

DIAGNOSTYKA PROCESU WYTŁACZANIA TWORZYW SZTUCZNYCH

Wraz ze wzrostem wydajności procesów technologicznych coraz ważniejszym zadaniem układów sterujących ich przebiegiem jest zapobieganie awariom i wytwarzaniu wyrobów o niedostatecznej jakości. W wylączarkach tworzyw sztucznych kontroli takiej powinno być poddane tzw. sito, które zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń zawartych w tworzywie do gotowego wyrobu. W referacie opisano algorytm który dzięki logice rozmytej ocenia stan sita i może zapobiec jego zerwaniu się. Rozważania zilustrowano wynikami symulacji komputerowych.

DIAGNOSTICS OF A PLASTIC EXTRUSION PROCESS

In parallel with the increase in productivity of technological processes prevention of their potential failures and defective products becomes more and more important. In plastics extruders the sieve, which guards the end product against ingress of impurities contained in the plastic, is that element that should be particularly controlled. In the paper a fuzzy logic based control algorithm is presented that assesses the condition the sieve is in and may prevent its damage. The study is illustrated by results of computer simulations.

1. WPROWADZENIE

Znaczenie wyrobów z tworzyw sztucznych w naszym życiu rośnie nie tylko dlatego, że tworzywa takie coraz częściej mają właściwości użytkowe lepsze od materiałów naturalnych. Najważniejsze jest to, że istnieją stosunkowo tanie technologie pozwalające na tanie i często wręcz bezodpadowe wytwarzanie takich wyrobów.

Do technologii masowej produkcji wyrobów z tworzywa sztucznych należy wtryskiwanie i wytłaczanie [6]. Obie technologie wykorzystują metodę formowania wyrobu z tworzywa sztucznego uprzednio termicznie uplastycznionego wewnątrz maszyny wytwórczej. Główna różnica pomiędzy wytłaczaniem i wtryskiwaniem polega na charakterze przebiegu procesów uplastyczniania tworzywa i formowania z niego wyrobu. Podczas wtryskiwania mamy do czynienia z procesami cyklicznymi i formowaniem wyrobu w wyniku zestalania się tworzywa w formie znajdującej się na zewnątrz układu uplastyczniającego a powstające wyroby to oddzielne detale – niejednokrotnie bardzo duże i o skomplikowanym kształcie. Natomiast wytłaczanie to proces ciągły w którym powstające wyroby (rury, pręty, folie czy też przewody elektryczne pokryte izolacją z tworzywa sztucznego) formowane są podczas ciągłego przepływu tworzywa przez dyszę wylączarską będącą częścią układu uplastyczniającego wylączarki.

W obu technologiach uzyskanie wysokiej jakości wyrobów wymaga odpowiedniego sterowania przebiegiem dwu podstawowych faz procesu wytwórczego czyli uplastyczniania tworzywa i formowania z niego wyrobu [2–4, 6]. Wykorzystanie w układach sterowania pracą wylączarek i wtryskarek nowoczesnych sterowników programowalnych (PLC lub PAC) lub komputerów przemysłowych pozwoliło na tyle zwiększyć skuteczność sterowania procesami przetwórstwa tworzyw sztucznych, iż można uznać, że obecnie problem ten jest rozwiązany w stopniu zadowalającym [4, 7].

Jednakże funkcjonalność układów sterowania procesami przetwórstwa tworzyw sztucznych można poprawić wyposażając je w algorytmy diagnostyczne, które nie tylko nie pozwolą na wytwarzanie wyrobów o obniżonej lub niedostatecznej jakości ale także poprawią efektywność procesu przetwórstwa.

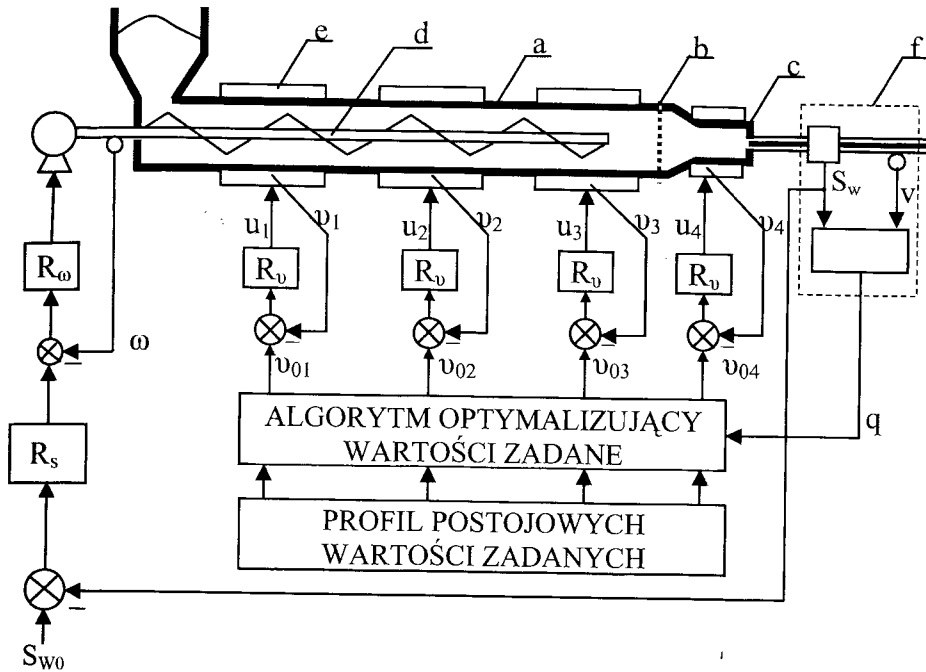
W referacie opisano rozmyty algorytm diagnostyczny dedykowany do oceny stanu tzw. sita będącego jednym z najczęściej ulegających uszkodzeniu elementów wylączarki tworzywa sztucznego.

2. PROCES WYŁĄCZANIA TWORZYWA SZTUCZNEGO JAKO OBIEKT STEROWANIA I DIAGNOSTYKI

Z punktu widzenia sterowania proces wytaczania to skomplikowany, wielowymiarowy i nieliniowy obiekt w którym mamy do czynienia z oddziaływaniami na siebie powolnymi procesami cieplnymi (sterowanie temperaturami stref grzejnych wylączarki) i szybkim procesem przemieszczania wylączanego tworzywa – pod wpływem ruchu obrotowego ślimaka wylączarki – od leja zasypowego ku głowicy wylączarskiej [4, 6]. Jeśli procesy te są odpowiednio ze sobą skoordynowane wówczas tworzywo dopływające do dyszy wylączarskiej będzie miało właściwości fizykochemiczne nie tylko pozwalające na prawidłowe uformowanie z niego wyrobu ale także wyrób ten będzie miał wymagane właściwości użytkowe.

Koordynowanie procesów zachodzących wewnątrz wylączarki polega na dostosowaniu wzdłużnego profilu temperatury tworzywa $v_t(x)$ do aktualnej objętościowej wydajności wylączania q [2, 6]. Dokonywane jest to poprzez odpowiednie zmiany wartości zadanych v_{0i} regulatorów temperatury stref wylączarki. W klasycznych układach sterowania pracą wylączarek jest to podstawowe zadanie obsługi a od jej kwalifikacji oraz staranności pracy zależy jakość wytwarzanego wyrobu. Proces ten można jednak zautomatyzować wykorzystując w warstwie nadrzędnej hierarchicznego układu cyfrowego sterowania pracą wylączarki odpowiedni algorytm optymalizujący [2]. Na rysunku 1 pokazano wylączarkę wraz z takim hierarchicznym układem sterowania optymalizującego jej pracę.

Takie zoptymalizowanie procesu wytaczania tworzywa sztucznego nie może jednak zapobiec przedostawaniu się do wytwarzanego produktu zanieczyszczeń obniżających jego jakość. Kontrola jakości i niedopuszczenie do wytwarzania wyrobu o zbyt małej jakości to kolejne zadanie obsługi wylączarki. Zautomatyzowanie wykonywania tego zadania – podobnie jak zautomatyzowanie doboru wartości zadanych v_{0i} regulatorów temperatury stref – powinno poprawić jakości produktu oraz odciążyć obsługę od wykonywania monotonicznych i przez to męczących czynności.



Rys. 1. Wytłaczarka wraz z układami sterującymi jej pracą: a – cylinder, b – sito, c – głowica z dyszą, d – ślimak, e – grzejnik strefy, f – układ pomiaru wydajności wytłaczania, R_s – regulator wymiarów wyrobu, R_ω – regulator stabilizujący prędkość obrotową ślimaka, R_v – regulator temperatury strefy, u_i – sygnał sterujący i-tej strefy

Aby zapobiec przedostawaniu się zanieczyszczeń do produktu pomiędzy cylindrem wytłaczarki a jej głowicą zakładane jest gęste metalowe sito – także pokazane na rysunku 1.

Jednak zanieczyszczenia osadzające się na sicie powodują nie tylko wzrost oporów przetłaczania tworzywa zmniejszający sprawność wytłaczarki. Zapychanie się sita wywołuje także wzrost ciśnienia wewnątrz wytłaczarki – co może doprowadzić do przerwania się sita i tym samym swobodnego przedostawania się zanieczyszczeń do wyrobu. W praktyce zdarza się również, że zastosowanie sita o zbyt dużej wytrzymałości na zerwanie powoduje uszkodzenia takich elementów wytłaczarki jak sprzęgło, przekładnia lub silnik obracający ślimak czy też mechanizm mocujący głowicę wytłaczarki do jej cylindra. Naprawa takich uszkodzenia jest nie tylko kosztowna i długotrwała ale także mogą one być zagrożeniem dla obsługi wytłaczarki. Pozostałe części wytłaczarki są albo ze względu na swoją konstrukcję bardzo mało wrażliwe na uszkodzenia (cylinder lub ślimak) albo wykrywanie ich ewentualnych uszkodzeń jest od dawna standardową funkcją układów sterowania - np. przerwy obwodów grzania stref lub uszkodzenia torów pomiaru temperatury tych stref.

Wzrost różnicy ciśnienia tworzywa po obu stronach zapchanego sita może podczas pracy wytłaczarki powodować oczyszczanie się sita w wyniku przeciskania przez nie

osadzonych zanieczyszczeń. Ponieważ taki sposób oczyszczania się sita pogarsza jakość wyrobu to proces ten także powinien być kontrolowany.

Opracowanie skutecznych sposobów diagnozowania stanu sita jest zatem zadaniem ważnym a jego rozwiązanie może istotnie zwiększyć funkcjonalność układów sterowania i nadzoru pracy wycłaczarek tworzyw sztucznych.

3. ROZMYTY ALGORYTM DIAGNOZOWANIA STANU SITA WYTŁACZARKI

Uszkodzenia sita wycłaczarki wywołuje zbyt duży napór tworzywa na sito powstający wskutek różnicy ciśnień w tworzywie przed sitem (p_1) i za sitem (p_2):

$$F_s = S_s(P) * (p_1 - p_2) \quad (1)$$

gdzie $S_s(P)$ to efektywna powierzchnia sita zależna od jego przepuszczalności P .

Jeśli zdefiniować przepuszczalność sita jako stosunek łącznej powierzchni „otworów” sita do jego całkowitej powierzchni S_0 sita to można napisać, że:

$$S_s(P) = S_0 * (1 - P) \quad (2)$$

Ponieważ na wartości ciśnień p_1 i p_2 w tworzywie można szybko i efektywnie wpływać poprzez zmiany prędkości obrotowej ω ślimaka wycłaczarki to wydaje się, że aby zapobiegać uszkodzeniu sita wystarczy mierzyć oba te ciśnienia i podczas pracy wycłaczarki zmniejszać prędkość obrotową ω jej ślimaka tak by spełniony był warunek:

$$F_s \leq F_{s \max} \quad (3)$$

gdzie $F_{s \max}$ to maksymalna, bezpieczna wartość naporu tworzywa na sito.

W rzeczywistości zapobieganie uszkodzeniom sita nie jest jednak tak proste i to nie tylko dlatego, że czujniki ciśnienia tworzywa są drogie i w wycłaczarkach pracujących w przemyśle stosowane są bardzo rzadko – zresztą wówczas i tak najczęściej stosowany jest pojedynczy czujnik mierzący ciśnienie tworzywa w głowicy czyli za sitem.

Podstawowym problemem utrudniającym określenie rzeczywistej wartości naporu F_s tworzywa na sito jest to, że zanieczyszczenia osadzone na sicie zmieniają jego przepuszczalność P i dlatego wykorzystując jedynie pomiar samych ciśnień nie można określić wartości naporu F_s .

Również, jedynie na podstawie pomiaru wartości ciśnień tworzywa przed i za sitem, nie udało się opracować skutecznego algorytmu rozmytej oceny stanu sita – czyli oceny P^* wartości jego przepuszczalności.

Znacznie lepsze wyniki uzyskano uwzględniając podczas oceniania stanu sita także prędkość obrotową ω ślimaka wycłaczarki [5]. Ponieważ jednak, jak to wspomniano uprzednio, czujniki ciśnienia tworzywa stosowane są w przemyśle bardzo rzadko – podjęto próbę opracowania algorytmu oceniającego stan sita na podstawie wartości innych, praktycznie zawsze mierzonych wielkości.

Przedstawiana koncepcja rozmytej oceny stanu sita wycłaczarki wykorzystuje zatem fakt, iż od przepuszczalności P sita zależy opór R_t przetłaczania tworzywa przez wycłaczarkę:

$$R_t = R_{tw} + R_{ts}(P) \quad (4)$$

gdzie: R_{tw} - opór przetłaczania tworzywa przez wyłaczarkę bez sita,

R_{ts} - opór przetłaczania tworzywa przez sito.

Od wartości oporu przetłaczania R_t zależy ilość energii potrzebnej do wymuszenia przepływu przez wyłaczarkę tworzywa z objętościowym natężeniem q . Ponieważ zaś w każdym układzie sterowania pracą wyłaczarki mierzona jest zarówno prędkość obrotowa ω jej ślimaka jak i prąd I pobierany przez obracający go silnik – to te dwie informacje można wykorzystać do oceny oporu przetłaczania R_t tworzywa czyli oceny przepuszczalności P sita.

Niestety badania symulacyjne pokazały, że algorytm wykorzystujący do rozmytej oceny przepuszczalności P sita jedynie wartości prędkości obrotowej ω ślimaka wyłaczarki oraz prądu I pobieranego przez obracający go silnik – nazywany dalej algorytmem $P(\omega, I)$ – jest w praktyce nieprzydatny bowiem zmiany tych dwu wielkości związane ze zmianami wydajności wyłaczania q są przez niego błędnie interpretowane jako zmiany przepuszczalności sita P . Pokazują to wyniki symulacji komputerowych zamieszczone w dalszej części referatu.

Po przeanalizowaniu charakteru zjawisk zachodzących w tworzywie podczas jego wyłaczania oraz po przeprowadzeniu szeregu symulacji komputerowych okazało się, że algorytm oceniający stan sita wyłaczarki powinien także uwzględniać wpływ lepkości tworzywa μ na opór R_t jego przetłaczania.

Tworzywo termoplastyczne w stanie uplastycznionym zachowuje się jak ciecz nienewtonowska, której lokalna lepkość μ zależna jest od nieliniowo od temperatury v_t i gradientu γ prędkości v_t ruchu cząsteczek tworzywa [1]:

$$\mu = \mu_0 * e^{c*(v_t - v_0)} * |\gamma|^{n-1} \quad (5)$$

gdzie μ_0 , c , v_0 oraz n to współczynniki określające właściwości tworzywa.

Jednak w warunkach przemysłowych nie tylko nie mierzy się lepkości tworzywa ale również nie jest mierzona prędkość ruchu jego cząsteczek v_t – coraz częściej mierzona jest jedynie temperatura tworzywa znajdującego się w głowicy wyłaczarki v_{tg} . Dlatego też algorytm oceniający stan sita wyłaczarki powinien wykorzystywać pomiary innych mierzonych wielkości od których zależy lepkość tworzywa.

Ponieważ podczas wyłaczania danego typu tworzywa jego temperatura v_t w obszarze wyłaczarki w którym montowane jest sito zmienia się niewiele, to w algorytmie rozmytej oceny stanu sita można zastąpić nieznaną wartość lepkości tworzywa μ przez objętościowe natężenie q przepływu tworzywa przez wyłaczarkę. Wpływa ono bowiem na średnią prędkość ruchu cząsteczek tworzywa v_t a przez to pośrednio na gradient γ prędkości ruchu tych cząsteczek. Uproszczenie to jest uzasadnione także tym, że w obszarze wyłaczarki w którym montowane jest sito tworzywo przemieszcza się ono praktycznie tylko wzdłuż osi wyłaczarki.

Objętościowe natężenie przepływu q tworzywa przez wyłaczarkę można obliczyć ze zmierzonej prędkości liniowej v formowania produktu oraz pola powierzchni S_w jego przekroju poprzecznego:

$$q = v * S_w \quad (6)$$

ponieważ obie te wielkości (tzn. v i S_w) są zawsze mierzone – wykorzystuje je bowiem także pokazany na rysunku 1 układ automatycznego sterowania wymiarami wyrobu.

Drugi ze zbadanych na drodze symulacji komputerowych uproszczonych algorytmów, diagnostycznych ocenia zatem w sposób rozmyty stan sita na podstawie – określanych w okresach wytłaczania ustalonego – średnich wartości objętościowego natężenia przepływu tworzywa \bar{q} , prędkości obrotowej ślimaka $\bar{\omega}$ oraz prądu \bar{I} pobieranego przez silnik obracający ten ślimak. Algorytm ten – nazywany dalej algorytmem $P(\omega, I, q)$ – jest skuteczniejszy od algorytmu $P(\omega, I)$ – co ilustrują przedstawione są w dalszej części referatu wyniki symulacji komputerowych wykonanych przy stałej temperaturze v_t tworzywa przepływającego przez sito.

Jeśli jednak podczas pracy wyłaczarki zmiany jej wydajności q są duże wówczas dla zachowania stałej jakości wyłoczony niezbędne jest odpowiednie korygowanie wartości temperatur zadanych v_{0i} regulatorów stref grzejnych wyłaczarki [2]. Ponieważ zaś całkowity opór R_t przetłaczania tworzywa – zgodnie z wzorem (4) – zależy nie tylko od przepuszczalności P sita wyłaczarki i lepkości μ tworzywa przepływającego przez nie ale także od lepkości tworzywa wypełniającego całą wyłaczarkę – od jej leja zasypowego aż do dyszy wytłaczarskiej – to konieczne jest uwzględnienie wpływu zmian temperatur stref na opór wytłaczania także w algorytmie oceny stanu sita wyłaczarki.

Można to zrealizować albo poprzez odpowiednie sformułowanie bazy reguł algorytmu $P(\omega, I, q)$ albo poprzez jego rozbudowę czyli uwzględnienie podczas wnioskowania o stanie sita nowych informacji.

Pierwszy sposób można zastosować wówczas gdy sposób zmian wartości temperatur zadanych v_{0i} regulatorów stref grzejnych wyłaczarki w zależności od wydajności wytłaczania q jest znany i zawsze jednakowy. Dotychczas jednak najczęściej w praktyce wartości v_{0i} zmienia operator wyłaczarki – kierując się oczywiście własnym, subiektywnym doświadczeniem – to wydaje się że druga z metod może być bardziej uniwersalna.

Po rozbudowie algorytmu do rozmytej oceny stanu sita obok średnich wartości objętościowego natężenia przepływu tworzywa \bar{q} , prędkości obrotowej ślimaka $\bar{\omega}$ oraz prądu \bar{I} pobieranego przez silnik obracający ten ślimak wykorzystano wartość tzw. szacowanego oporu przetłaczania określoną wg wzoru:

$$R_{twz} = a \cdot \sum_{x=0}^{x=x_d} \frac{\mu^*(x)}{S_{kt}(x)} \Delta x \quad (7)$$

gdzie: a - to współczynnik skalujący,

$S_{kt}(x)$ – pole powierzchni przekroju poprzecznego kanału tworzywa wewnątrz wyłaczarki,

zaś sumowanie wykonywane jest wzdłuż całej długości wyłaczarki (tzn. od $x=0$ przy leju zasypowym do $x=x_d$ przy dyszy wytłaczarskiej) po umownym „podzieleniu” jej na walcowe segmenty o długości Δx .

Algorytm ten dalej nazywany jest algorytmem $P(\omega, I, q, R)$.

Wartość $\mu^*(x)$ we wzorze (7) obliczana jest wg (5) jednak zamiast gradientu prędkości wykorzystano w nim oszacowanie lokalnej wartości średniej prędkości $v_d(x)$ ruchu tworzywa.

Średnie lokalne prędkości $v_{tl}(x)$) ruchu cząstek tworzywa określone są na podstawie objętościowego natężeniu przepływu q tworzywa – w stanach wytłaczania ustalonego jednakowego na całej długości wytłaczarki – oraz powierzchni przekroju poprzecznego $S_{kt}(x)$ kanału tworzywa wewnątrz wytłaczarki. Te dwie wielkości pozwalają na określenie wzdłużnego profilu osiowej prędkości $v_{tx}(x)$ ruchu tworzywa wewnątrz wytłaczarki:

$$v_{tx}(x) = \frac{q}{S_{kt}(x)} \quad (8)$$

Wzór (8) jest zbyt mało dokładnym przybliżeniem wartości prędkości ruchu cząsteczek tworzywa w obszarze wytłaczarki w którym znajduje się jej ślimak – ponieważ w tym obszarze wytłaczarki tworzywo porusza się ruchem spiralnym. Dlatego też do określania prędkości ruchu cząsteczek tworzywa znajdującego się w obszarze bezpośredniego oddziaływania ślimaka wykorzystano zależność:

$$v_{tl}(x) = \frac{v_{tx}(x)}{\cos(\alpha(x))} \quad (9)$$

gdzie $\alpha(x)$ to kąt nachylenia zwojów ślimaka wytłaczarki.

W tych obszarach wytłaczarki w których nie ma ślimaka (np. w głowicy wytłaczarki) prędkość ruchu cząsteczek tworzywa określana jest z zależności:

$$v_{tl}(x) = v_{tx}(x) \quad (10)$$

Temperatura tworzywa $u_{tl}(x)$ konieczna do obliczenia w opisywanym algorytmie wartości $\mu^*(x)$ określana jest z wzdłużnego profilu temperatury $u_{ta}(x)$ będącego ciągłą i gładką aproksymacją rozpięta na mierzonych wartościach temperatur u_i stref wytłaczarki oraz temperaturze otoczenia przyjętej jako temperatura granulatu w leju zasypowym wytłaczarki.

Wyniki komputerowych symulacji działania algorytmu $P(\omega, I, q, R)$ pokazano w dalszej części referatu.

Wszystkie opisane powyżej algorytmy rozmyte określają przynależność wielkości wejściowych i wyjściowej do siedmiu zbiorów przy pomocy trójkątnych funkcji przynależności. Podczas wykonywania obliczeń wykorzystywany jest klasyczny algorytm min-max z operatorami iloczynu i sumy logicznej podanymi przez Zadeh'a. Wielkość wyjściowa – czyli ocena stanu sita – może przynależać do następujących zbiorów: mocno_zapchane, średnio_zapchane, mało_zapchane, czyste, lekko_uszkodzone, średnio_uszkodzone, mocno_uszkodzone [5].

4. KOMPUTEROWY SYMULATOR PROCESÓW WPLYWAJĄCYCH NA STAN SITA WYTŁACZARKI

Praktyczna weryfikacja algorytmów oceniających stan sita wymaga oczywiście przeprowadzenie wielu długotrwałych i kosztownych próbnych wytłaczań. Dlatego też wstępną ocenę opracowanych algorytmów przeprowadzono wykorzystując symulacje komputerowe. Wykorzystano w nich symulator zjawisk zachodzących wewnątrz wytłaczarki opisany w [1]. Oprogramowanie tego symulatora zostało zmodyfikowane

w taki sposób by uwzględniało zjawiska istotne dla procesu zapychania się sita wyłaczarki zapobiegającego przedostawaniu się zanieczyszczeń do wyrobu.

Rozbudowując oprogramowanie symulatora przyjęto zatem, że obok zanieczyszczeń przypadkowo dostających się do wyłaczarki wraz z granulatem wsypywanym do jej leja zaspowego w tworzywie mogą pojawić się podczas wyłaczania niezależne od nich tzw. zżużenia będące wynikiem lokalnych uszkodzeń cząsteczek tworzywa przebywającym podczas wyłaczania w znacznie podwyższonej temperaturze.

W strumieniu zanieczyszczeń $Z(t)$ dopływających do sita wyłaczarki można zatem wyróżnić dwie składowe:

$$Z(t) = Z_1(t) + Z_2(t) \quad (11)$$

gdzie $Z_1(t)$ to zanieczyszczenia granulatu a $Z_2(t)$ to zżużenia tworzywa powstałe podczas jego wyłaczania.

W symulatorze wartości $Z_1(t)$ są liczbami losowymi o rozkładzie równomiernym z zadawanego przedziału.

Wartości $Z_2(t)$ wyznaczane są w wyniku numerycznego zsumowania „historii” powstawania zżużeń w tworzywie które w chwili t „dopłynęło” do sita wyłaczarki. W użytym modelu tego procesu ilość powstających nowych zżużeń jest liczbą losową o rozkładzie równomiernym z przedziału o szerokości δ zależnej nieliniowo od temperatury tworzywa v_t i liniowo od czasu t_0 przebywania tworzywa w tej temperaturze:

$$\delta = g * (v_t)^k t_0 \quad (12)$$

gdzie g oraz k to stałe określające podatność tworzywa na powstawanie zżużeń.

Zmniejszenie $\Delta_1 P(t)$ przepuszczalności $P(t)$ sita powstające w wyniku osadzania się na nim zanieczyszczeń zależy zarówno od aktualnej przepuszczalności sita $P(t)$ jak i od ilości zanieczyszczeń $Z(t)$ dopływających do niego. W programie symulatora wartość $\Delta_1 P(t)$ jest liczbą losową o rozkładzie równomiernym z przedziału o szerokości:

$$\Delta_1 P(t) = b * Z(t) * (1 - P(t - dt)) * dt \quad (13)$$

gdzie b to współczynnik skalujący zaś dt to wartość kroku czasowego obliczeń.

Różnica ciśnienia tworzywie przed i za sitem może powodować przeciskanie się przez sito części osadzonych na nim zanieczyszczeń. Wielkość $\Delta_2 P(t)$ o jaką wzrasta przepuszczalność $P(t)$ sita jest w programie symulatora liczbą losową o rozkładzie równomiernym z przedziału o szerokości:

$$\Delta_2 P(t) = d * (1 - P(t - dt)) * (p_1(t) - p_2(t)) * dt \quad (14)$$

gdzie d to współczynnik skalujący zaś p_1 i p_2 to obliczone przez program symulatora wartości ciśnienia tworzywa przed i za sitem.

Zbyt duża różnica ciśnienia tworzywa przed i za sitem może spowodować także przerwanie się sita powodujące wzrosnąć jego przepuszczalności o wartość $\Delta_3 P(t)$.

W programie symulatora $\Delta_3 P(t)$ jest liczbą losową o rozkładzie równomiernym z przedziału o szerokości:

$$\Delta_3 P(t) = e * [S_0 * (1 - P(t - dt)) * (p_1(t) - p_2(t)) - F_{s_{max}}] * dt \quad (15)$$

obliczaną wówczas gdy:

$$S_0 * (1 - P(t - dt)) * (p_1(t) - p_2(t)) \geq F_{s \max} \quad (16)$$

Podczas symulacji procesu wytłaczania zmieniająca się przepuszczalność sita $P(t)$ obliczana zgodnie z wzorem:

$$P(t) = P(t - dt) + \Delta_1 P(t) + \Delta_2 P(t) + \Delta_3 P(t) \quad (17)$$

jest oszacowywana przez opisany wcześniej algorytm rozmytej oceny stanu sita.

5. BADANIA SYMULACYJNE ALGORYTMÓW ROZMYTEJ OCENY STANU SITA WYTŁACZARKI

Poprawność działania opisanych w referacie algorytmów $P(\omega, I)$, $P(\omega, I, q)$ oraz $P(\omega, I, q, R)$ sprawdzano przy pomocy symulacji komputerowych.

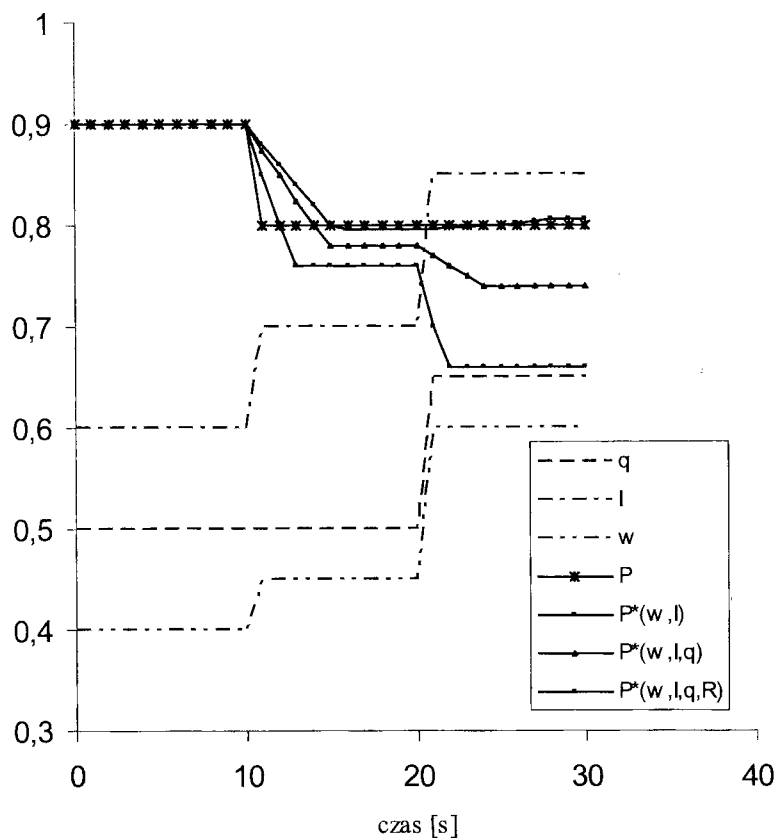
Na rysunku 2 pokazano wybrane wyniki symulacji komputerowych odpowiadających dwu „skrajnym” sytuacjom, tzn skokowej zmianie przepuszczalności P sita przy utrzymywaniu stałej wydajności wytłaczania q oraz skokowej zmianie wydajności wytłaczania q podczas której przepuszczalność P sita nie ulega zmianie.

Jak można było się spodziewać wraz ze wzrostem złożoności algorytmu rośnie także jego skuteczność czyli prawidłowość oceny stanu sita – jednak ze względu na uwzględnianie wpływu stosunkowo powolnych zjawisk cieplnych odbywa się to kosztem wydłużenia czasu po którym znana jest ocena stanu sita.

Przedstawione w referacie algorytmy nie zostały zweryfikowane praktycznie i dlatego planowane jest w najbliższym czasie wykonanie także takich badań.

6. LITERATURA

1. Broel-Plater B., Domek S.: Computer Model for Optimization of Extruder Control System, Proc. of the 1st International Symposium on Mathematical Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje 1994, pp. 209-214
2. Broel-Plater B.: Optymalizacja sterowania procesem wytłaczania, POLIMERY, 1997, nr 6, str. 386-397
3. Broel-Plater B.: Sterowanie procesem wytłaczania tworzywa sztucznego, XIII KKA, Ople 1999, t2, str. 319-322
4. Broel-Plater B., Sikora J.: Proces wytłaczania jako obiekt sterowania automatycznego, POLIMERY, 2004, nr 2, str. 114-122
5. Kałymon T.: Diagnostyka w procesach przetwórstwa tworzyw sztucznych, praca dyplomowa, Wydział Elektryczny Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 2005
6. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych, Wyd. Edukacyjne, Warszawa 1993
7. Sikora J., Broel-Plater B.: Niektóre nowe problemy sterowania automatycznego procesem wytłaczania, POLIMERY, 2004, nr 3, str. 195-201



Rys. 2. Wyniki symulacji komputerowych pokazujących skuteczność działania opisanych algorytmów rozmytej oceny stanu sita wylączarki.