

Iwona MICHALSKA-POŻOGA*, Tomasz RYDZKOWSKI*POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, KATEDRA PROCESÓW I URZĄDZEŃ PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin**Metody pomiaru i oceny autotermiczności wylączarki ślimakowo-tarczowej**

Dr inż. Iwona MICHALSKA-POŻOGA



W latach 2006 – 2007 asystent, a od roku 2007 adiunkt w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się przetwórstwem tworzyw polimerowych, przeprowadzaniem obliczeń symulacyjnych określających tor ruchu cząsteczki w układach uplastyczniających wylączarek, badanie tworzyw polimerowych, a także w zakresie tematyki badawczej znajdującej się opakowania do pakowania żywności i ich recykling.

e-mail: iwona.michalska-pozoga@tu.koszalin.pl

Dr inż. Tomasz RYDZKOWSKI



Od 2001 roku adiunkt w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego. W ramach działalności naukowej zajmuje się głównie przetwórstwem materiałów polimerowych i ich recyklingiem. W tym zakresie szczególnie interesuje się wylączaniem ślimakowo-tarczowym oraz recyklingiem mieszanin tworzyw z wykorzystaniem tego procesu. Kolejnym obszarem działalności jest przemysł spożywczy, głównie budowa i eksploatacja urządzeń oraz zagadnienia związane z pakowaniem żywności, głównie w technologii MAP.

e-mail: tomasz.rydzkowski@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały metody oceny autotermiczności wylączarki ślimakowo-tarczowej. Jednym z zagadnień jest określenie kryterium elementarnego i kompleksowego oceny autotermiczności wylączarki ślimakowo-tarczowej, a drugim określenie przestrzeni, w której występuje autotermiczność, a także określenie jej wpływu na uplastycznianie i jednorodność tworzywa w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej.

Słowa kluczowe: wylączarka ślimakowo-tarczowa, kryterium elementarne, kryterium kompleksowe, autotermiczność.

Methods for measurement and evaluation of screw-disk extruder autothermity**Abstract**

The paper deals with methods for measurement and evaluation of autothermity of an innovative, experimental, autothermal screw-disk extruder used for processing polymer materials [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] (Figs. 1, 2). One of the problems presented in the paper concerns determination of the elementary criteria for evaluation of the screw-disk extruder autothermity, namely thermal stability – $S_e \in \{0, 2, 4, 6, 8\}$ (Fig. 3) and the quality of extrudate – $J_w \in \{I, II, III\}$, where $J_w = I$ means good quality of extrudate, $J_w = II$ means nearly good quality of fusion and homogenization of extrudate and $J_w = III$ means poor fusion of extrudate (Fig. 4), and also the complex criterion for evaluation of autothermity, that provides a general state of autothermity – $J_a \in \{0, 2, 4, 6, 8\}$. The second problem is determining the space in which the autothermity occurs (Fig. 5), as well as its influence on plasticization and homogeneity of material in a disk zone of a screw-disk extruder [10, 11, 12, 13, 14]. The above elementary and complex criteria make it possible for the quality of the extrusion autothermity in a screw-disk extruder to be expressed comprehensively, whereas the nature of the spaces obtained allows an influence of individual factors on achieving the autothermal effect of extrusion in a screw-disk extruder to be analysed.

Keywords: screw-disk extruder, elementary criterion, comprehensive criterion, autothermity.

1. Wprowadzenie

Na świecie, rocznie produkuje się około 260 mln. ton różnych odmian tworzyw polimerowych. Tworzywa polimerowe stosowane są w wielu dziedzinach, a mianowicie: opakownictwo 37%, budownictwo 21%, elektronika i elektrotechnika 6%, motoryzacja 8% i inne 28% [1]. Materiały polimerowe są w około 85% przetwarzane na drodze uplastyczniania ślimakowego [2]. Wylączanie ślimakowe jest bardzo powszechnie stosowaną metodą przetwarzania tworzyw polimerowych, znajduje zastosowanie zarówno w procesie wylączania i wtrysku. Operacja wylączania ślimakowego, niestety, przy ekstremalnych parametrach powoduje degradację mechaniczną i destrukcję termiczną tworzywa, co powoduje że uzyskana wylączka ma pogorszone właściwości. Względy te stanowią istotne ograniczenie dla przetwórstwa tworzyw

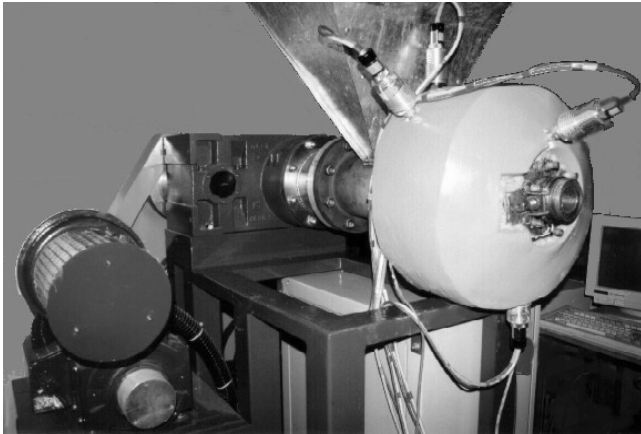
polimerowych, ponieważ każdy kolejny cykl przetwórstwa powoduje pogorszenie właściwości uzyskanej wylączki. Proces ten oprócz tego, że jest przy pewnych warunkach destrukcyjny dla tworzywa (w trakcie przegrzania układu) jest również wysoce energochłonny. Celowym zatem jest poszukiwanie nowych konstrukcji i rozwijanie istniejących technologii pozwalających na skonstruowanie urządzeń umożliwiających uzyskanie wysokiej wydajności przy jednocześnie niskiej energochłonności.

Rozwój techniki i technologii w latach 50 – tych XX wieku pozwolił zauważyć, że wylączanie może odbywać się bez konieczności dostarczania do układu uplastyczniającego energii. Strumień ciepła, który powstaje wskutek tarcia tworzywa o elementy układu uplastyczniającego może, przy zachowaniu pewnych warunków, wystarczyć do poprawnego uplastycznienia polimeru. Wylączanie takie nazywane jest wylączaniem autotermicznym. Taki proces posiada swoje zalety i wady. Do zalet wylączania autotermicznego zaliczono [3]: dużą sprawność energetyczną, małe jednostkowe zużycie energii, dużą wydajność, równomierne nagrzewanie całej masy tworzywa (ciepło powstaje bezpośrednio w tworzywie), bardziej jednorodne uplastycznianie, dobrą homogenizację tworzywa, krótki czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym, korzystny stosunek ciężaru urządzenia do jego wydajności, niewielkie wymiary urządzenia. Do wad wylączania autotermicznego zaliczono: trudności w sterowaniu procesem generowania ciepła, większy jak przy wylączaniu konwencjonalnym, rozrzut parametrów wylączki, oraz to, że jedynym czynnikiem, poprzez który można wpływać na przebieg procesu jest prędkość obrotowa ślimaka.

Jednym z nowatorskich i ciekawszych rozwiązań, które realizuje proces wylączania autotermicznego, jest wylączarka ślimakowo-tarczowa zbudowana w Katedrze Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych Politechniki Koszalińskiej [4, 5]. Powstała ona na podstawie analiz i obliczeń symulacyjnych i optymalizacyjnych [6, 7, 8]. W wyniku tej koncepcji zaprojektowano i wykonano eksperymentalną, autotermiczną wylączarkę ślimakowo-tarczową (rys. 1) [9].

Wylączarka ta odbiega konstrukcyjnie i ideologicznie od konstrukcji klasycznych. Charakteryzuje się oryginalnymi cechami, a mianowicie: stosunek długości ślimaka do jego średnicy jest równy 2 ($L/D = 2$) (krótszy ślimak niż w konstrukcjach klasycznych, gdzie stosunek długości do średnicy ślimaka wynosi od 20 do 35), dużą średnicą ślimaka (130 mm), którego czoło tworzy stożkową tarczę, pomiędzy czołem ślimaka i pokrywą cylindra występuje szczelina wraz z mechanizmem pozwalającym na zmianę wartości tej szczeliny od 0 do 6mm. Dzięki występowaniu szczeliny i mechanizmowi pozwalającemu na zmianę jej wartości możemy wpływać na prędkość ścinania, proces uplastyczniania i homogenizacji tworzywa. Na całej długości cylindra, w jego wnętrzu wykonany jest rowek skrętny. Dysza wylotowa, przez którą tworzywo opuszcza układ uplastyczniający znajduje się w osi ślimaka. W wylączarce eksperymentalnej możemy nastąpić

wiać prędkość obrotową ślimaka od 12 do 40 obr/min. Dzięki możliwości zadławiania wypływu tworzywa (dysza głowicy o średnicy 3,5; 5,0; 7,0; 10,0 i 14mm) możemy symulować obecność głowic wylączarskich o różnym oporze przepływu oraz zmian właściwości przetwarzanego tworzywa polimerowego.



Rys. 1. Autotermiczna wylączarka ślimakowo-tarczowa
Fig. 1. Autothermal screw-disc extruder

Przeprowadzone badania wykazały, że uzyskanie procesu wylączania autotermicznego pozwoli oszczędzić energię, a także uzyskać wysoki stopień zmieszania, co w konsekwencji może doprowadzić do uzyskania lepszych właściwości wytworu z tworzywa polimerowego niż wskutek klasycznego wylączania ślimakowego. Energooszczędność tego rodzaju wylączania wynika z faktu wytworzenia w układzie uplastyczniającym strumienia ciepła potrzebnego do uplastycznienia tworzywa polimerowego wskutek tarcia tworzywa o elementy układu uplastyczniającego (ślimak, cylinder) i tworzywa o tworzywo bez potrzeby dostarczania ciepła z zewnątrz. Szczegółowe wyniki publikowane były w licznych artykułach naukowych [10, 11, 12, 13, 14].

2. Metodyka

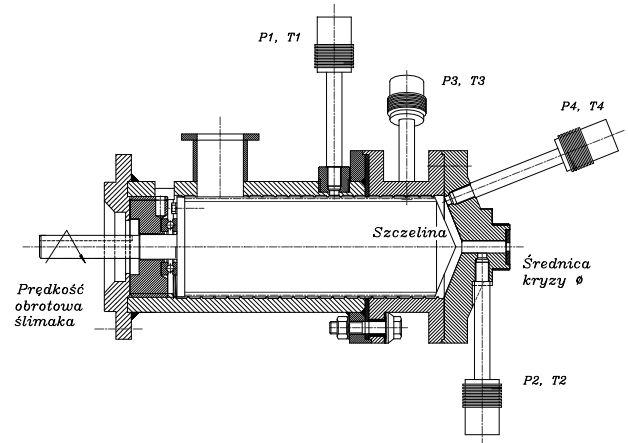
Celem badań było wyznaczenie zakresu wartości możliwych do nastawienia wielkości (zmiennych niezależnych): prędkości obrotowej ślimaka, wartości szczeliny, średnicy dyszy głowicy, temperatury startu wylączania, przy których uzyskuje się dobrą wyłoczną i stabilność temperatury panującej w strefie przemiany bez dostarczania energii za pomocą ogrzewania cylindra. Ciepło stapienia uzyskuje się z dysypacji energii deformacji tworzywa i tarcia tworzywa o ścianki (efekt autotermiczności).

W celu dokonania rejestracji wartości wybranych zmiennych procesowych na eksperymentalnej wylączarce ślimakowo-tarczowej zainstalowano komputerowy układ pomiarowy – rejestracyjny, składający się z zespołu czujników, miernika i dwóch komputerów klasy PC. Zastosowano odpowiednie oprogramowanie do akwizycji i analizy danych (częściowo programy autorskie). Układ pomiarowy – rejestracyjny umożliwiał mierzenie i rejestrację temperatury i ciśnienia w układzie uplastyczniającym oraz parametrów energetycznych silnika napędzającego wylączarkę (rys. 2).

Planując badania przyjęto, że próby wylączania będą trwały od 20 do 25 minut. Badania przeprowadzono przy użyciu tworzywa polimerowego - polietylenie małej gęstości (PE-LD) o nazwie handlowej FABS Malen E. Pomiar temperatury i ciśnienia przeprowadzono w czterech punktach układu uplastyczniającego. Wykonano 50 pomiarów.

W trakcie prób wylączania okazało się, że nie zawsze możliwe było jednoznaczne określenie efektu autotermiczności. Dlatego postanowiono opracować autorską, stworzoną przez dr inż. Tomasza Rydzkowskiego, wielostopniową skalę oceny autotermiczności, pozwalającą na elastyczną ocenę tego stanu wylączarki ślimakowo-tarczowej. Jako kryteria oceny autotermiczności wzięto pod

uwagę zarówno jakość wytłoczyny jak i ocenę stabilności temperatury w strefie stapienia polimeru.



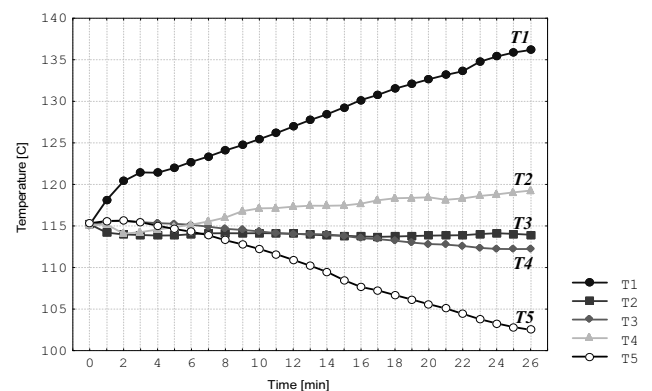
Rys. 2. Przekrój autotermicznej wylączarki ślimakowo-tarczowej z oznaczeniem punktów pomiarowych: ciśnien od P1 do P4, temperatur od T1 do T4 oraz wielkości nastawialnych (wartość szczeliny, prędkość obrotowa ślimaka)

Fig. 2. Section of the autothermal screw-disc extruder with marked measuring points: pressure from P1 to P4, temperature from T1 to T4 and adjustable sizes (chink value, rotational speed of the screw)

Do oceny autotermiczności stworzono kryteria elementarne i kompleksowe.

2.1. Kryteria elementarne oceny autotermiczności

Podczas analizy wykresów zmian temperatury w strefie stapienia w funkcji czasu stwierdzono, iż wyróżnić można następujące tendencje, które zostały przedstawione na rys. 3.



Rys. 3. Zarejestrowane przykładowe zmiany temperatury w strefie stapienia tworzywa: 0 - tendencja spadkowa (T5), 2 - tendencja lekko spadkowa (T4), 4 - przebieg stabilny (T3), 6 - tendencja lekko rosnąca (T2), 8 - tendencja rosnąca (T1)

Fig. 3. Exemplary gathered thermal stability in the melting zone: 0 - decrease (T5), 2 - slight decrease (T4), 4 - stable (T3), 6 - slight increase (T2), 8 - increase (T1)

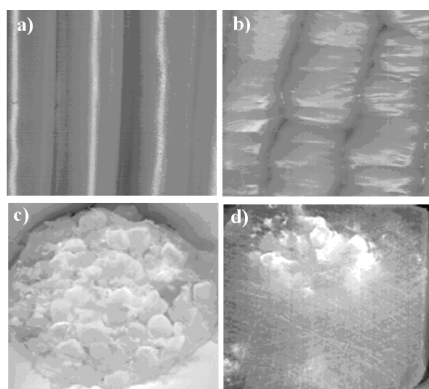
Powyższe tendencje zmiany temperatury w strefie stapienia tworzywa (rys. 3) przyjęto za pięciostopniową skalę do oceny stabilności temperatury – $S_i \in \{0, 2, 4, 6, 8\}$:

- $S_i = 0$ - oznacza wyraźną tendencję spadkową,
- $S_i = 2$ - wskazuje, iż zaobserwowano niewielką tendencję spadkową,
- $S_i = 4$ - świadczy, że temperatura w układzie ustabilizowała się na stałym poziomie,
- $S_i = 6$ - przyznawana była, gdy występuje lekka tendencja wzrostowa temperatury,
- $S_i = 8$ - gdy temperatura w układzie wyraźnie rośnie.

Natomiast jakość wycłoczyny – $J_w \in \{I, II, III\}$, wynikająca ze stopnia przetopienia polimeru, postanowiono sklasyfikować w trzech klasach:

- klasa I - dobra jakość wycłoczyny,
- klasa II - prawie dobra jakość przetopienia i ujednorodnienia wycłoczyny,
- klasa III - złe przetopienie tworzywa.

Do klasy I zostało zaliczane tworzywo, które było całkowicie jednorodne w przekroju. Po ostygnięciu zachowywało ono gładką, błyszczącą i równą powierzchnię (rys. 4a). Taka wycłoczyna posiadała najlepsze właściwości mechaniczne i uporządkowaną budowę nadcząsteczkową. Klasa II to wycłoczyny, które były całkowicie przetopione, ale w pierwszych sekundach po opuszczeniu głowicy wycłaczarskiej widoczne były, nieliczne zwykle, świeżo przetopione granulki (rys. 4b). W przypadku tej wycłoczyny pogorszyła się wytrzymałość na rozciąganie i jej udarność. Po ostygnięciu charakteryzowała się pofałdowaną powierzchnią. Natomiast wycłoczyna sklasyfikowana w klasie III, charakteryzowała się tym, że nie nastąpiło całkowite przetopienie granulek polimeru (rys. 4c i d). W tym przypadku wszystkie właściwości mechaniczne uległy pogorszeniu, a niektórych nawet nie dało się zmierzyć.



Rys. 4. Pręty wycłoczyny zaklasyfikowane do: a) klasy I, b) klasy II, c) i d) klasy III (wszystkie fotografie powiększenie x 1,5)

Fig. 4. Rods of extrudate: a) class I, b) class II, c) and d) class III (all photos extension x1,5)

2.2. Kompleksowe kryterium oceny autotermiczności

W kompleksowej ocenie autotermiczności procesu wycłaczania uwzględniono jednocześnie: stabilność temperatury S_t i jakość wycłoczyny J_w . Do określenia stanu autotermiczności uwzględniając parametry S_t i J_w , zastosowano wielkość o nazwie **stan autotermiczności** - $J_a \in \{0, 2, 4, 6, 8\}$.

Zależność (1) przedstawia kompleksową ocenę autotermiczności procesu wycłaczania.

$$J_a = \begin{cases} 0, & \text{gdy } J_w = III \\ S_t - 2, & \text{gdy } J_w = II \\ S_t, & \text{gdy } J_w = I \end{cases} \quad (1)$$

Jeżeli nie nastąpiło przetopienie tworzywa, czyli wycłoczyna znalazła się w klasie III ($J_w = III$), to dla danej próby, niezależnie od oceny stabilności temperatur S_t , stan autotermiczności $J_a = 0$. Jeżeli jakość wycłoczyny oceniona była na prawie dobrą, czyli wycłoczyna znalazła się w klasie II ($J_w = II$), to ocenę autotermiczności obliczano obniżając o dwa wartość stabilności temperatury ($J_a = S_t - 2$). Dla dobrej jakości wycłoczyny, czyli wycłoczyna znalazła się w klasie I ($J_w = I$) stan autotermiczności odpowiada stabilności temperatury $J_a = S_t$.

Dzięki takiej procedurze otrzymano ocenę stanu autotermiczności J_a w zakresie wartości od 0 do 8, gdzie:

- $J_a = 0$ - brak autotermiczności,
- $J_a = 2$ - pojawienia się symptomów autotermiczności,

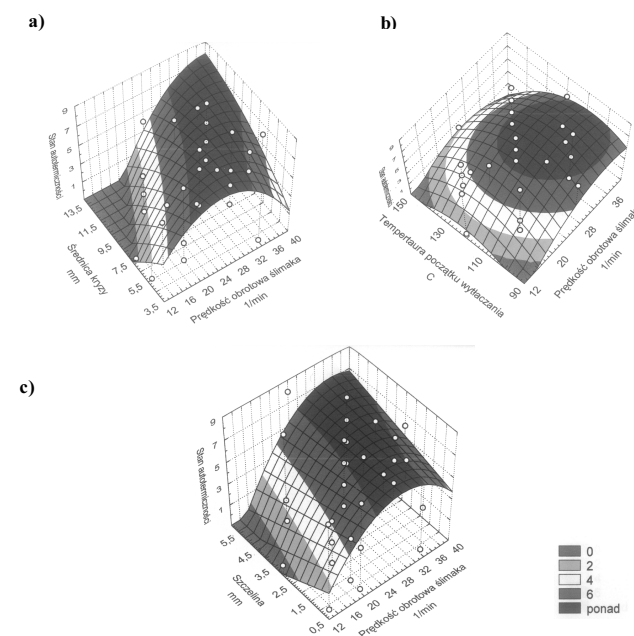
- $J_a = 4$ - wzorcowy stan autotermiczności,
- $J_a = 6$ - nadautotermiczność,
- $J_a = 8$ - hiperautotermiczność.

Oceniając stan autotermiczności na poziomie $J_a = 0$, stwierdzono, że nie obserwuje się lub występuje tylko częściowe przetopienie polimeru. Na podstawie takiego stanu tworzywa można stwierdzić, że w układzie nie generuje się wystarczająca ilość energii cieplnej potrzebnej do jego uplastycznienia. Taki poziom autotermiczności znacząco dyskwalifikuje proces wycłaczania. W przypadku oceny stanu autotermiczności wycłaczania na poziomie $J_a = 2$ możliwe jest dojście w dłuższym okresie czasu do stanu działania autotermicznego. Niewielka korekta wielkości nastawialnych (prędkości obrotowej ślimaka, wartości szczeliny, zmiana dyszy głowicy, temperatury startu wycłaczania) może doprowadzić do poprawy jakości stanu autotermiczności do stanu $J_a = 4$. Po osiągnięciu takiego stanu układ nie wymaga żadnych ingerencji (poprawy). Po przekroczeniu tego idealnego stanu autotermiczności, kolejny jej poziom ($J_a = 6$) wymaga drobnej ingerencji w celu utrzymania idealnego stanu autotermiczności, natomiast stan autotermiczności na poziomie $J_a = 8$ powoduje, że układ generuje znacznie więcej ciepła niż jest potrzebne do uplastycznienia polimeru i w konsekwencji może doprowadzać do jego destrukcji termicznej.

Oceniając energooszczędność w zależności od osiągniętego stanu autotermiczności zauważono, że w przypadku osiągnięcia wzorcowego stanu autotermiczności równego $J_a = 4$ jednostkowe zużycie energii jest niższe niż 0,2 kWh/kg (przy wycłaczaniu konwencjonalnym jednostkowe zużycie energii jest na poziomie około 0,33 kWh/kg [1]). Po analizie przeprowadzonych badań wykazało, że korzystniejsze energetycznie jest wycłaczanie przy dużych wymiarach szczelin, dużych prędkościach obrotowych i przy wysokich temperaturach początkowych.

3. Przestrzeń działania autotermicznego w wycłaczarnie ślimakowo-tarczowej

Powierzchnie stanu autotermiczności przedstawiono na trójwymiarowych wykresach określających stan autotermiczności w funkcji par zmiennych czynników eksperymentu: prędkości obrotowej ślimaka, wielkości szczeliny, średnicy dyszy głowicy i temperatury początku wycłaczania (rys. 5).



Rys. 5. Przestrzeń stanu autotermiczności jako funkcji prędkości obrotowej ślimaka oraz: a) średnicy kryzy, b) temperatury początku wycłaczania, c) szczeliny czołowej

Fig. 5. Space of the autothermity class vs. the screw rotational speed and: a) die diameter, b) set temperature of start, c) head chink

Na podstawie przebiegu powierzchni stanu autotermiczności ustalono zakres nastaw przy których wytłaczanie odbywa się autotermicznie i zakres, przy którym nie uzyskuje się efektu autotermiczności.

4. Podsumowanie

1. Metodyka określania jakości autotermiczności pozwoliła na ilościową ocenę procesu, który ma charakter opisowy.
2. Do oceny autotermiczności wprowadzono dwa pojęcia zdefiniowane jako kryteria elementarne: stabilność temperatury - $S_t \in \{0, 2, 4, 6, 8\}$ i jakość wycieczki - $J_w \in \{I, II, III\}$ oraz jako kryteria kompleksowe: jakość autotermiczności - $J_a \in \{0, 2, 4, 6, 8\}$.
3. Przedstawione kryteria elementarne i kompleksowe umożliwiają zobrazowanie całościowo ujętej jakości autotermiczności procesu wytłaczania w wycieczce ślimakowo-tarczowej.
4. Charakter otrzymanych przestrzeni stanu autotermiczności pozwala na analizowanie wpływu poszczególnych czynników na uzyskiwanie efektu autotermicznego wytłaczania w wycieczce ślimakowo-tarczowej.

5. Literatura

- [1] www.plasticseurope.pl: Najważniejsze fakty dotyczące tworzyw sztucznych. Analiza produkcji tworzyw sztucznych, popytu na nie i stopnia ich odzyskiwania w Europie w 2007. Raport Plastics Europe. Październik 2008.
- [2] Zawistowski H. i inni: Wytłaczanie tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Plastech. Warszawa 1999.
- [3] Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne. Warszawa 1993.

- [4] Aida F.: Investigation of ultra-high speed extruder based on entirely new design concept. Japan Plastics 1975, nr 3, s. 18.
- [5] Patent RP nr 174623 (1998).
- [6] Diakun J., Bil T., Kieczkowiak T.: Simulationsberechnungen für Erwärmungsverlauf. Kunststoffberater 7 – 8 / 95, s. 45 – 47.
- [7] Diakun J., Bil T.: Optymalizacja energetyczna aktywnej strefy zasilania wycieczki. Materiały XIII Ogólnopolskiej Konferencji nt. Polioptymalizacja i komputerowe wspomaganie projektowania, Kołobrzeg, 1995 r.
- [8] Diakun J.: Ewolucja i nowa koncepcja konstrukcji układu uplastyczniającego wycieczki ślimakowej. Materiały VII Seminarium nt. Tworzywa sztuczne w budowie maszyn, Kraków, 1994 r.
- [9] Patent nr P 312 117 (1995).
- [10] Rydzkowski T., Diakun J.: Autothermal screw – disc extruder for virgin and recycled polymers. Global Symposium on Recycling Waste Treatment and Clean Technology REWAS 2004, September 2004, Madrid, Spain.
- [11] Radomski G.: Porównanie ujednorodniania przy wytłaczaniu w wycieczce ślimakowej i ślimakowo – tarczowej. Polimery, L 2005/5, str. 374 – 378.
- [12] Rydzkowski T., Radomski G.: Mixing ratio obtained using screw-disk-type and screw extruders; selected properties of regnanulate and the original material mixtures. Europa/Africa Meeting of the Polymer Processing Society. Pretoria, South Africa, October 2006.
- [13] Michalska-Požoga I., Rydzkowski T.: Selected rheological and mechanical properties of PE recycle mixture with different concentration of original LD-PE obtained by screw-disc extrusion. VII Międzynarodowa Konferencja APT'07 Advances in Plastics Technology. Katowice 2007.
- [14] Radomski G.: Inżynieria i Aparatura Chemiczna, Nr 3s, 42 (33)/2003, s.132 – 133.

otrzymano / received: 16.02.2010

przyjęto do druku / accepted: 12.04.2010

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki
ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

Organizacja i Akredytacja Laboratoriów

Studia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub w co drugi weekend (do wyboru) przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, <http://imeia.elekt.polsl.pl>

Kierownik studiów:

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS