

Autoreferat

W autoreferacie omówię chronologicznie osiągnięcia naukowe z odniesieniem do ważniejszych moich publikacji bądź z moim istotnym udziałem.

Przebieg pracy naukowej

a) Osiągnięcia naukowe

Studia magisterskie oraz okres bezpośrednio po nich

Studia wyższe w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej ukończyłem z wynikiem bardzo dobrym w roku 1982, przedstawiając pracę magisterską pt. "Badania procesów krystalizacji i struktur oligoestrodiole w aspekcie zjawiska ich pęknięcia" (promotor dr inż. Irma Gruin) i uzyskując dyplom mgr inż. technologa materiałów. Praca magisterska uzyskała wyróżnienie w Instytucie Inżynierii Materiałowej PW, zaś uzyskane wyniki przedstawiłem w pracy [M1]. W końcowym okresie studiów, luty 1982, otrzymałem nagrodę specjalną Sekretarza Naukowego Polskiej Akademii Nauk za bardzo dobre wyniki w nauce oraz owocną działalność w studenckim ruchu naukowym.

Bezpośrednio po ukończeniu studiów, w październiku 1982 roku, podjąłem pracę na stanowisku technologa materiałów w Zespole Krystalizacji Instytutu Inżynierii Materiałowej PW, kierowanym przez prof. dr hab. Stefana Wojciechowskiego. W ramach prowadzonych prac zajmowałem się badaniami struktury i właściwości materiałów magnetycznie trwałych typu Alnico. Istotną częścią badań była analiza wpływu warunków obróbki cieplno - magnetycznej na strukturę oraz właściwości magnetyczne. Prowadziłem tu również prace mające na celu zwiększenie plastyczności i obrabialności skrawaniem materiałów magnetycznie trwałych typu Alnico [M2]. W tym czasie aktywnie uczestniczyłem też w realizacji szeregu umów wdrożeniowych z przemysłem (Huta Baildon, Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych). W czasie zatrudnienia na Politechnice napisałem też szereg prac dotyczących uwarunkowań i perspektyw rozwojowych różnych materiałów [np. M3 – M5].

[M1] Gruin I., Wasiak A., Sajkiewicz P., Defects, Conditions of Formation and Structure of Spherulites in Oligoethylene Adipate and its Urethane Prepolymers (in Russian), Polymer Science, Series A. Polymer Physics, (d. Vysokomolekuljarnyje sojedinenia), A28, (1986), 799-804

[M2] Sajkiewicz P., Obróbka plastyczna materiałów magnetycznie twardych typu Alnico - jej wpływ na strukturę oraz własności magnetyczne i mechaniczne, Inżynieria Materiałowa, 4, (1983), 159-163

[M3] Sajkiewicz P., Przesłanki i uwarunkowania rozwoju właściwości materiałów, Gospodarka Materiałowa, 36, (1984), 237-241

[M4] Sajkiewicz P., Rozwój materiałów metalicznych i technologii ich wytwarzania, Gospodarka Materiałowa, 36, (1984), 272-275

[M5] Sajkiewicz P., Tworzywa sztuczne jako substytuty metali - teraźniejszość i przyszłość, Gospodarka Materiałowa, 39, (1987), 169-171

Problematyka związana z doktoratem

W r. 1984 podjąłem studia doktoranckie w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, rozpoczynając pracę naukową nad przemianami fazowymi polimerów w zewnętrznych polach potencjalnych. Tematyka rozprawy doktorskiej pisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja

Ziabickiego została skoncentrowana wokół badań zmian rozkładów orientacji krystalitów w trakcie topnienia polimerów. W procesach przemian fazowych polimerów występują zjawiska, które są nieobecne bądź też słabo zaznaczone w substancjach małowcząsteczkowych. Szczególne znaczenie mają efekty orientacji, związane z niekulistością agregujących elementów - segmentów łańcucha polimerowego. Zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi, konsekwencją ograniczeń orientacyjnych w procesie krystalizacji polimerów powinna być zależność krytycznej temperatury krystalizacji od orientacji. Jednym ze spodziewanych skutków takiej zależności powinien być proces selektywnego topnienia, prowadzący do zwięzania się rozkładów orientacji krystalitów w czasie topnienia. Rozprawa doktorska obejmowała doświadczalne badania zmian orientacji krystalitów w trakcie topnienia zorientowanego polietylenu o bardzo dużym ciężarze cząsteczkowym (3.7×10^6), utrzymywanego w warunkach różnych więzów mechanicznych. W pracy doktorskiej wykazałem metodą dyfrakcji rentgenowskiej w zakresie szeroko-kątowym, iż proces topnienia jest selektywny w odniesieniu do orientacji krystalitów, prowadząc do zwięzania się ich rozkładów w czasie topnienia. Pokazałem, iż efektywne zmiany rozkładów orientacji krystalitów w trakcie topnienia zależą także od nałożonych więzów zewnętrznych, wprowadzających dodatkową możliwość zwiększenia orientacji molekularnej (warunki dużego naprężenia) bądź jej relaksacji w warunkach małych naprężeń zewnętrznych.

Rozprawa doktorska pt. "Zmiany rozkładu orientacji kryształów polietylenu w procesie topnienia pod naprężeniem" [D1] została obroniona w roku 1989 w IPPT PAN z wynikiem bardzo dobrym. Wyniki pracy opublikowałem w [np. D2-D6], jak również przedstawiłem na konferencjach [np. D7]. Oddzielne publikacje poświęciłem aspektom metodologicznym związanym z analizą profili dyfrakcyjnych [np. D8].

[D1] Sajkiewicz P., Zmiany rozkładu orientacji agregatów krystalicznych w procesie topnienia pod naprężeniem, Prace IPPT, 12/1989, 1-134

[D2] Sajkiewicz P., Orientowany polietylen o bardzo dużej masie cząsteczkowej - formowanie folii i jej wstępne badania strukturalne, Polimery, 33, (1988), 220-224

[D3] Sajkiewicz P., Zmiany rozkładów orientacji krystalitów polietylenu w trakcie topnienia przy różnych więzach mechanicznych, Prace IPPT, 26/1990, 63-98

[D4] Wasiak A., Sajkiewicz P., Orientation Distributions and Melting Behaviour of Extended and Folded-chain Crystals in Gel-drawn, Ultra-high-molecular Weight Polyethylene, Journal of Material Science, 28 (1993), 6409-6417

[D5] Ziabicki A., Sajkiewicz P., Crystallization of Polymers in Variable External Conditions. III. Experimental Determination of Kinetic Characteristics, Colloid & Polymer Sci., 276, (1998), 680-689

[D6] Sajkiewicz P., Wasiak A., Crystallite Orientation during Melting of Oriented Ultra High Molecular Weight Polyethylene, Colloid Polym. Sci., 277, (1999), 646 - 657

[D7] Sajkiewicz P., Wasiak A., Orientation Distributions of (110) and (200) Planes during Melting of Drawn UHMW Polyethylene, 19-the Europhysics Conference on Macromolecular Physics. Polymer crystals-morphology, kinetics and applications, Gargnano, Italy, 19-24 June 1988. Europhysics Conference Abstract, pp.99-100

[D8] Sajkiewicz P., Wasiak A., Approximation of Pole Figures for the Determination of Crystal Orientation in Polymeric Solids, Journal of Applied Crystallography, 23, (1990), 88-93

Problematyka podejmowana po doktoracie

Wykorzystując doświadczenie i wyniki uzyskane w trakcie wykonywania badań do pracy doktorskiej, prowadziłem już po jej obronie badania wpływu warunków formowania folii metodą żelową oraz późniejszego rozciągania na strukturę polietylenu o bardzo dużym ciężarze cząsteczkowym [PD1]. Uzyskane wyniki pozwoliły między innymi określić krytyczne stężenie polietylenu w dekalinie, powyżej którego uzyskuje się efektywną sieć utworzoną przez splecione łańcuchy polimerowe, która następnie może być poddana procesowi rozciągania.

W okresie po obronie pracy doktorskiej opublikowałem również cykl prac, stanowiących analizę mechanizmu oddziaływania dodatków niemieszających się z polimerem na przebieg procesu

przędzenia włókien oraz właściwości mechaniczne tak uzyskiwanych włókien [PD2, PD3]. Problem ten jest istotny z punktu widzenia praktyki przemysłowej przędzenia włókien polimerowych.

W następnych latach kontynuowałem prace w obszarze przemian fazowych w polach potencjalnych, koncentrując się na wpływie pola elektrycznego na proces krystalizacji. Materiałem badanym był polifluorek winylidenu (PVDF), tworzący różne modyfikacje krystalograficzne, w tym również polarną odmianę wykazującą trwałą polaryzację. Wyniki prac eksperymentalnych potwierdziły przewidywania teorii, zgodnie z którymi szybkość krystalizacji formy polarnej wzrasta, zaś formy niepolarnej maleje przy wzroście natężenia pola elektrycznego [np. PD4]. Oddzielną publikację poświęciłem szczegółom technicznym układu mikroskopowego do prowadzenia pomiarów przemian fazowych w polach elektrycznych [PD5].

W latach 1993-94 pracowałem jako „research associate” na zaproszenie Profesora Paula J. Phillipsa w jego zespole na Wydziale Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Tennessee w Knoxville, USA. Prowadziłem tam badania sieciowalności za pomocą nadtlenu dikumylu polietylenów o krótkich rozgałęzieniach (linear low density polyethylenes), syntezowanych przy wykorzystaniu katalizatorów Zieglera-Natty. Taka metoda syntezy prowadzi do powstania polietylenu o bardzo wąskim rozkładzie ciężaru cząsteczkowego. W owym czasie praktycznie brak było informacji na temat sieciowalności tego typu polietylenów. Miarą istotności tej pracy dla przemysłu jest fakt, iż była ona zlecona przez duże firmy przemysłowe - Dow Chemical oraz Exxon. Oprócz wyników stricte użytkowych, przeznaczonych dla zleceniodawców przemysłowych, efektem tych badań były publikacje naukowe [np. PD6, PD7], w których dokonałem analizy możliwych mechanizmów sieciowania w badanych polietylenach typu LLDPE o krótkich rozgałęzieniach. W czasie pobytu na Uniwersytecie Tennessee wygłosiłem też wykłady nt. krystalizacji polimerów w polach elektrycznych.

Po powrocie do Polski w 1994 roku kontynuowałem badania wpływu deformacji na strukturę i właściwości polimerów. Zaowocowały one szeregiem publikacji [np. PD8, PD9]. W pracy [PD8] pokazałem możliwość uzyskiwania formy polarnej w PVDF poprzez proces deformacji (rozciągania). W tym okresie uczestniczyłem też aktywnie w pracach o charakterze konstruktorskim, mających na celu udoskonalanie istniejącej aparatury w kierunku stworzenia nowych możliwości pomiarowych, zgodnie z profilem prac prowadzonych w Pracowni Fizyki Polimerów. Rezultatem tej aktywności było zbudowanie nowych przyrządów badawczych według własnych projektów, pomiędzy którymi są oryginalne rozwiązania podlegające ochronie patentowej [PD10, PD11].

- [PD1] Sajkiewicz P., Rozciąganie folii polietylenu o bardzo dużej masie cząsteczkowej, *Polimery*, **36** (1991), 245-250
- [PD2] Sajkiewicz P., Immiscible Polymer Additives in Melt Spinning. I. Phenomenon and Explanation, *America's Textiles International - Fiber World*, no.11, (1990), FW2 - FW4
- [PD3] Mirosławska M., Sajkiewicz P., Immiscible Polymer Additives in Melt Spinning. II. Mechanical Properties of Fibers, *America's Textiles International - Fiber World*, no.3, (1991), FW2 - FW6
- [PD4] Sajkiewicz P., Effects of Electrostatic Field on Crystallization of Poly(vinylidene fluoride), *Journal of Polymer Science, Polymer Physics Edition*, **32** (1994), 313-323
- [PD5] Wasiak A., Sajkiewicz P., Polarizing Microscope for Studies of the Effects of Electric Field on Crystallization of Polymers, *Optical Engineering*, **34** (1995), 3393-3397
- [PD6] Sajkiewicz P., Phillips P.J., Peroxide Crosslinking of Linear Low Density Polyethylenes with Homogeneous Distribution of Short Chain Branching, *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Ed.*, **33** (1995), 853
- [PD7] Sajkiewicz P., Phillips P.J., The Changes in Sol Fraction during Peroxide Crosslinking of Linear Low Density Polyethylenes with Homogeneous Distribution of Short Chain Branching, *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Ed.*, **33** (1995), 949-955
- [PD8] Sajkiewicz P., Wasiak A., Gocłowski Z., Phase Transition during Stretching of Poly(vinylidene Fluoride), *European Polym. J.*, **35** (1999), 423 - 429
- [PD9] Grębowicz J.S., Brown H., Chuah H., Olvera J.M., Wasiak A., Sajkiewicz P., Ziabicki A., Deformation of Undrawn Poly(trimethylene terephthalate) (PTT) Fibers, *Polymer*, **42** (2001), 7153 - 7160

[PD10] Wasiak A., Sajkiewicz P., Zawadzki Z., Urządzenie do badań przemian strukturalnych polimerów pod naprężeniem, Patent 161 567, 1994

[PD11] Zawadzki Z., Sajkiewicz P., Wasiak A., Urządzenie do rozciągania próbek polimerów badanych metodą mikroskopii optycznej, Patent 182 309, 2002

Problematyka związana z habilitacją i późniejszymi badaniami

Kontynuując badania krystalizacji polimerów, skoncentrowałem się w tym okresie na analizie kinetyki krystalizacji, zarówno w warunkach izo- jak i nieizotermicznych. Wykorzystanie różnych metod badawczych - kalorymetrii różnicowej, mikroskopii optycznej oraz szerokokątowej dyfrakcji promieni rentgenowskich, pozwoliło na uzyskanie pełnego opisu kinetyki krystalizacji. Prowadzone przeze mnie prace doprowadziły do wniosku, iż w przypadku polimerów, kinetyka krystalizacji nie może być opisywana tradycyjnymi modelami stacjonarnymi czy quasi-stacjonarnymi, stosowanymi zwykle do opisywania przemian w materiałach małowcząsteczkowych. Rozprawa habilitacyjna pod tytułem „Kinetyka niestacjonarnej krystalizacji polimerów” [H1] obroniona w roku 2005 stanowi próbę zastosowania do opisu kinetyki krystalizacji polimerów nowego, niestacjonarnego modelu, w którym uwzględnione są efekty zależne od czasu. W tradycyjnym podejściu do krystalizacji nieizotermicznej wykorzystuje się wyniki badań kinetyki uzyskane w warunkach izotermicznych, a więc takich, które istotnie odbiegają od rzeczywistych warunków przetwórstwa polimerów. Opisują one poprawnie przemianę w substancjach małowcząsteczkowych, ale nie pozwalają na właściwy opis krystalizacji w przypadku materiałów o długich łańcuchach - polimerów. Poznanie mechanizmu procesu krystalizacji, a także specyfiki jej przebiegu w warunkach odpowiadających warunkom przetwórstwa jest zasadniczym krokiem na drodze do przewidywania struktury i właściwości materiału.

Badania doświadczalne w ramach pracy habilitacyjnej prowadzono przy zastosowaniu kalorymetrii różnicowej (DSC) uzupełnionej pomiarami mikroskopowymi. Zastosowanie DSC jako podstawowej metody badań umożliwiło wykonanie pomiarów kinetyki przemiany z dużą częstością próbkowania, rzędu kilku punktów na sekundę, nieosiągalną innymi technikami. Mikroskopia optyczna jako metoda uzupełniająca umożliwiła bezpośrednie pomiary szybkości zarodkowania i wzrostu sferolitów. Niezależna informacja o szybkości zarodkowania i wzrostu oraz geometrii powstających krystalitów pozwoliła na fizyczną interpretację krzywych kinetyki krystalizacji uzyskanych metodą DSC. Badania prowadzono wykorzystując polimery o różnej zdolności do krystalizacji (polietylen, polipropylen, polifluorek winylidenu, politereftalan etylenowy). Do analizy uzyskanych wyników badań kinetyki krystalizacji użyto kilku modeli, ze szczególnym uwzględnieniem modelu niestacjonarnego, opracowanego przez profesora Andrzeja Ziabickiego, w którym uwzględnione są efekty relaksacyjne w zarodkowaniu termicznym oraz zarodkowanie atermiczne.

Wyniki uzyskane w rozprawie habilitacyjnej wskazują na dużą złożoność krystalizacji polimerów, będącej superpozycją różnych mechanizmów zarodkowania. Wykazałem, iż w procesie krystalizacji polimerów istotne są efekty relaksacyjne w zarodkowaniu termicznym oraz zarodkowanie atermiczne, prowadzące do zależności szybkości krystalizacji od szybkości zmian temperatury. Wyznaczona w pracy z pomiarów nieizotermicznych stacjonarna szybkość krystalizacji jest zgodna z szybkością krystalizacji izotermicznej jedynie w zakresie wysokich temperatur. Zaproponowałem procedury pozwalające wyznaczać charakterystyki kinetyczne krystalizacji z eksperymentów prowadzonych w warunkach nieizotermicznych. W oparciu o wykonane pomiary doświadczalne wyznaczyłem w pracy charakterystyki kinetyczne krystalizacji dla różnych polimerów na gruncie modelu niestacjonarnego. Wyniki jednoznacznie wskazują na konieczność uwzględniania zależności szybkości krystalizacji od szybkości stygnięcia przy matematycznym modelowaniu procesów technologicznych. Wykonane w ramach rozprawy habilitacyjnej badania kinetyki krystalizacji pozwalają również odnieść się do typowych procedur analizy stosowanych w badaniach krystalizacji z wykorzystaniem modeli stacjonarnych.

Wyniki związane z tematyką pracy habilitacyjnej stanowiły przedmiot szeregu publikacji i wystąpień konferencyjnych [np. H2 – H6].

Bezpośrednio po uzyskaniu habilitacji kontynuowałem prace w obszarze badań krystalizacji polimerów, zajmując się zarówno kinetyką jak i powstającą strukturą polimerów częściowo-kryształicznych [H7-H10]. W prowadzonych badaniach wykorzystywałem przede wszystkim polihydroksymaślan (PHB) [H8-H10], odznaczający się bardzo dużym stopniem czystości, co umożliwia analizowanie krystalizacji zachodzącej praktycznie wyłącznie w warunkach nukleacji homogenicznej. W badaniach tych wykazałem po raz pierwszy istnienie efektów relaksacyjnych w krystalizacji izotermicznej, wyznaczając charakterystyczne czasy relaksacji w funkcji temperatury krystalizacji. Z kolei w pracy [H7] wykazałem, prowadząc badania metodą dyfrakcji rentgenowskiej, istnienie struktur pośrednich (mezofazowych) w tak popularnych materiałach polimerowych jak polietylen. W okresie tym rozszerzyłem obszar zainteresowań na powszechne w polimerach, a nie do końca wyjaśnione, zjawisko polimorfizmu. Prowadzone przeze mnie badania doświadczalne wsparte symulacjami numerycznymi w oparciu o model przejść fazowych w układach wieloskładnikowych zaproponowany przez profesora Andrzeja Ziabickiego wykazały, iż pojawianie się odmian polimorficznych w polimerach wiąże się często z ich metastabilnością. Przykładem może być tu forma beta w izotaktycznym polipropylenie, która, jak wykazałem, w żadnym zakresie temperaturowym nie jest termodynamicznie stabilna, a mimo to pojawia się przejściowo ze względów wyłącznie kinetycznych (małe napięcia powierzchniowe). Wykazanie tego na gruncie doświadczalnym wymagało zastosowania szczególnych technik pomiarowych, pozwalających na bardzo krótkie czasy rejestracji aktualnych stanów badanego materiału, co w konsekwencji umożliwiało analizę kinetyki z udziałem faz metastabilnych, istniejących w materiale w krótkim okresie czasu. Jedną z tych metod była dyfrakcja promieni rentgenowskich prowadzona w DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) w Hamburgu z wykorzystaniem synchrotronowego źródła promieniowania, pozwalającego na znaczne skrócenie czasu ekspozycji, a w rezultacie efektywną analizę kinetyki krystalizacji badanych przemian fazowych. Część wyników dotyczących polimorfizmu w krystalizacji polimerów i związanej z nim często metastabilności prowadziłem wykorzystując kalorymetr skonstruowany przez grupę profesora Ch. Schicka w Rostocku, umożliwiający badania przemian fazowych przy ultraszybkich zmianach temperatury, sięgających wartości rzędu 10^6 K/s, nieosiągalnych w konwencjonalnych przyrządach. Zastosowanie ultraszybkiego chłodzenia stopu polimerowego pozwoliło na analizę kinetyki krystalizacji odmian polimorficznych, pojawiających się w stosunkowo niskich temperaturach, bez zachodzenia wcześniejszej krystalizacji odmian wysokotemperaturowych. Wyniki dotyczące polimorfizmu w krystalizacji polimerów i związanej z tym metastabilności zawarto w publikacjach [H11 – H13]. Prowadziłem też próby wprowadzenia do analizy szybkich procesów krystalizacji metody pomiarów intensywności światła depolaryzowanego. Badania te pozostają jednak wciąż w fazie wstępnej - wymagały one zbudowania nowego układu pomiarowego oraz jego starannego ilościowego przetestowania, co częściowo stanowiło przedmiot dwustronnej współpracy naukowej pomiędzy Polską Akademią Nauk i Narodową Akademią Nauk Ukrainy w latach 2006 – 2014 [H14, H15].

Począwszy od 2008 roku, moja aktywność naukowa przenosi się stopniowo na zagadnienia związane ze strukturą i właściwościami polimerów do zastosowań biomedycznych, w szczególności związanych z ich wykorzystaniem jako rusztowań (ang. scaffolds) w inżynierii tkankowej do regeneracji tkanek. Taka zmiana tematyki w stronę bardziej aplikacyjną wymagała z mojej strony dużego wysiłku natury organizacyjnej - stworzenia silnej grupy naukowo-badawczej skoncentrowanej na tej tematyce, nawiązania współpracy z Instytutami tworzącymi kampus Bio-Centrum Ochota w Warszawie oraz innymi grupami wewnątrz IPPT PAN (grupa prof. dr hab. Tomasza Kowalewskiego), jak również rozbudowy odpowiedniego zaplecza aparaturowego. W tym czasie objąłem funkcję koordynatora projektu Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii w IPPT PAN (CePT), kierownika Laboratorium Środowiskowym Materiałów Wielofunkcyjnych IPPT PAN i Przewodniczącego Rady Programowej tego Laboratorium, członka Rady Programowej Laboratorium Modelowania i Obrazowania w Biomechanice IPPT PAN oraz kierownika Pracowni Fizyki Polimerów, która w tym czasie powiększyła się do 10 osób, a jej profil zmienił się znacząco w kierunku badań interdyscyplinarnych, uwzględniających interakcje biodegradowalnych materiałów polimerowych z żywymi komórkami w warunkach in-vitro. Jako metodę formowania rusztowań polimerowych wybrałem technikę przedzenia w polu elektrycznym, pozwalającą na uzyskiwanie struktur nano- i submikrowłóknistych o architekturze przypominającej naturalną macierz

zewnątrzkomórkową (ECM). Pierwsze prace prowadziłem na syntetycznych polimerach biodegradowalnych (poliestry alifatyczne), koncentrując się na aspektach metodologicznych, związanych ze specyfiką badań strukturalnych włóknistych obiektów w skali submikronowej i nanoskopowej. W pracy [H16] zaproponowałem procedury eksperymentalne pozwalające na wykorzystanie mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego do ilościowej oceny orientacji molekularnej elektroprzędzonych włókien submikronowych. Zastosowanie tej metody w odniesieniu do włókien formowanych metodą elektroprzędzenia jest nowatorskie, umożliwiając analizę struktury pojedynczych włókien. Zdecydowana większość badań, zarówno struktury jak i właściwości włókien formowanych metodą elektroprzędzenia, odbywa się na włókninach, przynosząc informacje wyłącznie uśrednione. W przypadku badania orientacji molekularnej, istotnej chociażby z perspektywy właściwości mechanicznych, uzyskiwanie informacji przy badaniu całych włóknin wymaga równoległego ułożenia włókien, co można osiągnąć tylko przy specyficznych metodach ich odbioru, np. stosując rotujący kolektor. Uzyskiwane w ten sposób dane obarczone są jednak błędem związanym z niedoskonałością wzajemnego ułożenia włókien we włókninie. W pracach prowadzonych na jednoskładnikowych układach polimerowych (polimery syntetyczne) interesowało mnie zbadanie wpływu wybranych parametrów elektroprzędzenia na morfologię i strukturę uzyskiwanych włókien. W literaturze istnieje stosunkowo dużo danych na ten temat, często jednak pokazujących niejednoznaczne, a czasem nawet sprzeczne trendy. Wykazałem między innymi znikomy wpływ przykładowego napięcia na grubość powstających włókien, co wynika z istnienia przeciwnych efektów - zmniejszenia grubości związanego ze wzrostem oddziaływania pola oraz zwiększenia grubości wynikającego ze zwiększenia ilości roztworu polimerowego wpływającego z podajnika. W pracach z moim udziałem [np. 17] pokazałem z kolei istotność dla morfologii włókien innych niż napięcie parametrów elektroprzędzenia, takich jak stężenie roztworu.

Aplikacyjna perspektywa badanych materiałów implikuje konieczność zwiększenia ich aktywności biologicznej względem żywych komórek. W prowadzonych przeze mnie pracach badawczych zostało to osiągnięte poprzez elektroprzędzenie z roztworu mieszanin polimerów syntetycznych i polimerów naturalnych takich jak żelatyna, które mają specyficzną sekwencję aminokwasów RGD, stanowiącą miejsca efektywnej adhezji komórek. Dodatek żelatyny w odpowiedniej proporcji, co pokazaliśmy w pracy [H18] silnie zwiększa też hydrofilowość rusztowań, sprzyjając tym samym lepszej zwilżalności materiału i adhezji komórek. W mojej bieżącej działalności naukowej koncentruję się na kwestiach specyficznych dla układów polimer syntetyczny – polimer naturalny. Pierwszą z nich jest często pojawiająca się w takich układach bardzo ograniczona mieszalność czy wręcz niemieszalność obu składników polimerowych. W pracy [H19] dokonaliśmy systematycznych badań zakresu mieszalności w badanym układzie materiałowym polikaprolakton – żelatyna. Drugą istotną kwestią natury praktycznej, występującą często dla układów polimer syntetyczny – polimer naturalny jest potrzeba stosowania mocnych rozpuszczalników, o dużej toksyczności dla samego operatora procesu formowania rusztowań oraz cytotoksyczności w przypadku niecałkowitego odparowania rozpuszczalnika z włókniny. W pracy [H20] zaproponowaliśmy jako pierwsi zastosowanie alternatywnych rozpuszczalników w procesie przędzenia w układzie PCL – żelatyna w miejsce powszechnie używanych silnie toksycznych alkoholi perfluorowanych. Uzyskane w takim układzie materiałowym wyniki są bardzo zachęcające z perspektywy aplikacyjnej, wpisując się w nurt „green technology”. Materiały te odznaczają się specyficzną strukturą, a w konsekwencji właściwościami, co wymaga dalszych szczegółowych badań (w toku).

[H1] Sajkiewicz P., Kinetyka niestacjonarnej krystalizacji polimerów, *Prace IPPT*, 3/2003, 1-112

[H2] Sajkiewicz P., Steady-state Process and Time Dependent Effects in Non-isothermal crystallization of Poly(vinylidene Fluoride), *Polymer*, 40, (1999), 1433-1440

[H3] Wasiak A., Sajkiewicz P., Woźniak A., Effects of Cooling Rate on Crystallinity of Polypropylene and Polyethylene Terephthalate Crystallized in Non-Isothermal Conditions, *J.Polym.Sci.*, 37, (1999), 2821 – 2827

[H4] Sajkiewicz P., Kinetyka krystalizacji polimerów, *Polimery*, 46 (2001), 764 – 772

[H5] Sajkiewicz P., Transient and Athermal Effects in Crystallization of Polymers. I. Isothermal Crystallization", *J. Polym.Sci., Phys. Ed. J.Polym.Sci., Phys. Ed.*, 40, (2002), 1835-1849

- [H6] Sajkiewicz P., Transient and Athermal Effects in Crystallization of Polymers. II. Non-isothermal Crystallization", *J. Polym.Sci., Phys. Ed.*, 41, (2003), 68 --79
- [H7] Sajkiewicz P., Hashimoto T., Saijo K., Gradys A., „Intermediate Phase” in Poly(ethylene) as Elucidated by the WAXS. Analysis of Crystallization Kinetics., *Polymer*, 46, (2005), 513-521
- [H8] Di Lorenzo ML, Sajkiewicz P, La Pietra P, Gradys A., “Irregularly shaped DSC exotherms in the analysis of polymer crystallization”, *Polymer Bulletin*, 57 (2006), 713-721
- [H9] Di Lorenzo M.L., Sajkiewicz P., Gradys A., La Pietra P., „Optimization of Melting Conditions for the Analysis of Crystallization Kinetics of Poly(3-Hydroxybutyrate)”, *E-Polymers*, 9, 2009, 313-324
- [H10] Sajkiewicz P., Di Lorenzo M.L., Gradys A., „Transient Nucleation in Isothermal Crystallization of Poly(3-Hydroxybutyrate)”, *E-Polymers*, 9, 2009, 1017-1032
- [H11] Gradys A., Sajkiewicz P., Minakov A.A., Adamovsky S., Schick C., Hashimoto T., Saijo K., Crystallization of polypropylene at various cooling rates, *Materials Science and Engineering, A – Structural Materials Properties, Microstructure and Processing*, 413:, (2005), 442-446
- [H12] Gradys A., Sajkiewicz P., Adamovsky S., Minakov A., Schick C., „Crystallization of Poly(Vinylidene Fluoride) During Ultra-Fast Cooling”, *Thermochim. Acta*, 461, 2007, 153-157
- [H13] Sajkiewicz P., Gradys A., Ziabicki A., Misztal-Faraj B., „On the Metastability of Beta Phase in Isotactic Polypropylene: Experiments and Numerical Simulation”, *E-Polymers*, 10, 2010, 1398-1417
- [H14] Misztal-Faraj B., Sajkiewicz P., Savytskyy H., Bonchuk O., Gradys A., Ziabicki A., „Following Phase Transitions By Depolarized Light Intensity. The Experimental Setup”, *Polymer Testing*, 28, 2009, 36-41
- [H15] Sajkiewicz P., Gradys A., Misztal-Faraj B., „Quantitative Analysis Of Crystallization Kinetics By Light Depolarization Technique. Possibilities And Limitations”, *European Polymer Journal*, 46, 2010, 2051-2062
- [H16] Kołbuk D., Sajkiewicz P., Kowalewski T.A., Optical birefringence and molecular orientation of electrospun polycaprolactone fibers by polarizing-interference microscopy, *European Polymer Journal*, 48, 2012, 275-283
- [H17] Kolbuk D., Guimond-Lischer S., Sajkiewicz P., Maniura-Weber K., Fortunato G., The Effect of Selected Electrospinning Parameters on Molecular Structure of Polycaprolactone Nanofibers, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 64, 2015, 365 – 377
- [H18] D. Kołbuk, P. Sajkiewicz, K. Maniura-Weber, G. Fortunato, „Structure and Morphology of Electrospun Polycaprolactone/Gelatine Nanofibres”, *European Polymer Journal*, 49, 2013, 2052–2061
- [H19] D. Kołbuk, P. Sajkiewicz, P. Denis, E. Choińska, „Investigations of Polycaprolactone/Gelatine Blends in Terms of their Miscibility”, *Bulletin Of The Polish Academy of Sciences, Technical Sciences*, 61, 2013, 629-632
- [H20] Denis P., Dulnik J., Sajkiewicz P., Electrospinning of bicomponent polycaprolactone/gelatin nanofibers using alternative solvent system, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 64, 2015, 354-364

b) Osiągnięcia w zakresie opieki naukowej i kształcenia młodej kadry, w tym informacje o zakończonych nadaniem stopnia przewodach doktorskich, w których osoba ta uczestniczyła w charakterze promotora lub promotora pomocniczego, otwartych przewodach doktorskich, w których uczestniczy w charakterze promotora, oraz sporządzonych recenzjach w przewodach doktorskich, przewodach habilitacyjnych lub postępowaniach habilitacyjnych

Moja aktywność w zakresie opieki naukowej i kształcenia młodej kadry rozpoczęła się już w okresie pracy na Politechnice Warszawskiej (1982 – 1984), kiedy to prowadziłem zajęcia dydaktyczne ze studentami w wymiarze 30 godzin w semestrze letnim roku akademickiego 1983/84 (pierwszy rok wydziału Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej, laboratorium materiałoznawstwa). W tym czasie opiekowałem się też studentem piszącym pracę magisterską z zakresu struktury i właściwości materiałów magnetycznie twardych typu Alnico.

W czasie pracy w IPPT PAN, już po obronie pracy doktorskiej i powrocie ze stażu post-doktorskiego USA, prowadziłem w latach 1995 – 2000 ze strony IPPT PAN prace magisterskie studentów Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej (Z. Gocłowski, M. Frunze, D. Kukła, M. Boguszewski, A. Gradys).

Dotychczas byłem promotorem dwóch obronionych prac doktorskich:

- Arkadiusz Gradys, temat „Przemiany polimorficzne w substancjach małowcząsteczkowych i polimerach”, otwarcie przewodu 2005, praca obroniona 19.11.2010.
- Dorota Kołbuk, temat „Wpływ warunków elektroprzędzenia na strukturę i właściwości jedno- i dwuskładnikowych nanowłókien polimerowych stosowanych w inżynierii tkankowej”, otwarcie przewodu 06.2010, praca obroniona 28.02.2013.

Obecnie jestem konsultantem przygotowywanej pracy doktorskiej, a jednocześnie opiekunem naukowym z ramienia IPPT PAN Pana mgr inż. MohammadSaeid Enayati, doktoranta na Politechnice w Isfahanie, Iran. Pobyt naukowy mgr inż. MohammadSaeid Enayati planowany jest w IPPT PAN w okresie 1.06-31.12.2015. Tytuł rozprawy “Fabrication, Characterization, and Mechanical Analysis of Polyvinyl Alcohol/NanoHydroxy Apatite Electrospun BioComposite Scaffolds Reinforced by Cellulose NanoFibers for Bone Tissue Engineering ”, promotorem jest dr Tayebbeh Behzad.

Dotychczas wykonałem recenzje trzech prac doktorskich i jednej habilitacyjnej:

- Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Jacka Michniowskiego pt. „Faza krystaliczna polipropylenu i kompozytu polipropyleń-włókno szklane w świetle badań metodą EPR”, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Instytut Fizyki, Politechnika Częstochowska, promotor Prof. dr hab. Włodzimierz Zapart, 2007
- Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Sobocińskiej nt. „Struktura i właściwości mieszanin biodegradowalnego poliestru z poliolefinami”, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, promotor Prof. dr hab. inż. Józef Garbarczyk, 2011
- Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Patrycji Kurtycz pt. „Otrzymywanie i charakterystyka nanokompozytowych włókien polilaktyd/Al₂O₃ i polilaktyd/Al₂O₃ – Ag wytworzonych metodą elektroprzędzenia”, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, promotor Prof. dr hab. inż. Andrzej R. Olszyna, 2013
- Recenzja rozprawy habilitacyjnej „Zbadanie zjawiska kawitacji występującego w polimerach częściowo krystalicznych poddawanych odkształceniu w stanie stałym” oraz dorobku naukowego dr inż. Andrzeja Pawlaka z Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi

W latach 2011 - 2014 prowadziłem w IPPT PAN coroczne miesięczne praktyki studenckie. Zakres prac związany był z badaniami procesu elektroprzędzenia nanowłókien polimerowych oraz struktury i właściwości tych materiałów, włączając w to elementy badań biologicznych in vitro zachowania się komórek na formowanych włókninach:

- Aleksandra Purgał (Wydział Mechatroniki PW), 2011
- Anna Czarnota (Międzyuczelniany Wydział Biotechnologii Uniwersytetu Gdańskiego i Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego), 2011
- Wojciech Woźniak (Wydział Fizyki PW), 2011,
- Justyna Kuć (Wydział Chemii PW),
- Emilia Siwiec (Wydział Chemii PW),
- Katarzyną Ćwiek, (Wydz. Fizyki UW), 2014
- Magda Jaworowska, 2014

Od roku 2010 prowadzę coroczne trzygodzinne wykłady, połączone z zajęciami laboratoryjnymi dla studentów Wydziału Nauk o Żywności Szkoły Głównej Gospodarstwa

Wiejskiego w Warszawie. Tematyka wykładów dotyczy zastosowania różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC) do badań materiałów.

Ponadto, w roku 2014 prowadziłem dwugodzinny wykład dla studentów, doktorantów i pracowników Wydziału Inżynierii Produkcji PW zatytułowany „Elektroprzędzenie jako metoda formowania nanowłókien polimerowych”. Pozostaję w ścisłym kontakcie z członkami Studenckiego Koła Naukowego Biomechaniki i Inżynierii Biomechanicznej „Biomech” Wydziału Inżynierii Produkcji PW, służąc im jako konsultant w zagadnieniach związanych z elektroprzędzeniem nanowłókien polimerowych (spotkania/konsultacje w IPPT PAN).

Począwszy od okresu studiów doktoranckich w IPPT PAN aktywnie uczestniczę w seminariach Pracowni Fizyki Polimerów i Zakładu Teorii Ośrodków Ciągłych IPPT PAN. Od roku 2010 prowadzę również seminarium Laboratorium Środowiskowego Materiałów Wielofunkcyjnych IPPT PAN.

c) działalność popularyzująca naukę

Począwszy od roku 2010 aktywnie uczestniczę w Festiwalach Nauki – prowadzę wykłady oraz zajęcia laboratoryjne - pokazy dla młodzieży szkół podstawowych, gimnazjów oraz liceów:

- Udział w XIV Festiwalu Nauki w IPPT PAN, wykłady i zajęcia laboratoryjne pt. „W świecie kryształów polimerowych”, 20.09.2010;
- Udział w XV Festiwalu Nauki w IPPT PAN, wykłady i zajęcia laboratoryjne pt. „W świecie kryształów polimerowych” oraz „Nanowłókna polimerowe jako materiały do regeneracji tkanek”, 20.09.2011;
- Udział w XVI Festiwalu Nauki w IPPT PAN, wykłady i zajęcia laboratoryjne pt. „W świecie kryształów polimerowych” oraz „Nanowłókna jako podłoża komórkowe”, 28.09.2012;
- Udział w XVII Festiwalu Nauki w IPPT PAN, wykłady i zajęcia laboratoryjne pt. „W świecie kryształów polimerowych” oraz „Dlaczego komórki lubią nanowłókna polimerowe”, 26.09.2013, 27.09.2013;
- Udział w XVIII Festiwalu Nauki w IPPT PAN, wykłady i zajęcia laboratoryjne pt. „Małe i piękne - kryształy polimerowe”, „Dlaczego komórki lubią nanowłókna polimerowe” oraz „Superwytrzymałość w nanoskali”, 25.09.2014.

Summary of professional accomplishments

I will discuss in chronological order my scientific achievements with references to the most important publications, or with my significant share.

The course of scientific work

a) Scientific Achievements

MSc studies and the period immediately after it

I have graduated the Institute of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, with a very good note in 1982, presenting a thesis "The study of crystallization processes and structures of oligoestrodioles in terms of cracking" (supervisor dr. Irma Gruin) and receiving the MSc diploma in the field of materials science. Master's thesis was awarded at the Institute of Materials Science and Engineering, and the results were published in [M1]. In the last period of the study, in February 1982, I received a special award of Scientific Secretary of the Polish Academy of Sciences for excellent academic performance and successful activity in the student scientific movement.

Immediately after graduating in October 1982, I started working as a materials technologist at the Institute of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, in the Crystallization Group, headed by prof. dr hab. Stefan Wojciechowski. My professional activity was focused on the studies of the structure and properties of permanent magnetic materials Alnico type. An important part of the study was related to the analysis of the effect of thermo - magnetic conditions on the structure and magnetic properties. Additionally, part of my work has been aimed on increase of the ductility and machinability of the permanent magnetic materials Alnico type [M2]. At that time, I actively participated in the realization of a number of implementation agreements with industry (Steelworks "Baildon", PBG Geophysical Exploration). At the time of employment at the Warsaw University of Technology, I wrote also a number of papers on the conditions and prospects for development of various materials [e.g. M3 – M5].

[M1] Gruin I., Wasiak A., Sajkiewicz P., Defects, Conditions of Formation and Structure of Spherulites in Oligoethylene Adipate and its Urethane Prepolymers (in Russian), Polymer Science, Series A. Polymer Physics (former Vysokomolekuljarnyje sojedinienia), A28, (1986), 799-804

[M2] Sajkiewicz P., Plastic Processing of the Alnico Hard Magnetic Materials - its Effect on Structure, Magnetic and Mechanic Properties, (in Polish), Inzynieria Materiałowa, 4, (1983), 159-163

[M3] Sajkiewicz P., Premises and Conditions of Development of Material Properties, (in Polish), Gospodarka Materiałowa, 36, (1984), 237-241

[M4] Sajkiewicz P., Development of Metallic Materials and Technology of their Utilization, (in Polish), Gospodarka Materiałowa, 36, (1984), 272-275

[M5] Sajkiewicz P., Plastics as Metal Substitutes – Present and Future (in Polish) , Gospodarka Materiałowa, 39, (1987), 169-171

The issues related to the doctorate

In 1984 I began PhD studies at the Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences, starting with research work on the phase transitions of polymers in external potential fields. The subject of the PhD thesis, written under the guidance of Prof. dr hab. Andrzej Ziabicki, has been concentrated on the analysis of the changes of crystallite orientation distribution during melting of polymers. The phase transitions of polymers are accompanied by the phenomena that are absent or only weakly indicated in the low molecular weight substances. Of particular importance are the effects of the orientation related to non-spherical aggregating elements - a polymer chain segments. According to theoretical predictions, the consequence of orientational restrictions in the process of polymer crystallization should be a dependence of critical temperature on the

orientation. One of the expected results of such dependence should be a selective process of melting, leading to a narrowing of the distribution of crystallite orientation during melting. PhD thesis included experimental studies of crystallite orientation changes during melting of oriented ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE, 3.7×10^6), kept under different mechanical constraints. Investigations were performed using wide angle X-ray diffraction method. The results obtained in the PhD thesis clearly indicate the existence of the process of selective melting. I have shown that the effective crystallite orientation distribution changes during melting depend on external mechanical constraints, introducing an additional opportunity to increase molecular orientation (high stress conditions) or its relaxation under low external stresses.

PhD thesis "Changes in the distribution of crystal orientation in the process of melting of polyethylene under stress" [1] was defended in 1989 at the IPPT PAN with a very good note. The results of PhD Thesis were published in [e.g. D2-D6], and presented at conferences [e.g. D7]. Separate publications were devoted to methodological aspects related to the analysis of the diffraction profiles [e.g. D8].

[D1] Sajkiewicz P., Changes of Orientation Distribution of Polyethylene Crystallites during Melting under Stress (in Polish), IPPT Reports, 12/1989, 1-134

[D2] Sajkiewicz P., Oriented, Ultra High Molecular Weight Polyethylene. Formation of Films and Preliminary Structural Studies (in Polish), Polimery, 33, (1988), 220-224

[D3] Sajkiewicz P., Effects of Mechanical Constraints on Orientation Distributions of Polyethylene Crystallites during Melting (in Polish), IPPT Reports, 26/1990, 63-98

[D4] Wasiak A., Sajkiewicz P., Orientation Distributions and Melting Behaviour of Extended and Folded-chain Crystals in Gel-drawn, Ultra-high-molecular Weight Polyethylene, Journal of Material Science, 28 (1993), 6409-6417

[D5] Ziabicki A., Sajkiewicz P., Crystallization of Polymers in Variable External Conditions. III. Experimental Determination of Kinetic Characteristics, Colloid & Polymer Sci., 276, (1998), 680-689

[D6] Sajkiewicz P., Wasiak A., Crystallite Orientation during Melting of Oriented Ultra High Molecular Weight Polyethylene, Colloid Polym. Sci., 277, (1999), 646 – 657

[D7] Sajkiewicz P., Wasiak A., Orientation Distributions of (110) and (200) Planes during Melting of Drawn UHMW Polyethylene, 19-the Europhysics Conference on Macromolecular Physics. Polymer crystals-morphology, kinetics and applications, Gargnano, Italy, 19-24 June 1988. Europhysics Conference Abstract, pp.99-100

[D8] Sajkiewicz P., Wasiak A., Approximation of Pole Figures for the Determination of Crystal Orientation in Polymeric Solids, Journal of Applied Crystallography, 23, (1990), 88-93

The issues taken in the post-doctoral period

Taking the experience and results gathered during PhD research, I have taken investigations of the effect of the conditions of film formation by gel method and subsequent stretching on the structure of ultra high molecular weight polyethylene [PD1]. The obtained results allowed to determine the critical concentration of polyethylene in decalin, above which effective network by the tangled polymer chains is formed, which can then be subjected to stretching. In post-doctoral period I also published a series of papers devoted to the mechanisms of the influence of immiscible additives on fiber spinning process and the resulted mechanical properties [PD2, PD3]. This problem is relevant from the point of view of industrial practice of spinning polymer fibers.

In the following years I continued to work in the area of phase transitions occurring in the potential fields, focusing on the effect of the electric field on crystallization process. The investigated material was polyvinylidene fluoride (PVDF), forming different crystal modifications, including polar modification with a permanent polarization. The results of the experiments confirmed the predictions of theory, according to which the crystallization rate increases for polar form, and decreases for a non-polar form with increasing electric field strength [e.g. PD4]. A separate publication was devoted to the technical aspects of microscopic setup arranged to the measurements of phase transitions in electric fields [PD5].

After the invitation by Professor Paul J. Phillips, I worked in 1993-94 as a research associate in his team at the Department of Materials Science and Engineering at the University of Tennessee in Knoxville, USA. Most of my professional activity was devoted to the studies of crosslinkability using dicumyl peroxide of polyethylenes with short branches (linear low density polyethylenes), synthesized using Ziegler-Natta catalysts. Such a synthesis method leads to a polyethylene with a narrow molecular weight distribution. At that time, virtually no information was available on crosslinkability of this type of polyethylenes. A measure of the importance of this work for the industry is the fact that it was commissioned by large industrial companies - Dow Chemical and Exxon. In addition to the results of strictly utilitarian, designed for industrial customers, the result of this research was scientific publications [e.g. PD6, PD7], in which the possible crosslinking mechanisms of this type of LLDPE's were shown. During my stay at the University of Tennessee, I gave lectures on crystallization of polymers under electric fields.

After returning to Poland in 1994, I have continued the study of the effect of deformation on the structure and properties of polymers, resulting in a number of publications [e.g. PD8, PD9]. I have demonstrated possibility of formation of polar phase in PVDF by deformation (elongation) at particular conditions. During this period, I have also participated actively in the works of constructional nature, aimed at upgrading of existing instruments, to develop new measurement capabilities, according to the profile of the work carried out in the Laboratory of Polymer Physics. The result of this activity was to build a new research instruments according to the own projects, among which there are the original patent protected solutions [PD10, PD11].

[PD1] Sajkiewicz P., Drawing of Ultra High Molecular Weight Polyethylene films (in Polish), *Polimery*, **36** (1991), 245-250

[PD2] Sajkiewicz P., Immiscible Polymer Additives in Melt Spinning. I. Phenomenon and Explanation, *America's Textiles International - Fiber World*, no.11, (1990), FW2 - FW4

[PD3] Mirosławska M., Sajkiewicz P., Immiscible Polymer Additives in Melt Spinning. II. Mechanical Properties of Fibers, *America's Textiles International - Fiber World*, no.3, (1991), FW2 - FW6

[PD4] Sajkiewicz P., Effects of Electrostatic Field on Crystallization of Poly(vinylidene fluoride), *Journal of Polymer Science, Polymer Physics Edition*, **32** (1994), 313-323

[PD5] Wasiak A., Sajkiewicz P., Polarizing Microscope for Studies of the Effects of Electric Field on Crystallization of Polymers, *Optical Engineering*, **34** (1995), 3393-3397

[PD6] Sajkiewicz P., Phillips P.J., Peroxide Crosslinking of Linear Low Density Polyethylenes with Homogeneous Distribution of Short Chain Branching, *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Ed.*, **33** (1995), 853

[PD7] Sajkiewicz P., Phillips P.J., The Changes in Sol Fraction during Peroxide Crosslinking of Linear Low Density Polyethylenes with Homogeneous Distribution of Short Chain Branching, *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Ed.*, **33** (1995), 949-955

[PD8] Sajkiewicz P., Wasiak A., Gocłowski Z., Phase Transition during Stretching of Poly(vinylidene Fluoride), *European Polym. J.*, **35** (1999), 423 - 429

[PD9] Grębowicz J.S., Brown H., Chuah H., Olvera J.M., Wasiak A., Sajkiewicz P., Ziabicki A., Deformation of Undrawn Poly(trimethylene terephthalate) (PTT) Fibers, *Polymer*, **42** (2001), 7153 - 7160

[PD10] Wasiak A., Sajkiewicz P., Zawadzki Z., The Apparatus for Structure Investigations under Stress (in Polish), *Home Patent* 161 567, 1994

[PD11] Zawadzki Z., Sajkiewicz P., Wasiak A., The Apparatus for Drawing of Polymers investigated by Optical Microscopy (In Polish), *Home Patent* 182 309, 2002

Issues related to habilitation and later research

Continuation of the polymer crystallization studies has been oriented in this period to the analysis of crystallization kinetics, both in isothermal and non-isothermal conditions. The use of various experimental techniques - differential scanning calorimetry, light microscopy and wide angle X-ray scattering, allows obtaining a complete description of crystallization kinetics. The results of my

research led to the conclusion that in the case of polymers, crystallization kinetics can not be described by traditional steady-state or quasi-steady-state models, commonly used for phase transitions in the low molecular weight materials. Habilitation "The kinetics of non-steady state crystallization of polymers" [H1] defended in 2005, was an attempt to describe polymer crystallization kinetics using a new, non-steady-state model in which the time-dependent effects are included. In the traditional approach to the non-isothermal crystallization, the results obtained under isothermal conditions are used, i.e. those which differ significantly from the real polymer processing conditions. They describe correctly the transitions of low molecular weight substances, but do not provide correct description of crystallization in the case of materials with long molecules. Understanding the mechanism of the crystallization process, as well as the specifics of its course under the conditions of processing is an essential step for predicting the structure and properties of the real material.

My experimental investigations were performed mostly using differential scanning calorimetry (DSC) supplemented with microscopic measurements. The use of DCS as a primary method enabled the kinetic measurements with a high sampling rate, order of a few points per second, unattainable by other techniques. Optical microscopy as a complementary method allowed direct measurements of the rate of nucleation and growth of spherulites. Independent information about the rate of nucleation and growth of crystallites and their geometry allowed the physical interpretation of crystallization kinetics data obtained by DSC. The results were obtained using polymers with different crystallization ability (polyethylene, polypropylene, polyvinylidene fluoride, polyethylene terephthalate). For the analysis of the crystallization kinetics results several models were used, with particular emphasis on non-steady state model, developed by Professor Andrzej Ziabicki with relaxation effects in thermal nucleation as well as athermal nucleation.

The results obtained during habilitation show the complexity of polymer crystallization, which is a superposition of different nucleation mechanisms. I have shown that the effects of relaxation in the thermal nucleation and athermal nucleation are of utmost importance in crystallization of polymers, leading to the dependence of crystallization rate on the rate of temperature changes. The steady-state crystallization rate determined by me from non-isothermal measurements is consistent with the isothermal crystallization rate only at high temperatures. I have developed the procedures for determination crystallization kinetics from the experiments carried out in non-isothermal conditions. Based on experimental measurements I have determined crystallization kinetic characteristics for different polymers using non-steady state model. The results clearly indicate the need to consider the dependence of crystallization rate on the cooling rate during mathematical modeling of technological processes. The obtained results allow referring to the typical analysis procedures used in crystallization studies using steady-state models. The results related to the habilitation thesis were the subject of a number of publications and conference presentations [e.g. H2-H6].

Directly after the habilitation I have continued investigations of polymer crystallization, dealing with both the kinetics and the resulting structure of partially crystalline polymers [H7-H10]. In these studies, I used primarily polyhydroxybutyrate (PHB) [H8-H10], exhibiting a very high degree of purity, allowing analysis of crystallization occurring almost exclusively in conditions of homogeneous nucleation. I have shown for the first time the existence of relaxation effects in the isothermal crystallization, determining the relaxation times as a function of crystallization temperatures. I have shown additionally using X-ray diffraction technique the existence of the intermediate (mesophase) in such common polymeric materials as polyethylene [H7]. During this period, I expanded the area of interest for polymorphism in polymers, which is quite common and not fully explained phenomenon. The results of my experimental studies supported by numerical simulations based on the model of phase transitions in multicomponent systems proposed by Prof. Andrzej Ziabicki showed that the appearance of polymorphs in polymers is often associated with thermodynamic metastability. An example might be a β form of isotactic polypropylene, which, as I have shown, in any temperature range shows no thermodynamic stability, and yet it appears only temporarily for kinetic reasons. Demonstration of such mechanisms on the basis of experimental results needs the use of specific measurement techniques allowing very short registration times of the current states of the material, which in turn allowed the kinetic analysis involving metastable phases existing in the material for a short period of time. One of these methods was X-ray diffraction carried out at DESY (Deutsches

Elektronen Synchrotron) in Hamburg with the use of synchrotron radiation sources, allowing to shorten the exposure time and, consequently, the effective analysis of crystallization kinetics of phase transitions studied. Part of the results related to the polymorphism and thermodynamic metastability in crystallization of polymers was carried out using calorimeter constructed by a group of Professor Ch. Schick in Rostock, enabling the study of phase transitions during ultrafast changes of temperature, reaching values of the order of 10^6 K/s, unattainable in conventional instruments. The use of ultra-fast cooling of the polymer melt allowed for the analysis of the crystallization kinetics of polymorphs occurring at relatively low temperatures, without overlapping with previous high temperature polymorphs. The results related to the polymorphism and metastability of phases in polymer crystallization were published in [H11 – H13]. Additionally, I attempted to introduce into the analysis of fast crystallization processes depolarized light intensity technique. These studies are, however, still at a preliminary stage – they required building a new measurement system and its careful quantitative testing, which was partly the subject of bilateral scientific cooperation between the Polish Academy of Sciences and the National Academy of Sciences of Ukraine in the years 2006 - 2014 [H14, H15].

Since 2008, my scientific activity shifts towards the issues related to the structure and properties of polymers for biomedical applications, in particular - to their use as scaffolds for tissue engineering (tissue regeneration). Such a change of scientific subject to more application topics required from me an organizational effort towards creating a strong research group focused on this subject, cooperation with institutes within Bio-center Ochota campus in Warsaw and other groups within the IPPT PAN (the group of prof. dr. Tomasz Kowalewski), as well as the development of suitable research instrumentation. At that time, I became the coordinator of the project CePT at the IPPT PAN, the head of the Environmental Laboratory of Multifunctional Materials and the Chairman of the Program Board of this Laboratory, a member of the Program Council of the laboratory for Modeling and Imaging in Biomechanics as well as the Head of the Laboratory of Polymer Physics, which at this time has grown to 10 people, and its profile has changed significantly in the direction of interdisciplinary research, taking into account the interaction of biodegradable polymeric materials with living cells in-vitro conditions. As a method of formation of polymer scaffolds I have chosen spinning technique in the electric field, allowing obtaining nano- and submicron fiber structures with an architecture resembling the natural extracellular matrix (ECM). My initial activity in this area was focused on synthetic biodegradable polymers (aliphatic polyesters), with special emphasis on methodological aspects related to the specific aspects of structure studies of fibrous objects in the submicron- and nanoscopic scale. I have proposed the experimental procedures for application of polarization-interference microscopy to quantitative determination of a molecular orientation of electrospun submicron fibers [H16]. Application of this method to fibers formed by electrospinning is a novel idea, allowing analysis of the structure of the individual fibers. Most studies of both the structure and properties of submicron fibers formed by electrospinning are usually done on nonwovens, bringing information only approximate. In the case of molecular orientation analysis, being essential even from the perspective of mechanical properties, obtaining information from the whole nonwovens requires a parallel arrangement of the fibers, which can be received only by specific methods of fiber collection, e.g. by using a rotating collector. The data obtained in this way, however, are loaded with an error associated with the imperfection of the parallel arrangement of the fibers. During investigations carried out on single-polymer systems (synthetic polymers) I was mostly interested in the analysis of the effect of selected parameters on the morphology and structure of electrospun fibers. In the literature, there is a relatively large amount of data on the subject, but often showing ambiguous and sometimes contradictory trends. I have demonstrated, inter alia, a negligible effect of the applied voltage on the thickness of fibers, which results from the existence of the opposite effects (reduction of the thickness associated with increased interaction with an electric field from one side and increase of the thickness resulting from an increase of the amount of polymer solution coming from the needle from the other side). I have showed in my works [e.g.17] the crucial role for the fiber morphology of other parameters, like solution concentration, than the applied voltage.

Application perspective of investigated materials implies the need to increase their biological activity in relation to living cells. I have reached this goal by solution electrospinning of mixtures of synthetic and natural polymers such as gelatin, which provide a specific amino acid RGD sequence, acting as the points of the effective cell adhesion. The addition of gelatin in the respective proportions

as shown in [H18] strongly increases also the hydrophilicity of the scaffold, favoring thus a better wettability of the material and cell adhesion.

My recent scientific activity is focused on the issues specific for the systems composed of synthetic and natural polymers. The first one, frequently appearing in such systems, is very limited miscibility or even incompatibility of the two polymer components. The paper [H19] was devoted to systematic study of the range of miscibility in the system under study polycaprolactone - gelatine. Another important issue of practical nature, occurring frequently for the systems of synthetic polymer - natural polymer is a need for strong solvents with high toxicity to the operator of scaffolds formation process as well as cytotoxicity in the case of incomplete evaporation of the solvent from the non-wovens. In [H20] I have proposed for the first time the use of alternative solvents in the spinning process of the system PCL - gelatin in place of the commonly used highly toxic perfluorinated alcohols. The results obtained in such a material system are very encouraging from the perspective of the application being a part of the current "green technology" trend. These materials have a specific structure, and consequently the properties, which requires further detailed studies (in progress).

- [H1] Sajkiewicz P., The Kinetics of Non-Steady State Polymer Crystallization (in Polish), IPPT Reports, 3/2003, 1-112.
- [H2] Sajkiewicz P., Steady-state Process and Time Dependent Effects in Non-isothermal crystallization of Poly(vinylidene Fluoride), *Polymer*, 40, (1999), 1433-1440
- [H3] Wasiak A., Sajkiewicz P., Woźniak A., Effects of Cooling Rate on Crystallinity of Polypropylene and Polyethylene Terephthalate Crystallized in Non-Isothermal Conditions, *J.Polym.Sci.*, 37, (1999), 2821 – 2827
- [H4] Sajkiewicz P., Kinetics of Polymer Crystallization (in Polish), *Polimery*, 46 (2001), 764 – 772
- [H5] Sajkiewicz P., Transient and Athermal Effects in Crystallization of Polymers. I. Isothermal Crystallization", *J. Polym.Sci., Phys. Ed. J.Polym.Sci., Phys. Ed.*, 40, (2002), 1835-1849
- [H6] Sajkiewicz P., Transient and Athermal Effects in Crystallization of Polymers. II. Non-isothermal Crystallization", *J. Polym.Sci., Phys. Ed.*, 41, (2003), 68 –79
- [H7] Sajkiewicz P., Hashimoto T., Saijo K., Gradys A., „Intermediate Phase” in Poly(ethylene) as Elucidated by the WAXS. Analysis of Crystallization Kinetics., *Polymer*, 46, (2005), 513-521
- [H8] Di Lorenzo ML, Sajkiewicz P, La Pietra P, Gradys A., “Irregularly shaped DSC exotherms in the analysis of polymer crystallization”, *Polymer Bulletin*, 57 (2006), 713-721
- [H9] Di Lorenzo M.L., Sajkiewicz P., Gradys A., La Pietra P., „Optimization of Melting Conditions for the Analysis of Crystallization Kinetics of Poly(3-Hydroxybutyrate)”, *E-Polymers*, 9, 2009, 313-324
- [H10] Sajkiewicz P., Di Lorenzo M.L., Gradys A., „Transient Nucleation in Isothermal Crystallization of Poly(3-Hydroxybutyrate)”, *E-Polymers*, 9, 2009, 1017-1032
- [H11] Gradys A., Sajkiewicz P., Minakov A.A., Adamovsky S., Schick C., Hashimoto T., Saijo K., Crystallization of polypropylene at various cooling rates, *Materials Science and Engineering, A – Structural Materials Properties, Microstructure and Processing*, 413:, (2005), 442-446
- [H12] Gradys A., Sajkiewicz P., Adamovsky S., Minakov A., Schick C., „Crystallization of Poly(Vinylidene Fluoride) During Ultra-Fast Cooling”, *Thermochim. Acta*, 461, 2007, 153-157
- [H13] Sajkiewicz P., Gradys A., Ziabicki A., Misztal-Faraj B., „On The Metastability of Beta Phase in Isotactic Polypropylene: Experiments and Numerical Simulation”, *E-Polymers*, 10, 2010, 1398-1417
- [H14] Misztal-Faraj B., Sajkiewicz P., Savytskyy H., Bonchuk O., Gradys A., Ziabicki A., „Following Phase Transitions By Depolarized Light Intensity. The Experimental Setup”, *Polymer Testing*, 28, 2009, 36-41
- [H15] Sajkiewicz P., Gradys A., Misztal-Faraj B., „Quantitative Analysis of Crystallization Kinetics By Light Depolarization Technique. Possibilities And Limitations”, *European Polymer Journal*, 46, 2010, 2051-2062
- [H16] Kołbuk D., Sajkiewicz P., Kowalewski T.A., Optical birefringence and molecular orientation of electrospun polycaprolactone fibers by polarizing-interference microscopy, *European Polymer Journal*, 48, 2012, 275-283

- [H17] Kolbuk D., Guimond-Lischer S., Sajkiewicz P., Maniura-Weber K., Fortunato G., The Effect of Selected Electrospinning Parameters on Molecular Structure of Polycaprolactone Nanofibers, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 64, 2015, 365 – 377
- [H18] D. Kołbuk, P. Sajkiewicz, K. Maniura-Weber, G. Fortunato, „Structure and Morphology of Electrospun Polycaprolactone/Gelatine Nanofibres”, *European Polymer Journal*, 49, 2013, 2052–2061
- [H19] D. Kołbuk, P. Sajkiewicz, P. Denis, E. Chojińska, „Investigations of Polycaprolactone/Gelatine Blends in Terms of their Miscibility”, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences*, 61, 2013, 629-632
- [H20] Denis P., Dulnik J., Sajkiewicz P., Electrospinning of Bicomponent Polycaprolactone/Gelatin Nanofibers using Alternative Solvent System, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 64, 2015, 354-364

b) The achievements in the area of scientific supervision and education of young staff, including information about completed Ph.D. program in which the person participated as a supervisor or auxiliary supervisor, open PhD program in which he participates as a supervisor, as well as about the reviews of Ph.D. thesis, habilitation or habilitation procedures

My activity in the area of scientific supervision and education of young staff begins in the period of work at the Warsaw University of Technology (1982 - 1984), when I was leading student classes - 30 hours in the spring semester of the academic year 1983 to 1984 (the first year of the Faculty of Fine Mechanics, Warsaw University of Technology, laboratory of materials). At that time, I took care of a student who wrote a MSc thesis related to the structure and properties of the Alnico type hard magnetic materials.

While working at the IPPT PAN, just after the doctorate and return from a post-doctoral internship in the USA, I was a supervisor from the IPPT PAN side of the MSc thesis of students of the Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology (Z. Gocłowski, M. Frunze, D. Kukla, Boguszewski, A. Gradys, 1995 - 2000).

So far, I have been a supervisor of two defended PhD thesis:

- Arkadiusz Gradys, "Polymorphic transitions in low-molecular substances and polymers," review and the acceptance of PhD thesis - 2005, thesis defended 19.11.2010
- Dorota Kołbuk, "The effect of electrospinning conditions on the structure and properties of one- and two-component polymer nanofibers for use in tissue engineering", review and the acceptance of PhD thesis - 06.2010, thesis defended 28.02.2013.

I am currently a consultant for the PhD thesis being under preparation, and at the same time research tutor on behalf of the IPPT PAN for MohammadSaeid Enayati, MSc, a doctoral candidate at the University of Isfahan, Iran. The research stay of Mr. MohammadSaeid Enayati is planned at the IPPT PAN from 1.06 till 31.12.2015. Thesis "Fabrication, Characterization, and Mechanical Analysis of Polyvinyl Alcohol / NanoHydroxy apatite BioComposite Electrospun Scaffolds Reinforced by Cellulose NanoFibers for Bone Tissue Engineering", main supervisor Dr. Tayebbeh Behzad.

So far I have done reviews of three PhD Thesis and one habilitation:

- The review of PhD thesis of Jacek Michniowski, MSc, "The crystalline phase of polypropylene and polypropylene-glass fiber composite in the light of the EPR method", Department of Processing, Materials Engineering and Applied Physics, Institute of Physics, Technical University of Czestochowa, supervisor Prof. Dr hab. Włodzimierz Zapart, 2007
- The review of PhD thesis of Katarzyna Sobocińska "The structure and properties of blends of biodegradable polyester with polyolefins" Poznan University of Technology, Faculty of Chemical Technology, supervisor Prof. dr hab. Józef Garbarczyk, 2011

- The review of PhD thesis of Patrycja Kurtycz "Preparation and characterization of nanocomposite non-wovens poly(lactide)/Al₂O₃ and poly(lactide)/Al₂O₃-Ag produced by electrospinning", Warsaw University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering, supervisor Prof. dr hab. Andrzej R. Olszyna, 2013
- The review of habilitation "Exploring the phenomenon of cavitation occurring in semi-crystalline polymers undergoing deformation in the solid state" and the scientific achievements of Dr. Ing. Andrzej Pawlak from the Centre for Molecular and Macromolecular Studies, Polish Academy of Sciences, Łódź.

In the years 2011 - 2014 I was leading at the IPPT PAN monthly student internships. The scope of works was related to research of the electrospinning process of polymer nanofibers and the structure and properties of these materials, including elements of biological investigations in vitro conditions of cells behavior seeded on formed non-wovens:

- Aleksandra Purgał (Warsaw University of Technology, Faculty of Mechatronics), 2011
- Anna Czarnota (Intercollegiate Faculty of Biotechnology of University of Gdańsk and Medical University of Gdańsk), 2011
- Wojciech Woźniak (Warsaw University of Technology, Faculty of Physics), 2011
- Justyna Kuć (Warsaw University of Technology, Faculty of Chemistry)
- Emilia Siwiec (Warsaw University of Technology, Faculty of Chemistry)
- Katarzyna Ćwiek (University of Warsaw, Faculty of Physics), 2014
- Magda Jaworowska, 2014

Starting from 2010, I have provided the annual three-hour lectures combined with laboratory classes for students of the Faculty of Food Sciences, Warsaw University of Live Sciences - SGGW. The lectures are related to the use of differential scanning calorimetry (DSC) for materials investigations.

In addition, in 2014, I conducted a two-hour lecture for students, graduate students and staff of the Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Technology, entitled "Electrospinning as a method for forming of polymer nanofibers." I remain in close contact with members of the Students Research Circle of Biomechanics and Biomechanical Engineering "Biomech", Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Technology, serving them as a consultant in issues related to the electrospinning of polymer nanofibers (meetings at the IPPT PAN).

Starting from the period of my PhD studies at the IPPT PAN, I participate actively in seminars of the Polymer Physics Laboratory and the Department of Theory of Continuous Media. From 2010, I lead the seminars of the Joint Laboratory of Multifunctional Materials.

c) the activities for science popularization

Starting from 2010 I am active participant in the Science Festivals, providing lectures and laboratory classes - demonstrations for elementary schools, middle schools and high schools:

- Participation in the XIV Festival of Science at the IPPT PAN, lectures and laboratory classes "In the world of polymer crystals", 20.09.2010;
- Participation in the XV Festival of Science at the IPPT PAN, lectures and laboratory classes "In the world of polymer crystals" and "Polymeric nanofibers as a material for tissue regeneration", 20.09.2011;
- Participation in the XVI Festival of Science at the IPPT PAN, lectures and laboratory classes "In the world of polymer crystals" and "Nanofibers as scaffolds", 28.09.2012;
- Participation in the XVII Festival of Science at the IPPT PAN, lectures and laboratory classes "In the world of polymer crystals" and "Why the cells like polymer nanofibers", 09/26/2013, 27/09/2013;

- Participation in the XVIII Festival of Science at the IPPT PAN, lectures and laboratory classes "Small and beautiful – polymer crystals", "Why the cells like polymer nanofibers" and "Super-strength at the nanoscale", 25/09/2014.

