jego główne zalety, czyli: bioaktywność, biokompatybilność, biodegradowalność, nietoksyczność, wysoka adhezylność.

W wyniku przeprowadzonych przez zespół badań uzyskano nową klasę kompozytów w postaci monolitycznych sztywnych bloczków o dowolnie wybranym kształcie, z hierarchicznym układem porów, których powierzchnia wewnętrzna pokryta jest warstwą wybranego polimeru.

Zespół prof. Marty Krzesińskiej, w którym prowadzi badania także dr inż. Justyna Majewska, pracował m.in. nad otrzymywaniem monolitycznych, biomorficznych materiałów do adsorpcji substancji szkodliwych z roztworów wodnych. Mamy już pierwsze obiecujące wyniki w usuwaniu arsenu z wody pitnej. (Część wyników jest opublikowana w czasopiśmie z listy filadelfijskiej).

Obecnie prowadzone są również prace nad wykorzystaniem biomorficznych kompozytów z chitozaniem do otrzymywania biosensorów.

**Porowate materiały węglowe uzyskane na drodze karbonizacji roślin oraz żywic stanowią też alternatywę dla materiałów do produkcji różnego rodzaju sensorów, np. karbonizaty roślin wykorzystuje się jako elektrody w sensorach glukozy. Do budowy sensorów glukozy służy również wspomniany już, pseudonaturalny polimer, jakim jest chitozan. Panie Profesorze, dlaczego takie alternatywne materiały do wytwarzania sensorów są ważne?**

Chodzi o wytworzenie biosensorów, dzięki którym uzyskiwanie specyficznych informacji będzie szybsze, prostsze i tańsze. Zatem mamy na uwadze określenie pewnej funkcji celu i dalej właściwy proces optymalizacyjny. Elektrody w sensorach glukozy to oczywiście tylko jedno z możliwych zastosowań. Badania dotyczące tych materiałów obejmują znacznie szersze spektrum aplikacyjne.

**Prace Pana Profesora – osiągnięcia i zamierzenia, także w kontekście rozwoju Wydziału Inżynierii Biomedycznej jako interdyscyplinarnej oferty dla inżynierów chemii, elektroniki, ochrony środowiska, medycyny – trwają już od wielu lat. Poświęca im Pan wiele czasu i zaangażowania. Proszę przybliżyć, choćby pokrótce, swoje naukowe marzenia i źródła naukowych zainteresowań, inspiracje?**

Tego typu pytanie szanowna pani redaktor, to dla mnie prawdziwa „woda na młyn”. Ponieważ oprócz badań naukowych zajmuję się rów-

niez dydaktyką, to niemal w nieskończoność mogę mówić o swoich naukowych marzeniach, źródłach zainteresowań czy inspiracjach. Zaczęć może nieco historycznie, od inspiracji do studiowania na kierunku Elektroniczna Aparatura Medyczna, które rozpocząłem na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w 1977 roku. A inspiracją dla mnie była książka Jurgena Thornwalda pt. Pacjenci. Ponad 700 stron, które przeczytałem w dwa dni, ponieważ kończąc każdą kolejną stronę byłem strasznie ciekawy, co jest na następnej. W tej książce opisano wiele bardzo interesujących przypadków medycznych, takich jak przeszczep pierwszej nerki u pacjentki o nazwisku Ruth Tucker, czy pierwszy przeszczep serca u pacjenta Louisa Washkandsky'ego, wykonany w Kapsztadzie przez słynnego kardiochirurga Christiana Barnarda. Wracając jednak do marzeń naukowych, to bardzo chciałbym, aby system finansowania badań naukowych uległ gruntownej reformie, ponieważ obecnie, prawdopodobnie ze względu na szczupłość asygnowanych przez Rząd RP środków, jest on w zasadzie niemożliwy do zaakceptowania. Śledząc, może niezbyt intensywnie, media nie jestem w swojej opinii odosobniony, zatem jest to takie trochę więcej niż tylko pojedyncze personalne marzenie, bo dotyczy sporej części pracowników naukowych, zwłaszcza tych młodych ze wspomnianymi już w tym tekście gorącymi głowami. Schodząc na ziemię, marzę o tym, abyśmy na nowym i ciągle jedynym w Polsce, co chcę to wyraźnie podkreślić, Wydziale Inżynierii Biomedycznej mogli dokończyć dzieło właściwego jego wyposażenia i stworzenia warunków do pracy dla młodych naukowców i doktorantów. Mamy już dużo, ale chcemy więcej, bo Inżynieria Biomedyczna to nie tylko jeden z wielu kierunków studiów, to prawdziwa misja rozumiana jako służba nauki technicznych naukom medycznym, lub może lepiej – służba inżynierii ludzkiemu zdrowiu. Jeśli spojrzeć na rozwój powojennej Europy Zachodniej, to istnieją tam dobre drogi, stabilna rozwinięta gospodarka, stosunki ekonomiczno-finansowe na wysokim poziomie... Czego jeszcze chcieć? Otóż uważam, że zawsze pozostaje marzenie długiego życia w zdrowiu i dobrej kondycji fizycznej i psychicznej. Wszystkie te dobrze zdefiniowane marzenia w jakiś sposób skorelowane będą z rozwojem inżynierii biomedycznej. Dlatego warto i trzeba tę dziedzinę nauki najszerzej i najszybciej rozwijać.

**Zainteresowania naukowe Pana Profesora w znacznej mierze dotyczą akwizycji i przetwarzania sygnałów biomedycznych. Znanie jest zaangażowanie Pana Profesora w prace nad interdyscyplinarnym projektem dotyczącym nowych metodologii badawczych do detekcji i terapii bruksizmu – choroby, która dotyka znaczącą część społeczeństwa. Proszę przybliżyć naszym Czytelnikom bruksizm jako chorobę cywilizacyjną.**

Bruksizm, to schorzenie o pochodzeniu neurologicznym, którego przyczyny nie są do końca znane i zdefiniowane. Dobrze są natomiast znane skutki występowania bruksizmu, które obejmują dość szerokie spektrum, od zupełnie błahych, takich jak uszkodzenie szkliwa zębowego, do bardzo poważnych – jak bóle głowy, obrzęcy barkowej czy kręgosłupa o nieznannej w zasadzie etiologii. Samo zjawisko polega na niekontrolowanym przemieszczaniu się szczęki i żuchwy, względnie bardzo silnym impulsowym zacisku tychże – z trudnymi do wyobrażenia siłami rzędu 300–400 N. Wielkość tych sił można częściowo wytłumaczyć tym, że wśród wielu łuków refleksyjnych w organizmie, składających się z nerwów odprowadzających sygnały z mózgu oraz nerwów doprowadzających sygnały do mózgu (te pierwsze to nerwy aferentne, a te drugie – eferentne), tylko w przypadku nerwu twarzowego występują trzy zakończenia nerwowe (dwa sterują szczęką i jeden żuchwą), a nie dwa jak w przypadku pozostałych łuków refleksyjnych. Przedmiotem naszych dociekań jest opracowanie niezawodnej metody detekcji epizodów bruksizmu, które zazwyczaj pojawiają się pod koniec snu tuż przed przebudzeniem. Metoda leczenia bruksizmu powinna być nieinwazyjna, i najlepiej niezależna od stanu świadomości pacjenta.

Wykorzystujemy w tym celu rejestrację trzech sygnałów: EOG (elektrookulografia rejestrująca ruchy gałek ocznych), EMG (elektromiografia rejestrująca zmiany napięcia mięśni żuchwy) oraz HRV (sygnał zmienności rytmu serca; ang. *Heart rate variability*), które wbrew powszechnej opinii wcale nie bije rytmicznie tylko *quasirytmicznie*, obrazując w ten sposób pewne sterowanie nerwowe, pojawiające się w wypadku zwiększonego lub zmniejszonego zapotrzebowania na tlen w organizmie. Przy stałej w przybliżeniu objętości lewej komory serca, sterowanie ilością tlenu może odbywać się wyłącznie poprzez zmianę rytmu serca. Przez ponad rok badań wykryliśmy istotną korelację pomiędzy wspomnianymi sygnałami, których charakterystyczne epizody pojawiają się właśnie wtedy, kiedy pojawia się bruksizm.

### **Na czym polega proponowana przez Pana Profesora rewolucja w leczeniu bruksizmu?**

Czy to będzie rewolucja, to jeszcze chyba zbyt wcześnie wyrokować. Ale jak się wydaje opracowaliśmy niezawodną metodę detekcji epizodów bruksizmu. Dalsze badania zogniskujemy na tym, aby skutecznie zastosować opracowaną metodę i dodatkowo wykorzystać pewien rodzaj *biofeedbacku*, czyli naturalnego sprzężenia zwrotnego do generacji impulsu elektrycznego rozluźniającego zaciśnięte względnie zgrzytające szczękę i żuchwę. Zadanie, chociaż koncepcyjnie proste, to do skutecznej realizacji będzie wymagało zastosowania najnowszych zdobyczy technologicznych, takich jak choćby transmisja bezprzewodowa impulsów elektrycznych o stosunkowo małych wartościach parametrów elektrycznych – miliwołty i mili lub mikroampery. Jednym słowem, do pełnego sukcesu brakuje jeszcze wiele intensywnych badań, które stale wykonujemy we współpracy ze stomatologami ze Śląskiego Uniwersytetu Medycznego. Zakładam jednak że się uda. Twierdę bowiem, tym razem może nieco nieskromnie, że najlepsze pomysły, to pomysły stosunkowo proste koncepcyjnie.

**Padło już w naszej rozmowie słowo o finansowaniu badań..., ale przecież zaproponowane przez Rząd RP Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych, wynikające z polityki naukowej i innowacyjnej państwa, mają służyć rozwojowi polskiej gospodarki i sektora publicznego? Wiadomo, że preferowane są badania służące rozwiązywaniu konkretnych problemów technicznych, naukowych lub społecznych, których realizacja powinna przyczynić się do konsolidacji najlepszych zespołów badawczych i integracji środowisk naukowych i gospodarczych wokół zagadnień kluczowych dla rozwoju kraju. Jednym z takich programów jest StrategMed – profilaktyka i leczenie chorób cywilizacyjnych. Czy Pańskie dociekania naukowe wpisują się w StrategMed?**

W kontekście poprzedniego pytania, to raczej nie, ponieważ bruksizm generuje trudne i przykre do opanowania epizody bólowe, ale nie jest chorobą cywilizacyjną powodującą zagrożenie życia pacjenta. Nie chciałbym jednak, aby takie sformułowanie kreowało opinię, iż zajmujemy się tematyką niszową. Wspomniany przez panią redaktor program StrategMed jest bardzo dobrze znany – mnie i mojemu zespołowi. Odbyły się dotąd dwa konkursy i w kwietniu bieżącego roku planowane jest ogłoszenie trzeciego – jak podaje NCBiR już ostatniego. Wystartowaliśmy w pierwszym konkursie z tematyką dotyczącą bardzo modnej aktualnie medycyny personalizowanej. Start w takim konkursie jest bardzo wymagający organizacyjnie, ponieważ trzeba stworzyć co najmniej pięciopodmiotowe konsorcjum badawcze, obejmujące również partnera przemysłowego; minimalna wysokość środków, o które się aplikuje to 10 mln zł. Ten start okazał się nieskuteczny. Liczę, że uda się jeszcze raz namówić naszych partnerów z pierwszego konkursu i ponowić wniosek, który dotyczył opracowania czwartego wymiaru w tomografii naczyń wieńcowych. Najkrócej rzecz ujmując, bardzo często zdarza się, że badania tomograficzne naczyń wieńcowych nie dostarczają kardiologom dostatecznie obszernej informacji

do podjęcia decyzji o kwalifikacji do zabiegu plastyki aortalno-wieńcowej. Bywa, że tętnica zamknięta w 70% musi ustąpić pierwszeństwa zabiegowego tętnicy zablokowanej tylko w 30%, ale za to ze znacznie większym ryzykiem oderwania się blaszek miażdżycowych. Efektywna ocena tego faktu nie jest możliwa wyłącznie na podstawie pasywnych badań tomograficznych. Potrzebna jest pewna dynamika polegająca do dołożeniu informacji o przepływie krwi w analizowanej tętnicy. I to jest właśnie ten wspomniany czwarty wymiar. Zadanie jest niezwykle skomplikowane obliczeniowo i, śledząc doniesienia literaturowe, wymaga zastosowania metodyki wykorzystującej siatki Boltzmana (ang. *LBM Lattice Boltzman Method*). Aby dobrze to sobie wyobrazić dodam, iż przy zastosowaniu powszechnie dostępnych komputerów osobistych, czas obliczeń znacznie przekraczałby zdrowy rozsądek. Najczęściej wykorzystuje się specjalizowane procesory graficzne o wielkiej mocy obliczeniowej. Nasz wniosek w pierwszym konkursie został źle oceniony pod względem formalnym, od czego odwołaliśmy się do stosownej komisji, ale niestety nieskutecznie. Dodam dla pełnej jasności, iż w Polsce we wszystkich klinikach kardiologicznych wykonuje się rocznie około 15000 zabiegów tomografii naczyń wieńcowych po około 1500 zł każdy, co daje kwotę ponad 22 mln zł, a diagnostyka w tym zakresie nadal nie daje właściwej pewności co do poprawnej kwalifikacji zabiegowej. Będę jednak wdzięczny, jeśli moja konstatacja nie zostanie potraktowana jako nieuzasadniona krytyka systemu, czy polityki finansowania badań naukowych; o jej zmianę wnosiłem już w naszej rozmowie wcześniej.

### **Czy Katedra Pana Profesora, może Pan Profesor osobiście, jest beneficjentem środków, jakimi dysponują strategiczne programy badań naukowych?**

Aktualnie nie, ale mimo porażki w pierwszym konkursie StrategMed, intensywnie przygotowujemy się do wystartowania w konkursie, który będzie ogłoszony w kwietniu 2015. Jeśli i tym razem nie będziemy mieli szczęścia do recenzentów będących prawdziwymi ekspertami w tematyce, którzy ustrzegą się błędów formalnych, a za to dostrzegą np. wagę ekonomiczną proponowanej tematyki, to wystartujemy, wraz z partnerami zagranicznymi, w programie Horyzont 2020. Jest tam znacznie więcej możliwości niż oferują krajowe programy strategiczne.

**Zaczęliśmy naszą rozmowę od merytorycznych związków pomiędzy elektroniką, chemią i biotechnologią, które sięgają początków XXI w. Z wypowiedzi Pana Profesora przebija pewność, że bioinżynieria medyczna jest awangardową, bardzo ciekawą i przyszłościową dziedziną nauki...**

W zasadzie można powiedzieć, że jesteśmy skazani na sukces. Pokrywamy bowiem bardzo szerokie spektrum badawcze kwalifikowane do zagadnień związanych z inżynierią biomedyczną. Cztery Katedry Wydziału Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej zajmują się analizą obrazów biomedycznych, biomechaniką, biomateriałami i wreszcie szeroko rozumianą akwizycją, metrologią i przetwarzaniem sygnałów biomedycznych. Nie wspominałem jeszcze o bardzo ważnym obszarze naszej aktywności, dotyczącym bioinformatyki. Mamy w Katedrze specjalistę z tej dziedziny, który obronił pod moim kierunkiem doktorat na temat metod klasyfikacji strukturalnej białek, oraz dwie doktorantki, które także prowadzą intensywne badania z tego obszaru.

Sporo powiedziałem o znaczeniu i niezbędności rozwoju inżynierii biomedycznej... Najzwyczajniej w świecie chcemy długo i wygodnie żyć, w dobrym zdrowiu i kondycji – czego serdecznie życzę wszystkim Czytelnikom miesięcznika CHEMIK.

**Bardzo dziękuję za interesującą rozmowę i zapraszam na nasze łamy z publikacjami z Państwa dorobku.**

Anna Czumak-Bieniicka  
(wywiad z 2 lutego 2015 r.)