

## Automatyczne sterowanie pracą linii technologicznej wytłaczającej tworzywo sztuczne

*Wytłaczanie jest jedną z podstawowych technologii masowego wytwarzania wyrobów z tworzyw sztucznych. Dla prawidłowego jego przebiegu konieczne jest odpowiednie sterowanie pracą linii technologicznej. W referacie omówione zostały właściwości procesu wytłaczania tworzywa sztucznego oraz konsekwencje jakie niosą one dla budowy układu kompleksowego sterowania pracą linii wytłaczarkowej.*

### Automatic control of a production line for plastic extrusion

*Extrusion is one of the technologies most often met in plastics processing. For its proper operation suitable control principles are to be carefully chosen. In the paper peculiarities of the plastic extrusion process and their implications for developing a complex extrusion production line control are presented and discussed.*

#### 1. WPROWADZENIE

Współczesne tworzywa sztuczne wymagają bardzo wysokiej dokładności przebiegu procesów przetwórczych [9]. Można ją uzyskać dzięki kompleksowemu sterowaniu pracą całych linii technologicznych. Jest to szczególnie ważne w przypadku technologii wytwarzania masowego - do jakich należy wytłaczanie. Jednak nowoczesność rozwiązań układów sterowania pracą linii wytłaczarkowych jest wysoce niezadowolająca [8]. Poprawy tego stanu można oczekiwać jedynie wówczas jeśli automatycy poznają właściwości tego procesu technologicznego oraz zastosują do jego sterowania nowoczesne metody i techniki.

#### 2. PROCES WYTŁACZANIA JAKO OBIEKT STEROWANIA

Wytłaczanie to technologia ciągłego formowania wyrobów z uplastycznionego termicznie tworzywa sztucznego przy pomocy urządzeń tworzących tzw. linię wytłaczarkową. Linia taka jest złożonym obiektem sterowania w którego skład wchodzi [3,7,9]:

- wytłaczarka lub kilka wytłaczarek - w przypadku technologii współwytłaczania,
- urządzenia odbierające produkt finalny procesu wytłaczania,
- urządzenia podające nośnik - stosowane w przypadku technologii natłaczania.

Prowadzenie wytłaczania wymaga skoordynowania przebiegu procesów:

- wolnozmiennych, związanych z termiczną „obróbką” przetłaczanego tworzywa,
- szybkozmiennych, związanymi z formowaniem wyrobu i jego przemieszczaniem.

Procesy te wpływają na siebie co istotnie zwiększa trudność sterowania wytłaczaniem.

Chcąc prawidłowo sterować wytłaczaniem należy poznać właściwości urządzeń technologicznych tworzących linię wytłaczarkową.

## 2.1. Wytłaczarka

Zadaniem wytłaczarki jest uplastycznienie tworzywa, ujednorodnienie jego właściwości w całej objętości oraz sprężenia do ciśnienia pozwalającego na uformowanie wyrobu [7,9].

Wytłaczarka jako obiekt sterowania rozpatrywana musi być jako wielowymiarowy, nieliniowy obiekt termiczny - wpływający na właściwości tworzywa - sprzężony z szybkim obiektem formującym z przetłaczanego tworzywa wyrób finalny.

Wytłaczanie jest procesem trudnym do sterowania ze względu na wielość i złożoność przemian fizyko-chemicznych zachodzących w przetłaczanym tworzywie [9]. Dla wielu z tych procesów brak jest modeli teoretycznych i posługiwać się można jedynie formułami empirycznymi oraz wykorzystywać praktyczne doświadczenia technologów. Jest to jeden z powodów dla których duże nadzieje wiąże się z użyciem do sterowania wytłaczaniem metod rozmytych [3,5].

Podczas wytłaczania można na właściwości tworzywa wpływać tylko pośrednio. Na zewnętrznej powierzchni cylindra i głowicy wytłaczarki rozmieszczone są strefy grzejno-chłodzące. Dzięki nim można zmieniać temperaturę tworzywa wewnątrz wytłaczarki i w ten sposób wpływać na właściwości produktu. Strefy ogrzewane są elektrycznie, zaś chłodzone wentylatorami lub chłodnicami wodnymi ew. olejowymi. Strefa wytłaczarki jest więc obiektem sterowania z dwoma niezależnymi wejściami o odmiennych właściwościach regulacyjnych [3,8].

Właściwości statyczne i dynamiczne strefy są złożone i nieliniowe. Jako obiekt elektrotermiczny ma ona różne prędkości rozgrzewania, stygnięcia i chłodzenia. Jest to także obiekt niestacjonarny którego właściwości zmieniają się - gdy pod wpływem ruchu obrotowego ślimaka - wewnątrz wytłaczarki przemieszcza się tworzywo. Wówczas bowiem na właściwości strefy główny wpływ ma to, że podstawowym źródłem ciepła jest tzw. ciepło ścinania powstające w tworzywie w wyniku tarcia jego cząsteczek wzajemnie o siebie oraz o ściany cylindra i ślimaka wytłaczarki [9]. Ciepło to - z punktu widzenia sterowania - można uznać za zakłócenie szybkozmienne (ciepło wydziela się w tworzywie), oddziaływanie którego zregulowywać trzeba przy pomocy znacznie wolniejszego sterowania temperaturami zewnętrznych powierzchni wytłaczarki. Ponadto wytłaczarka posiada wiele stref oddziałujące na siebie bezpośrednio (przewodzenie ciepła w konstrukcji wytłaczarki) oraz pośrednio poprzez przemieszczające się w wytłaczarce ogrzane tworzywo. Z punktu widzenia sterowania wytłaczarka zatem to specyficzny wymiennik ciepła.

Pod wpływem ruchu obrotowego ślimaka tworzywo jest wtlaczane do głowicy wytłaczarki. Dzięki wzrostowi ciśnienia wewnątrz tworzywa wypływa ono z dyszy wytłaczarskiej formującą wyrób. Z tego punktu widzenia wytłaczarkę można zatem traktować jako pompę o wydajności zależnej od prędkości obrotowej ślimaka [3,7,9].

Statyczne charakterystyki intensywności przetłaczania tworzywa w wytłaczarce są nieliniowe. Na wymiary poprzeczne wyrobu finalnego najczęściej wpływamy sterując wydajnością wytłaczania ( $q$ ) za pośrednictwem zmian prędkości obrotowej ( $\omega$ ) ślimaka wytłaczarki. Właściwości dynamiczne tego procesu są złożone. Można je bowiem - niewielkich zmian prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki - opisać po zlinearyzowaniu transmitancją postaci [3]:

$$K(s) = q(s) / \omega(s) = (1 + as)^4 / (\tau^2 s^2 + 2\tau\xi s + 1) \quad (1)$$

ze współczynnikiem tłumienia ( $\xi$ ) o wartości rzędu od 0.1 do 0.2.

Wartości współczynników transmitancji (1) zależą od prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki co istotnie zwiększa stopień trudności tego obiektu.

## 2.2. Urządzenia odbierające produkt

Wytłaczanie jest technologią ciągłego wytwarzania co wymusza konieczność użycia odpowiednich urządzeń odbierających produkt. Realizują one takie operacje technologiczne jak schładzanie, kontrola jakości, przemieszczanie oraz konfekcjonowanie [3,7,9].

Ponieważ tworzywo opuszczające wytłaczarkę ma wysoką temperaturę - i znacznie obniżoną wytrzymałość mechaniczną - pierwszą operacją technologiczną dokonywaną po wytłoczeniu jest jego schłodzenie. Wymagania jakościowe stawiane układom schładzającym są niewielkie. Mogą one pracować autonomicznie i jedynie czasami wymagana jest dwustanowa koordynacja ich pracy z pozostałymi układami linii technologicznej [3].

Kontrola jakości wyrobu finalnego może wykorzystywać pomiary różnych wielkości takich jak np.: wytrzymałość elektryczna, szczelność, przezroczystość, barwa, połysk powierzchni itp. Wpływ takich wielkości na proces wytwarzania ma najczęściej charakter „ograniczający”, tzn. powodują one zatrzymanie linii wytłaczarkowej gdy wyniki pomiarów przekraczają dozwolone wartości. Do realizacji takich zadań wystarczają sygnały binarne dzięki którym autonomiczne urządzenie kontrolne zgłaszają swoją gotowość do pracy oraz wykrycie wyrobu o niezadawalającej jakości [3].

Osobną grupę tworzą natomiast wielkości wykorzystywane do sterowania wydajnością wytłaczania. Podstawową z nich jest rozkład tworzywa w przekroju poprzecznym wyrobu, zastępowany czasami pomiarem grubości warstwy tworzywa w jednym miejscu przekroju. Z pomiarem takim wiążą się jednak dodatkowe problemy związane z tzw. efektem Barusa (rozszerzanie się strumienia tworzywa wypływającego z dyszy ze względu na jego rozprężanie się) oraz zmianą wymiarów poprzecznych strumienia tworzywa w wyniku stygnięcia. Układy pomiarowe instalowane są zatem w takiej odległości od dyszy wytłaczarki w której wymiary strumienia tworzywa się stabilizują. Powoduje to powstanie zmiennego w bardzo szerokich granicach - zależnie od wydajności produkcji - opóźnienia pomiarowego, które musi być uwzględnione w algorytmach sterowania wydajnością wytłaczania [3].

Sterowanie rozkładem tworzywa w przekroju poprzecznym wyrobu odbywa się najczęściej poprzez zmiany lokalnych temperatur tworzywa w różnych miejscach dyszy wytłaczarskiej [3,7]. Wpływa to na lepkość tworzywa i tym samym lokalne szybkości jego wypływu. Automacyjne sterowanie rozkładem tworzywa wymaga użycia wielu szybkich i precyzyjnych regulatorów temperatury oraz specjalnego układu koordynującego ich wartości zadane. Algorytm takiego układu to trudny, nieliniowy problem rozwiązanie którego zależy od kształtu wyrobu oraz typu tworzywa.

Pozostałe operacje technologiczne wchodzące w skład odbierania wyrobu, tzn. jego znakowanie, porcjowanie i pakowanie realizowane są z zasady przez niezależne urządzenia pracą których wymaga jedynie skoordynowania (binarnego) z innymi urządzeniami linii technologicznej.

## 2.4. Urządzenia podające półprodukt do natłaczania

Urządzenia te stosowane są wówczas gdy prowadzone jest natłaczanie tworzywa na nośnik. Problemy sterowania pracą urządzeń podających sprowadzają się do stabilizacji naprężenia mechanicznego nośnika oraz ciągłości jego dostarczania. Realizowane to jest dzięki pomiarowi naprężeń w nieruchomych elementach konstrukcji urządzeń przemieszczających lub pomiarowi przesunięć ich części ruchomych. Niezbędną szybkość działania układu zapewnia odpowiednie, skoordynowane sterowanie napędami elektrycznymi urządzeń przemieszczających wyrób. Jednak nawet jeśli bezpośrednie sterowanie tymi napędami realizują specjalistyczne autonomiczne regulatory to i tak algorytm koordynujący ich pracę musi być powtarzany z okresem pojedyn-

czych milisekund. Ponadto jest to algorytm nieliniowy bowiem intensywność jego reakcji zależy musi od wydajności produkcji [3].

### 3. OCENA JAKOŚCI PROCESU WYTŁACZANIA

Sterowanie i optymalizacja procesu wymaga sformułowania odpowiednich kryteriów oceny jego jakości. W przypadku wytłaczania kryteria takie dzielimy na dwie grupy:

- kryteria związane z formowaniem wyrobu,
- kryteria związane z właściwościami tworzywa po wytłaczaniu.

Jakość uformowania wyrobu oceniana jest z uwagi na grubości warstwy tworzywa oraz utrzymywanie kształtu przekroju poprzecznego wyrobu. Z tego punktu widzenia lepiej prowadzony proces wytłaczania zapewnia uzyskiwania wyrobu o minimalnych zmienności grubości warstwy tworzywa oraz minimalnej wartości grubości średniej. Stosowane w praktyce układy sterowania formowaniem wyrobu nie bazują na teorii sterowania minimalnowariancyjnego lecz używają algorytmów "kompensujących" zmienne opóźnienie pomiarowe oraz zapewniających tzw. „miękkie” sterowanie [3].

Kryteria związane z właściwościami tworzywa po wytłaczaniu mogą być wykorzystane do sterowania procesami termicznymi wytłaczarki. Jedynym bowiem czynnikiem za pośrednictwem którego można wpłynąć na właściwości tworzywa jest profil temperatury wytłaczania. Jednak w dotychczasowych układach sterowania wytłaczarkami rozwiązanie takie nie jest stosowane. Układy takie wykorzystują bowiem jedynie zestaw autonomicznych regulatorów temperatury, współdziałanie których optymalizuje operator dobierając ich wartości zadane. Zautomatyzowanie tej czynności wymaga użycia komputerowego układu kompleksowego sterowania pracą linii wytłaczarkowej który będzie dokonywać automatycznego doboru wartości temperatur zadanych regulatorów stref do aktualnej wydajności wytłaczania. W tym celu układ ten będzie wykorzystywał model matematyczny wpływu temperatur stref wytłaczarki na jakość tworzywa po wytłaczaniu [1,3,4].

Procesy zachodzące w tworzywie podczas przetłaczania w różnorodny sposób wpływają na jakość produktu. Tworzywo przebywając podczas wytłaczania w podwyższonej temperaturze podlega degradacji termicznej. Równocześnie jednak zachodzą w nim zjawiska korzystne takie jak homogenizacja składu w całej objętości. Zjawiska te zależą od przebiegu całego procesu wytłaczania. Na ocenę jakości wyrobu wpływa również np. stan powierzchni zewnętrznej wyrobu który związany jest głównie z końcową fazą wytłaczania.

Uwzględnienia w kryterium jakości wytłaczania tak różnych czynników powoduje, że sformułowano je w postaci iloczynny bezwymiarowych kryteriów cząstkowych [1,3,4]

$$J = J_H(D_{HK}) * J_D(D_{DK}) * J_v(\vartheta_k) \quad (2)$$

zależnych od stopni końcowej homogenizacji ( $D_{HK}$ ) i degradacji termicznej tworzywa ( $D_{DK}$ ) oraz temperatury ( $\vartheta_k$ ) tworzywa opuszczającego wytłaczarkę.

Cząstkowe kryteria jakości  $J_H$ ,  $J_D$ ,  $J_v$  - „wpisane” do pamięci układu sterowania - będą wykorzystywane do numerycznej optymalizacji warunków wytłaczania. Optymalizacja taka wymaga modelu matematycznego wiążącego profil temperatur w tworzywie z jego właściwościami po wytłaczaniu. Właściwości te można określić wydzielaając w tworzywie pewną elementarną objętość i analizując zachodzące w niej podczas wytłaczania zmiany. Zjawiska zachodzące w tworzywie mają charakter niestacjonarnego procesu ciągłego, opisywanego w przestrzeni stanu modelem postaci:

$$d\xi(t)/dt = A(t) * \xi(t) + B(t); \quad \xi_0 = \xi(0) \quad (3)$$

$$y(t) = C(t) * \xi(t) \quad (4)$$

gdzie  $\xi(t)$  to wektor stanu,  $y(t)$  wektor wyjść określający własności tworzywa zaś  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  to zmienne w czasie macierze parametrów tworzywa.

Po dyskretyzacji - dla celów komputerowej optymalizacji - z modelu (3-4) można otrzymać wzór (5) opisujący własności tworzywa opuszczającego wyłaczarkę:

$$y_k = C_k^D \left[ \prod_{i=0}^{k-1} A_i^D \xi_0 + \sum_{i=0}^{k-2} B_i^D \prod_{j=i+1}^{k-1} A_j^D + B_{k-1}^D \right] \quad (5)$$

Powszechnie przyjmuje się, że homogenizacja i degradacja termiczna wzajemnie na siebie nie wpływają, dzięki czemu macierze  $(A, B, C)$  stają się macierzami blokowymi, zaś model (5) rozdziela się na dwa prostsze i niezależne modele [1,3,4].

Stopień końcowej homogenizacji tworzywa ( $D_{IHk}$ ) określa skuteczność ujednorodnienia tworzywa podczas wyłaczania. Proces ten jest wymuszony jedynie przez ruch obrotowy ślimaka, a jego intensywność zależy także od konstrukcji wyłaczarki. Elementy modelu matematycznego (3-4) opisującego proces homogenizacji tworzywa mają postać [1,3,4]:

$$\xi_{IH}(t) = D_{IH}(t) \quad (6)$$

$$A_{IH} = -1/(T_{IH}(\omega) * f_{IH}) \quad (7)$$

$$B_{IH} = -A_{IH} \quad (8)$$

$$C_{IH} = 1 \quad (9)$$

gdzie  $f_{IH}$  to współczynnik charakteryzujący - zależną od konstrukcji wyłaczarki - lokalną intensywność „mieszania” tworzywa, zaś  $T_{IH}(\omega)$  to parametr zależny od prędkości obrotowej ślimaka.

Stopień końcowej degradacji termicznej tworzywa ( $D_{DK}$ ) wyraża zachodzącą w nim podczas wyłaczania - pod wpływem podwyższonej temperatury - trwałą utratę właściwości użytkowych. W literaturze proces ten opisują najczęściej modele rzędu drugiego o parametrach bardzo bardzo silnie zależnych od temperatury tworzywa  $\mathfrak{S}_t$  [1,3,4].

#### 4. OPTIMALIZACJA STEROWANIA PROCESEM WYŁACZANIA

Jakość wyłaczania oceniamy ze względu na uzyskiwaną „geometrię” wyrobu oraz z uwagi na cechy tworzywa w wyrobie: Optymalizacja procesu wyłaczania musi zatem także być prowadzona z uwzględnieniem obu tych czynników.

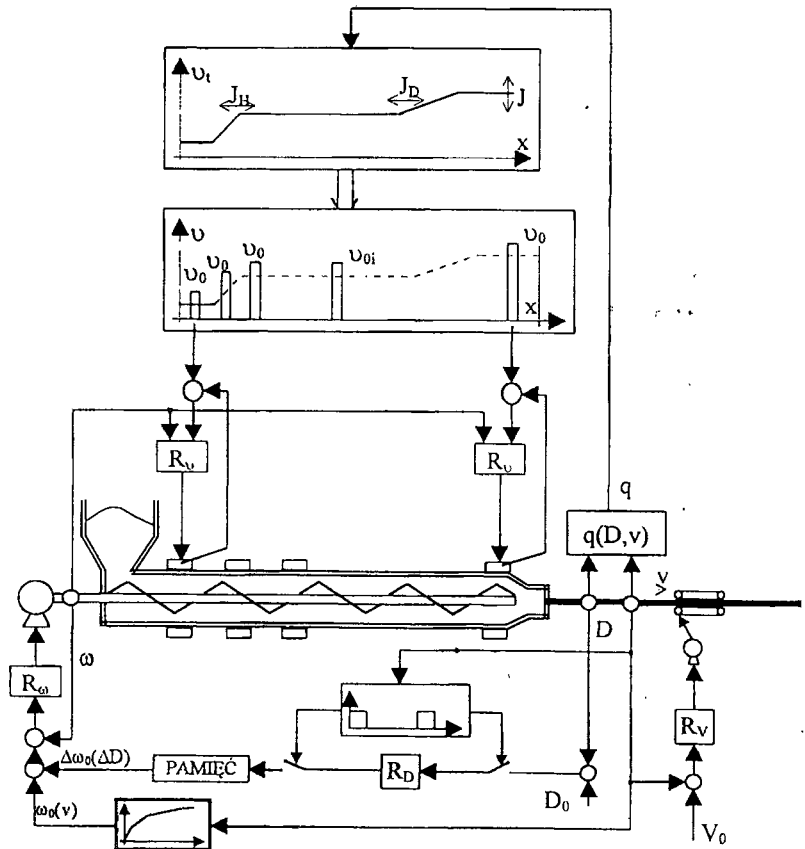
Optymalizując proces formowania wyrobu musimy znaleźć algorytm sterujący w sposób skoordynowany prędkością obrotową ślimaka wyłaczarki i prędkością odbierania wytłoczonego produktu. Sterowanie takie nie może oczywiście wpływać destabilizująco na pracę pozostałych urządzeń linii technologicznej. Powodują to, że najczęściej sterowanie jest rozdzielone [3]:

- do regulacji wymiarów wyrobu wykorzystywane jest sterowanie wydajnością wyłaczania - realizowane za pośrednictwem regulacji prędkości obrotowej ślimaka wyłaczarki,
- stabilizacja naprężenia w produkcie jest sterowana poprzez prędkość jego odbierania.

Eliminacja wpływu zmiennego opóźnienia pomiaru wymiarów wyrobu - obecnie dokonywana jest najczęściej poprzez zastosowanie układu regulacji kaskadowej z impulsową pętlą zewnętrzną. Okres impulsowania tej pętli jest zmienny i zależy od prędkości odbierania wyrobu ( $v$ ). Pomiędzy momentami zadziałania korekcyjnej pętli zewnętrznej niezależne regulatory stabilizują prędkość obrotową ślimaka wyłaczarki oraz prędkość odbierania wyrobu - z uwzględnieniem korekt koniecznych do stabilizacji naprężenia rozciągającego wyrób. Układy takie są bardzo skutecznie tym niemniej pojawiają się doniesienia o możliwości zastosowania algorytmów rozmytych do sterowania procesem formowania wyrobu [6].

W używanych dotychczas układach sterowania pracą linii wylączarkowych algorytmy automatycznej optymalizacji jakości tworzywa w wyrobie nie są stosowane. Problem ten jest ważny bowiem rozwiązanie go pozwoli zarówno na rozszerzenie zakresu technologicznie dopuszczalnych wydajności wylączania jak i typów tworzyw jakie mogą być prawidłowo przetwarzane przy pomocy tej samej linii technologicznej [1,3,4].

Jedyną metodą wpływu na jakość tworzywa w wyrobie jest dobór – do aktualnej wydajności wylączania  $q(\omega)$  - wartości temperatur zadanych regulatorów stref wylączarki oraz adaptacja wartości pozostałych parametrów tych regulatorów do zmiennych właściwości stref. Zautomatyzowanie procesu doboru wartości zadanych regulatorów stworzy hierarchiczny i kompleksowy układ regulacji temperatur stref wylączarki. Strukturę takiego układu - na przykładzie sterowania linią do wylączania tzw. profili - pokazuje rysunek 1.



Rys. 1. Struktura układu kompleksowego hierarchicznego sterowania linią do wylączania profili.

Punktem wyjścia do określenia optymalnych termicznych warunków wylączania z wydajnością  $q(\omega)$  jest wyznaczenie optymalnego profilu temperatury tworzywa wzdłuż wylączarki

$\vartheta_i(x, q)$ . Profil taki należy następnie „przeliczyć” - metodą „średniej czasowej” na wartości zadane regulatorów temperatury stref [1,3,4].

Optymalny profil temperatury w tworzywie  $\vartheta_i(x, q)$  wyznaczany będzie z wykorzystaniem kryterium jakości postaci (2) oraz opisu właściwości tworzywa w wyrobie postaci (5). Profil musi ponadto uwzględniać takie wymagania technologiczne jak np. dopuszczalne dla danego tworzywa szybkości zmian jego temperatury w poszczególnych fazach wytłaczania oraz czas przebywania tworzywa w końcowej temperaturze niezbędny dla stabilizacji jego właściwości [1,3,4,9].

Optymalny profil temperatur - nie przekraczając dopuszczalnych szybkości zmian temperatury tworzywa - musi leżeć wewnątrz obszaru ograniczonego przez dopuszczalną maksymalną jego temperaturę, temperatury początkową i końcową wytłaczania oraz czas końcowej stabilizacji właściwości tworzywa. Przy takich założeniach jest to klasyczne zadanie optymalizacji statycznej. Ilość obliczeń niezbędną do jego rozwiązania można znacznie zmniejszyć zakładając, iż optymalny profil temperatury powinien być niemalejący oraz, że powinien powodować skrócenie czasu przebywania tworzywa w najwyższych temperaturach. Przy takich założeniach punkty charakterystyczne profilu optymalnego można wyznaczyć niezależnie od siebie przy pomocy stosunkowo prostych formuł [1,4].

Badania symulacyjne pokazują, że optymalizując - w opisany powyżej sposób - profil temperatury w tworzywie można znacznie podnieść jakość tworzywa w wyrobie i w znacznym stopniu uniezależnić ją od zmian wydajności wytłaczania [1,4].

Strefy wytłaczarki mają nieliniowe właściwości statyczne i dynamiczne i też dlatego dobór nastaw regulatorów nie jest prosty i często stwarza obsłudze problemy. Automatyzacja tej czynności - nazywana samostrojeniem lub adaptacją regulatora - jest możliwa jednak zrealizowana musi być w sposób wynikający z technologii wytłaczania. Podstawowym czynnikiem jaki musi być wzięty pod uwagę jest to, że wytłaczarka jest rozgrzewana bez tworzywa. Algorytm strojenia regulatorów temperatury stref wytłaczarki musi zatem należeć do grupy algorytmów strojenia wokół punktu pracy oraz musi być wyposażony w specjalizowane mechanizmy kontroli poprawności przebiegu procesu identyfikacyjnego. Najprostszym z algorytmów właściwych do strojenia regulatorów temperatury stref wytłaczarki jest odpowiednio zmodyfikowana - poprzez uwzględnienie wpływu ciepła ścinania - metoda Astroma-Hagglunda [3].

Współcześnie dokonuje się „rewolucja” w dziedzinie struktur i algorytmów sterowania. Obok klasycznego algorytmu PID coraz częściej - zwłaszcza do sterowania obiektami trudnymi - stosowane są algorytmy sterowania nieostrego. Jest to obecnie najbardziej perspektywiczna i najszybciej rozwijająca się grupa algorytmów sterowania łączących w informację o obiekcie oraz - co ważniejsze - o praktycznych doświadczeniach jego użytkowników. Zastosowanie algorytmów rozmytych prowadzi w sposób naturalny do wielowymiarowych struktur sterowania z kompensacją zakłóceń. Algorytmy rozmyte można także wykorzystać do strojenia regulatorów PID uzyskując nowe, bardzo obiecujące rozwiązania

W przypadku linii wytłaczarkowych algorytmy rozmyte mogą być zastosowane do sterowania zarówno procesem formowania wyrobu jak i utrzymywania optymalnej jakości tworzywa [3]. W ramach prac nad skonstruowaniem układu kompleksowego sterowania procesem wytłaczania algorytmy takie zostaną zweryfikowane praktycznie.

## 5. PODSUMOWANIE

Linia technologiczna wytłaczarkowa to złożony obiekt sterowania. Jakość wyrobów produkowanych przy pomocy technologii wytłaczania zależy od wielu czynników. Jednak stosując komputerowy układ kompleksowego hierarchicznego sterowania linią wytłaczarkową można

uwzględnić w algorytmach sterowania różnorodne zjawiska fizyko-chemiczne wpływające na jakość wyrobu finalnego i tym samym podjąć próbę zbudowania układu optymalizującego na bieżąco proces wytłaczania.

#### LITERATURA

- [1] Broel-Plater B.: Optymalizacja sterowania procesem wytłaczania, POLIMERY - TWORZYWA WIELKOCZĄSTECZKOWE, 6/97, str. 386-397
- [2] Broel-Plater B.: Rozmyte dostrajanie regulatora PID, mat. III Konferencji Naukowo-Technicznej MECHATRONIKA'97, Warszawa, listopad 1997, str.27-32
- [3] Broel-Plater B., Dąca W.: Koncepcja systemu sterowania procesem wytłaczania tworzyw sztucznych, sprawozdanie z I etapu pracy w ramach projektu celowego KBN pt.: „Hierarchiczny system sterowania procesem wytłaczania tworzyw sztucznych”, Szczecin, 1997
- [4] Broel-Plater B., Domek S.: A control system to stabilize the quality of electrical insulation coatings extruded on wires over a wide range of productivity variations, Kautschuk-Gummi-Kunststoffe, 3/96, pp. 186-193
- [5] Broel-Plater B., Domek S.: Zastosowanie regulatora fuzzy-logic do regulacji wielostrefowego obiektu elektrotermicznego, mat. III Symp. „Symulacja, Pomiaru i Diagnostyka i Elektrotermii” Białystok, wrzesień 1994, str. 61-70
- [6] Fayaz M. A., Verge M.: On the Fuzzy Control of Multivariable systems, a mecatronic example, Proc. On 16<sup>th</sup> IASTED International Conference MODELLING, IDENTIFICATION AND CONTROL, Innsbruck, 1997, pp. 253-256
- [7] Menges G., Recker H.: „Automatisierung in der Kunststoffverarbeitung”, Carl Hanser Verlag, Munchen Wien, 1986
- [8] Ratajczak Z.: Pomiar i regulacja temperatury w wytłaczarkach, POLIMERY - TWORZYWA WIELKOCZĄSTECZKOWE, 1993, str. 306-310 i 471-473
- [9] Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne ŻAK, Warszawa, 1993

Niniejsza praca finansowana była w ramach projektu celowego nr KBN-8T11 A019 97C/3532