

Grzegorz Gesella, Adam Szeleziński, Mirosław Szyfelbain

Akademia Morska w Gdyni

Adam Muc

Polsko-Japońska Akademia Technik Komputerowych w Gdańsku

AUTOMATYCZNE STEROWANIE TEMPERATURĄ UKŁADU WYTŁACZARKI I GŁOWICY

W artykule opisano budowę oraz przedstawiono schemat głowicy wylaczarskiej o przekroju cylindrycznym. Opisano, na czym polega regulacja temperatury i jakie elementy są niezbędne do jej realizacji. Autorzy stworzyli schemat układu regulacji oparty na sterowniku PLC. Do tego układu został zaprojektowany odpowiedni algorytm, który steruje pracą opisanego układu. Przytoczony proces został zamodelowany i zasymulowany w środowisku Matlab/Simulink.

Słowa kluczowe: tworzywa sztuczne, wytłaczanie tworzyw sztucznych, wylaczarka, głowica wytłaczarki, sterowanie temperaturą.

WSTĘP

We współczesnym przetwórstwie jednym z ważniejszych trendów, które można zauważyć, są rosnące koszty energii wykorzystywanej do produkcji. W związku z tym wskazane są zabiegi przetwórców i producentów urządzeń dążące do wypracowania rozwiązań, które umożliwią redukcję poboru mocy.

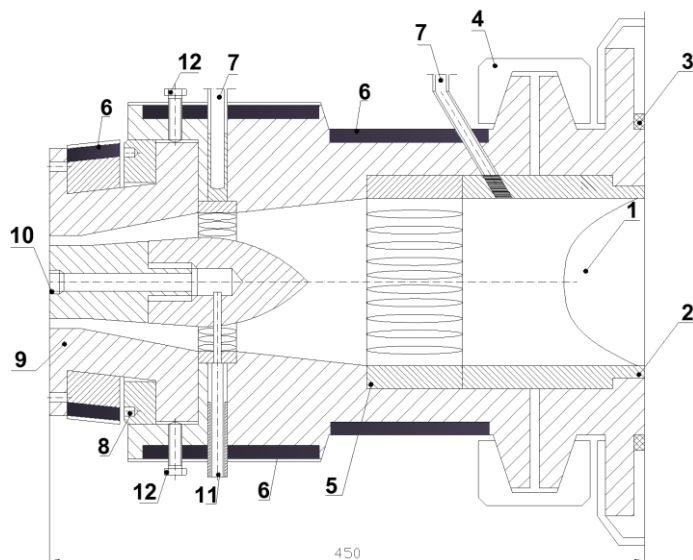
Jednym z czynników wpływających na poziom wykorzystywanej energii oraz wydajność produkcji jest system sterowania mocą grzewczą doprowadzaną do wylaczarek. Na podstawie pomiaru temperatury grzejników wykorzystywanych w wylaczarkach okazuje się, że w znacznym przedziale czasu temperatura grzejników jest wyższa od temperatury roboczej. Przy braku układu regulacji często występuje przegrzewanie grzejników. W związku z tym w pracy zaproponowano układ regulacji i algorytm, który w znacznym zakresie redukuje moc zużywaną na podgrzewanie przez optymalneysterowanie pracy grzejników.

1. GŁOWICA WYTŁACZARSKA

Najważniejszym elementem linii wylaczarskiej jest głowica. Jej zadanie polega na formowaniu splastyfikowanego w wylaczarce tworzywa sztucznego. Nie mogą przy tym istnieć wewnątrz głowicy tzw. strefy martwe – miejsca,

w których zalega roztopione tworzywo. Nierównomierny przepływ tworzywa przez głowicę skutkuje jego rozkładem, który ujawnia się w postaci pęcherzy występujących na jego powierzchni. W efekcie przekłada się to na obniżenie jakości otrzymywanych wyrobów.

Do analizy przyjęto głowicę wylączarską do wytłaczania rur. Tego typu głowica została przedstawiona na rysunku 1. Taka konstrukcja głowicy nazywana jest kołową.



Rys. 1. Głowica wylączarska z ustnikiem do wytłaczania rur (wykonanie własne na podstawie Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, Niemcy);

- 1 – przednia część ślimaka, 2 – wykładziny cylindra, 3 – grzejnik otokowy cylindra, 4 – umocowanie głowicy za pomocą rygla zabezpieczającego, 5 – płytką spiętrzającą (sitko) z opływowymi otworami ułatwiającymi przepływ masy, 6 – grzejnik pierścieniowy głowicy i ustnika, 7 – czujniki temperatury, 8 – śruby mocujące ustnik, 9 – ustnik, 10 – rdzeń, 11 – doprowadzenie powietrza zabezpieczającego rurę przed zakłębieniem, 12 – śruba centrująca

Fig. 1. Extruder head with mouthpiece for the extrusion of pipes (performed by the authors on the basis of Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, Germany)

Głowica wylączarska do rur posiada dwie strefy grzewcze – strefę rozprowadzającą i strefę kształtującą (rys. 2) oraz odpowiadające każdej strefie dwa grzejniki pierścieniowe (6) wraz z czujnikami temperatury – termopary (7), które są zamocowane w korpusie głowicy (1) i korpusie dyszy (2). Głowica charakteryzuje się wymiennym korpusem dyszy (2) oraz rdzeniem umożliwiającym wytwarzanie rur o zróżnicowanej średnicy i grubości ścianki rury.

W układzie wykorzystano dyszę o przekroju pierścieniowym, średnicy zewnętrznej kanału pierścieniowego równej 70 mm oraz średnicy wewnętrznej kanału 62 mm.

2. SKŁADOWE UKŁADU REGULACJI

Zadaniem układu regulacji temperatury wycłaczarki tworzyw sztucznych jest utrzymanie temperatury cylindra oraz głowicy na określonym, stałym poziomie, który jest optymalny dla przetwarzanego tworzywa. Podstawowymi komponentami takiego układu oprócz grzałek są czujniki temperatury. Tak zbudowany układ umożliwia:

- automatyczne sterowanie temperaturami;
- regulacje temperatur i nadzór wszystkich aktywnych stref grzania współpracujących z maszyną, za pomocą odpowiednich przyłączy oraz zewnętrznych urządzeń termostatujących;
- rejestrowanie i podawanie dla każdego z układów wszystkich temperatur (temperatura zadana czy stanu awaryjnego), zaprogramowanych dla poszczególnych trybów pracy maszyny (sterowanie ręczne, przygotowanie, postój, itd.) [8].

Do układu regulacji temperatury wycłaczarek tworzyw sztucznych należą:

- czujniki temperatur – pomiar temperatury cylindrów wycłaczarek oraz głowic; zakres pomiarowy: $-100 \div +500^{\circ}\text{C}$; rodzaj termoelementu: Fe-CuNi (J), NiCr-NiAl (K); rodzaj elementu przetwarzającego: opornik platynowy (Pt100);
- grzałki – opaskowe (stosowane w większości wycłaczarek), opaski grzewcze do cylindrów wykonywane w izolacji mikanitowej;
- regulatory temperatury i sterowniki [4, 7, 8, 10].

3. DOBÓR ELEMENTÓW UKŁADU REGULACJI TEMPERATURĄ

Na potrzeby przeprowadzonej analizy dobrano urządzenia, które składają się na układ automatycznego sterowania temperaturą. Układ ten zawiera następujące elementy:

- a) przewodowy czujnik temperatury elementów maszyn i urządzeń TOPE-3, 4, TTJE-3, 4, TTKE-3, 4. Czujnik ten przeznaczony jest do pomiaru temperatury panującej w miejscu zainstalowania miernika. Podstawowym, a zarazem najważniejszym, elementem czujnika jest rezystor lub termopara, przedłużone miedzianym przewodem lub przewodem kompensacyjnym. Element pomiarowy znajduje się w osłonie wykonanej ze stali kwasoodpornej. Do mocowania czujników wykorzystuje się różnego typu króćce lub nakrętki gwintowane połączone z obudową. Element pomiarowy czujnika reaguje na zmianę temperatury ośrodka za pomocą zmiany rezystancji (rezystor termometryczny). Miejsce pomiaru temperatury głowicy powinno być położone możliwie najbliżej przepływającego materiału, ponieważ wtedy różnica między temperaturą punktu pomiaru a temperaturą tworzywa będzie najmniejsza;

- b) grzejniki pierścieniowe, np. grzejniki opaskowe – elektryczne grzałki oporowe przystosowane do ogrzewania powierzchni walcowych. Na potrzeby analizy dobrano grzejnik z taśmą grzejną w izolacji mikanitowej w osłonie metalowej. Obudowa grzejnika opaskowego wykonana jest z blachy stalowej nierdzewnej. Grzejnik wyposażony jest w przyłącza elektryczne: wtyczka NZU (żelazkowa); kostka ceramiczna w osłonie z wyprowadzeniem przewodu zbrojonego w termoizolacji; przyłącze śrubowe; bezpośrednie wyprowadzenie przewodu w termoizolacji. Grzejnik opaskowy musi dodatkowo zawierać przyłącze do instalacji elementu pomiaru temperatury;
- c) Programowalny Sterownik Logiczny (PLC, ang. *Programmable Logic Controller*) jest uniwersalnym urządzeniem mikroprocesorowym, przeznaczonym do sterowania pracą maszyny lub urządzenia technologicznego. Sterownik PLC jest dopasowany do konkretnego obiektu sterowania dzięki wprowadzeniu do jego pamięci programu sterowania obiektem. Sterownik wyposaża się w odpowiednią liczbę układów wejściowych odnotowujących informacje o stanie obiektu oraz odpowiednią liczbę układów wyjściowych sprzężonych z elementami wykonawczymi [2, 5, 8].

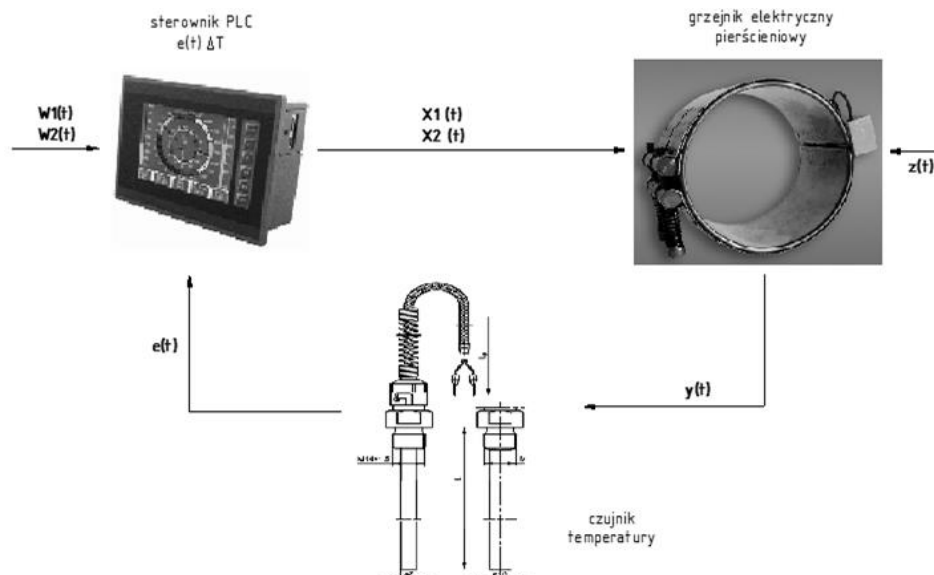
4. SCHEMAT UKŁADU REGULACJI

Na rysunku 3 przedstawiono schemat obiegu sygnałów pochodzących z czujników temperatury podłączonych do sterownika PLC. Układ tworzy pętlę sprzężenia zwrotnego w układzie sterowania temperaturą wylączarki i głowicy.

Wyjście układu $y(t)$ jest porównywane z wartością zadaną $w(t)$, a różnica tych dwóch wielkości jest uchybem $e(t)$ podawanym na wejściu do regulatora PLC. Dzięki takiemu zestawowi sygnałów regulator otrzymuje informację o rzeczywistej różnicy sterowania. Na podstawie wyznaczonego uchybu $e(t)$ algorytm zaimplementowany w sterowniku zmienia wartość wejściową do grzejnika $x(t)$. Proces regulacji temperatury polega na naprzemiennym załączaniu lub wyłączaniu grzejnika aż do zmniejszenia uchybu do zadanego poziomu akceptacji.

W procesie wylączania stosowane są przeważnie grzejniki elektryczne, które pobierają najwyższą moc przy ogrzewaniu. Praktyka pokazuje, że temperatura rzeczywista grzejnika często przewyższa temperaturę roboczą, dzięki czemu przez odpowiednie sterowanie ogrzewaniem można zaoszczędzić zużywaną moc [8].

W celu uniknięcia przekroczenia temperatury roboczej tworzywa w dwóch strefach głowicy (oraz jednocześnie we wszystkich strefach cylindra wylączarki), co wpływa niekorzystnie na przerabiane tworzywo, należy w odpowiedniej chwili ograniczyć lub odciąć dopływ prądu do grzejnika i tym samym spowodować jego ochłodzenie [4, 9].



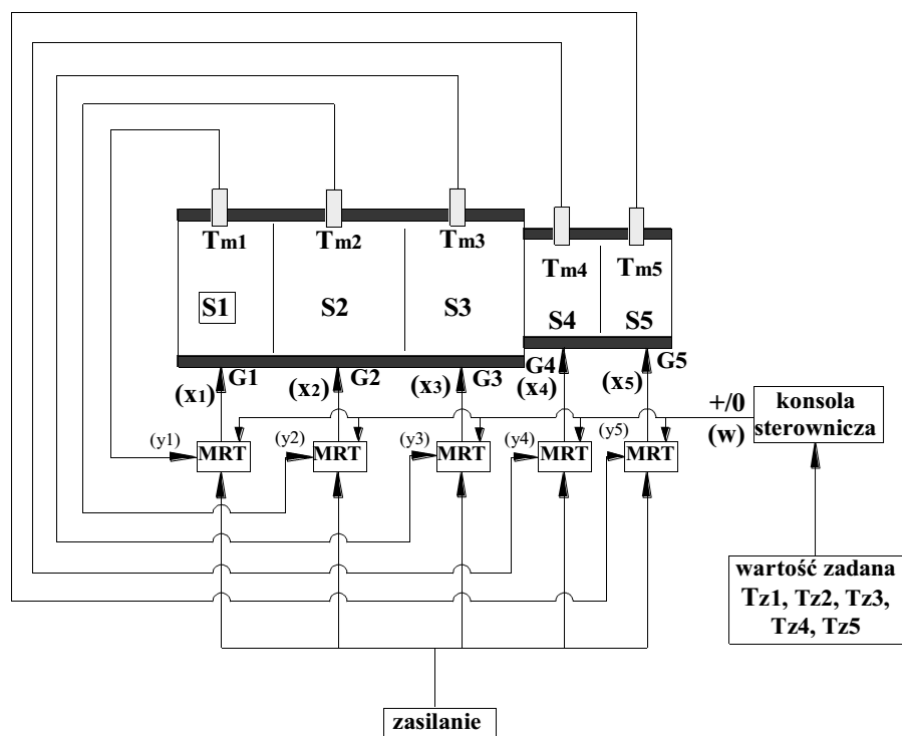
Rys. 3. Schemat blokowy sterowania temperaturą głowicy (wykonanie własne na podstawie [6, 12, 13]); $y(t)$ – temperatura odczytana przez czujnik na grzejniku, $e(t)$ – uchyb, wyrażający różnicę między temperaturą zadaną a temperaturą odczytaną przez czujnik temperatury, $w(t)$ – temperatura zadana przez operatora systemu, $x1(t), x2(t)$ – napięcie ustawiające temperaturę na grzejniku

Fig. 3. Block diagram of extruder head temperature control (performed by the authors on the basis of [6, 12, 13]); $y(t)$ – the temperature read by the sensors on the heaters, $e(t)$ – deviation, expressing difference between the set temperature and temperature read by the sensors, $w(t)$ – temperature set by the operator, $x1(t), x2(t)$ – setting voltage which regulate temperature in heater

Pierścieniowe grzejniki elektryczne, przedstawione w układzie sterowania na rysunku 4 (G1, G2, G3, G4 i G5), pełnią w układzie funkcję urządzenia wykonawczego, ponieważ dzięki zadanym sygnałom z sterownika PLC umożliwiają dostarczenie określonej wartości ciepła do układu. Każdy grzejnik wyposażony jest w regulator PID (MRT, rys. 4), który w zależności od otrzymywanych sygnałów steruje mocą grzałek [8].

Zastosowanie takiego rozwiązania powoduje, że regulacja temperatury przebiega płynnie w porównaniu z wykorzystaniem styczników mechanicznych, dających możliwość sterowania pracą grzejników w sposób dwustanowy (regulacja skokowa) [11].

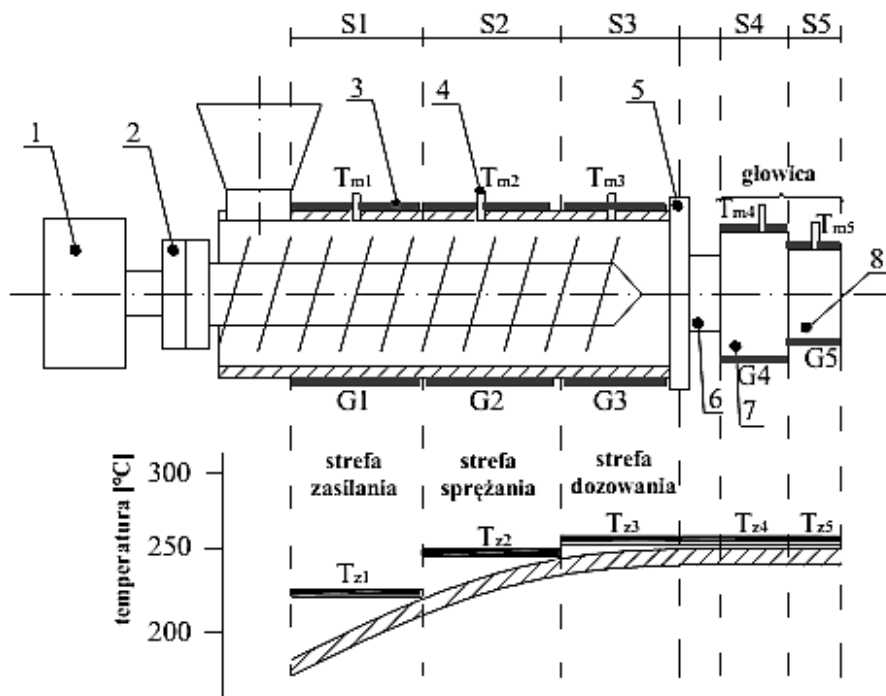
Podczas projektowania systemu regulacji temperaturą cylindra i głowicy wylączarskiej bardzo ważne jest kompleksowe zbieranie informacji, tak aby zobrazować wszelkie zmiany zachodzące w układzie. Niezwykle istotne jest odpowiednie rozmieszczenie czujników temperatury. Czujniki te przekazują sygnały do sterownika, który zgodnie z algorytmem sterowania reguluje pracą grzejników pierścieniowych wylączarki.



Rys. 4. Układ sterowania głowicy (wykonanie własne na podstawie [3]);
 T_m (1–5) – temperatury odczytane z czujników temperatury, T_z (1–5) – zadane temperatury pracy, $G1$ – $G5$ – grzejniki elektryczne, $S1$ – $S5$ – kolejne strefy grzewcze wylacarki i głowicy, x – sygnał zmienny wyjściowy (sygnał nastawiający), E , De – zmienne wejściowe, y – wielkość regulowana (sterowana), w – zadana wartość wielkości regulowanej (sterowanej), e – odchylenie regulacji sterowania

Fig. 4. The extruder head control system (performed by the authors on the basis of [3]);
 T_m (1–5) – the temperature reads by the temperature sensors, T_z (1–5) – setted operational temperatures, $G1$ – $G5$ – electric heaters, $S1$ – $S5$ – consecutive heating zones in extruder and extruder head, x – variable output signal (signal biasing), E , De – input variables, y – regulated variable (controlled), w – set value of the manipulated variable (controlled), e – operational control deviation

Na rysunku 5 przedstawiono zakres temperatur dla poszczególnych stref wylacarki podczas wylaczania poliamidu. Przy przetwórstwie tworzyw sztucznych kluczowe jest utrzymywanie temperatury wylaczania w określonym (zwykle niewielkim) zakresie. Jest to ściśle związane z jakością wyrobu końcowego. Dla przykładu uplastyczniony poliamid nie ma skłonności do samoistnego rozkładu, lecz przy przegrzaniu mogą powstawać niewielkie pęcherzyki lub materiał może się przypalać.



Rys. 5. Widok wylączarki wraz z głowicą oraz zakres temperatur wylączania poliamidu (wykonanie własne);

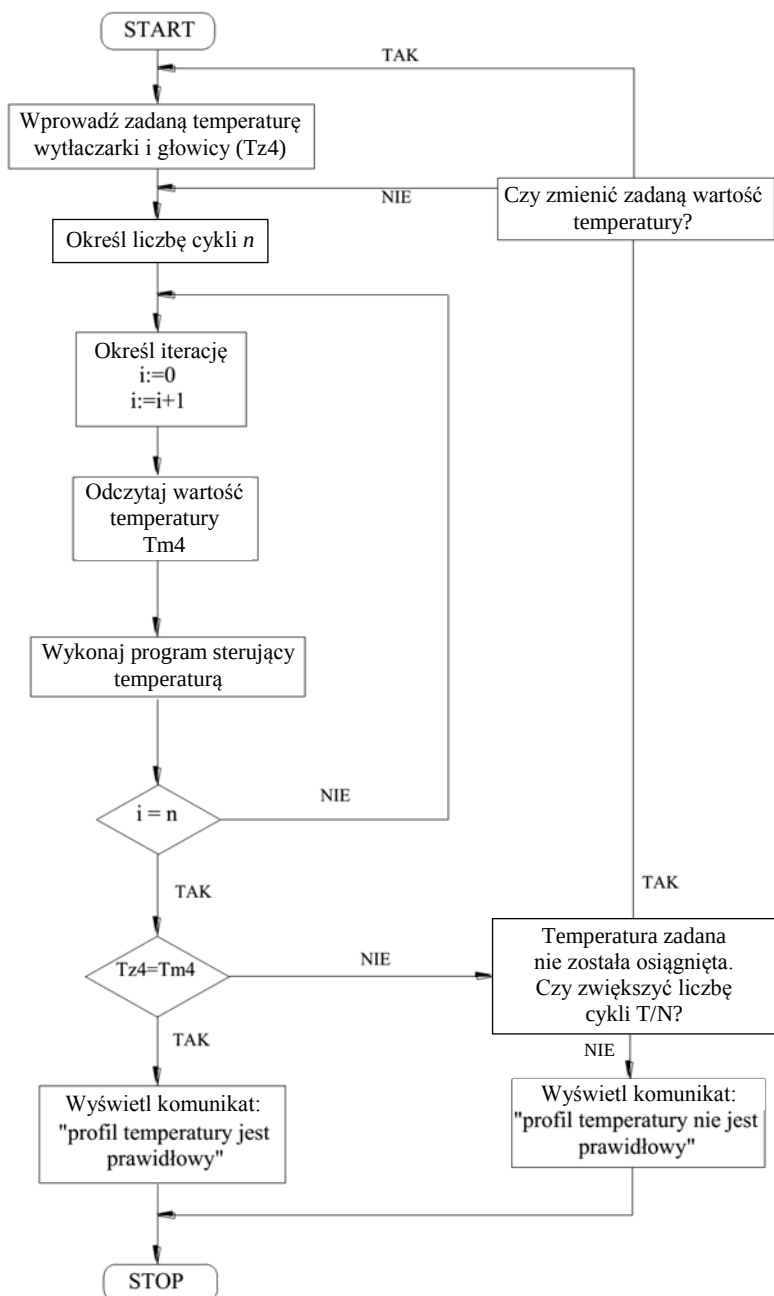
1 – napęd, 2 – sprzęgło, 3 – grzejniki elektryczne, 4 – termopary, 5 – przyłącze, 6 – łącznik głowicy, 7 – strefa rozprzodkująca głowicy, 8 – strefa kształtująca głowicy, T_m (1–5) – temperatury odczytane z czujników temperatury, T_z (1–5) – zadane temperatury pracy, G1–G5 – grzejniki elektryczne, S1–S5 – kolejne strefy grzewcze wylączarki i głowicy

Fig. 5. The extruder view with extruder head and polyamide extrusion temperature range (performed by the authors);

1 – drive, 2 – coupling, 3 – electric heaters, 4 – thermocouple, 5 – terminal, 6 – connector, 7 – extrusion head distribution zone, 8 – extrusion head shaping zone, T_m (1–5) – the temperature reads by the temperature sensors, T_z (1–5) – settled operational temperatures, G1–G5 – electric heaters, S1–S5 – consecutive heating zones in extruder and extruder head

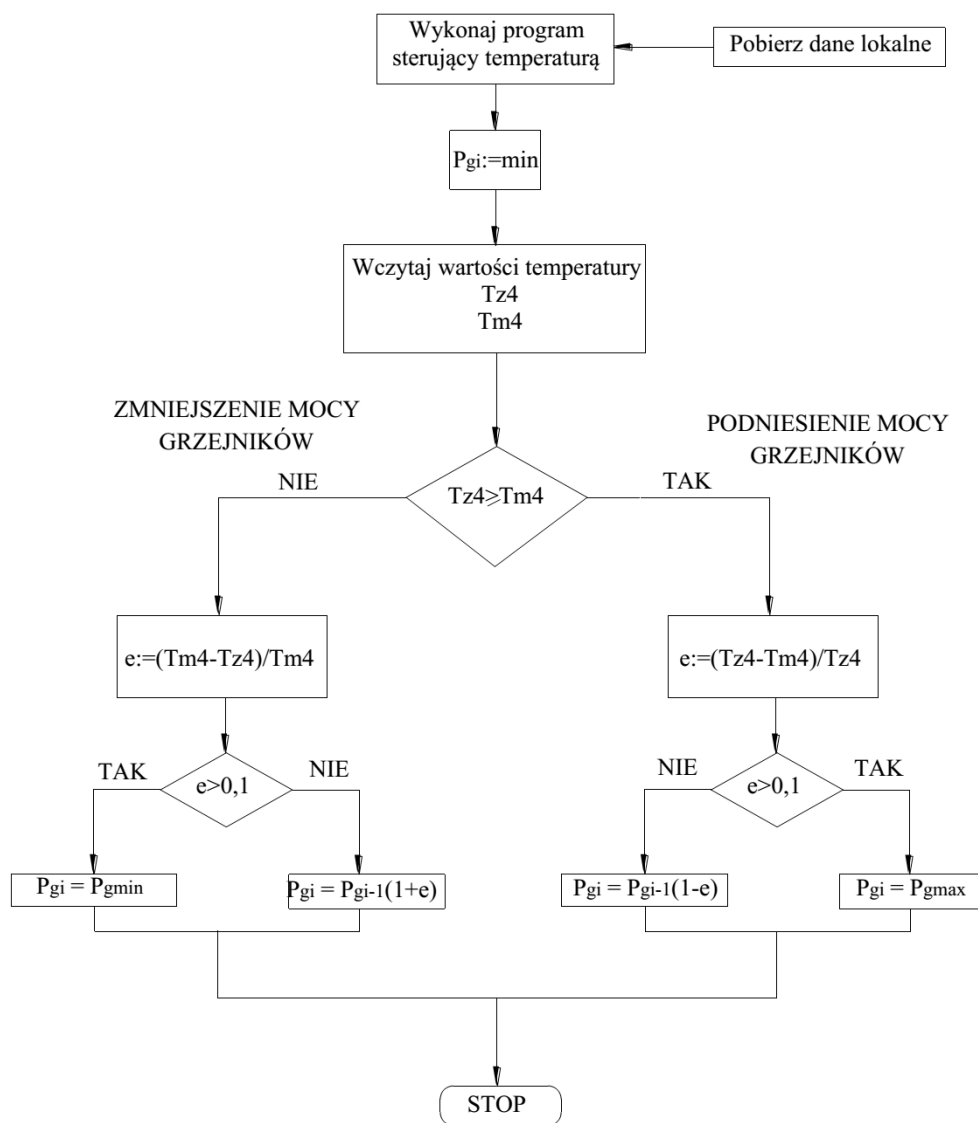
5. ALGORYTM STERUJĄCY PRACĄ UKŁADU

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono algorytmy regulujące temperaturami sektora czwartego wylączarki. W przypadku pozostałych sektorów algorytmy przybierają identyczną postać. Pierwszy z rysunków pokazuje ogólną zasadę pracy całego systemu sterowania temperaturą w wybranym sektorze, następny zaś (rys. 6) ilustruje zasadę regulacji grzania układu (doprowadzania ciepła).



Rys. 6. Schemat działania układu sterowania temperaturą stref grzejnych wytłaczarki i głowicy (wykonanie własne na podstawie [11])

Fig. 6. Diagram of the operational system controlling the temperatures in heating zones of extruder and extruder head (performed by the authors on the basis of [11])



Rys. 7. Algorytm działania podprogramu sterowania temperaturą stref grzejnych wylączarki i głowicy (wykonanie własne na podstawie [11])

Fig. 7. The algorithm of subprogram of temperature control in heating zones of extruder and extruder head (performed by the authors on the basis of [11])

Proces sterowania polega na tym, że sterownik PLC odbiera wartości mierzone przez termoparę $Tm4$ dla danego układu wylączarki. Następnie wartość zmierzona jest porównywana z zadaną wartością temperatury pracy optymalnej dla danej strefy wylączarki, tj. $Tz4$. Dodatkową wartością zadaną jest liczba cykli pracy n . Program sterujący temperaturą oprócz doprowadzania ciepła do układu w zależności od różnicy temperatur potrafi również regulować moc grzania

w zależności od wielkości różnicy temperatury zmierzonej i zadanej. Gdy temperatura poszczególnych stref układu jest wyższa od zadanej, algorytm pracuje w trybie zmniejszania mocy doprowadzanej do grzejników. Dla tego trybu badany jest uchyb $e(t)$, dzięki któremu można określić wartość różnicy temperatur. Gdy różnica temperatur jest większa od założonego uchybu, wówczas następuje zmniejszenie do minimum mocy doprowadzonej do grzejników.

Z kolei, gdy temperatury poszczególnych stref układu są mniejsze od wartości zadanych, układ przechodzi w tryb doprowadzania mocy do grzejników. Im zmierzony uchyb jest większy, tym proporcjonalnie zwiększa się moc grzania. Wraz ze zmniejszeniem się różnicy temperatur obniża się intensywność grzania. Dla wszystkich stref grzewczych cylindra wytłaczarki i głowicy urządzeniem wykonawczym są grzejniki elektryczne, a sterowanie ich mocą odbywa się dzięki wbudowanym regulatorom mocy, składającym się m.in. z triaka, radiatora i sterownika PID, który w zależności od otrzymanych sygnałów steruje mocą grzałek. Dzięki zastosowaniu takiego oprzyrządowania sterowanie grzaniem wytłaczarki jest procesem płynnym, uporządkowanym oraz jest zależne proporcjonalnie od różnicy temperatur.

6. SYMULACJA PROCESU W ŚRODOWISKU MATLAB/SIMULINK

Do symulacji zjawisk cieplnych zachodzących w wytłaczarce z reguły stosuje się modele matematyczne oparte na teorii sterowania dotyczącej opisu obiektu oraz technikach regulacji temperatury z wykorzystaniem cyfrowych algorytmów regulacji. W celu zbadania wpływu proponowanego rozwiązania sterowania na jakość procesu regulacji zbudowano w środowisku MATLAB/Simulink model przedstawiony na rysunku 8.

Niniejsza symulacja dotyczy strefy czwartej wytłaczarki. Symulacja jest pierwszą z planowanych, co wiąże się z tym, że przyjęto dość duże uproszczenia. Przyjęto zatem następujące założenia:

- model procesu regulacji jest statyczny, tzn. że spełnia warunki w założonym przedziale wartości;
- model symuluje temperaturę wewnątrz strefy czwartej głowicy wytłaczarskiej;
- prędkość przepływu czynnika jest na tyle niska, że pominięto inertancję czynnika;
- uwzględniono straty ciepła do otoczenia;
- nie brano pod uwagę przepływu ciepła z i do sąsiednich sekcji, ponieważ temperatura robocza sąsiednich stref jest taka sama jak temperatura w analizowanej strefie;
- rozkład temperatur wewnątrz analizowanej strefy jest jednakowy.

Równanie bilansu cieplnego sektora przyjmuje postać:

$$\frac{dT_r}{dt} = \frac{1}{M_{hp} \cdot c_p} \left(\frac{dQ_{gain}}{dt} - \frac{dQ_s}{dt} \right). \quad (1)$$

Ciepło dostarczone przez grzejnik wyznaczono z zależności:

$$Q_{gain} = m_{hp} \cdot c_p (T_g - T_r). \quad (2)$$

Strumień ciepła przyjmie wówczas postać:

$$\frac{dQ_{gain}}{dt} = M_{hp} \cdot c_p (T_g - T_r). \quad (3)$$

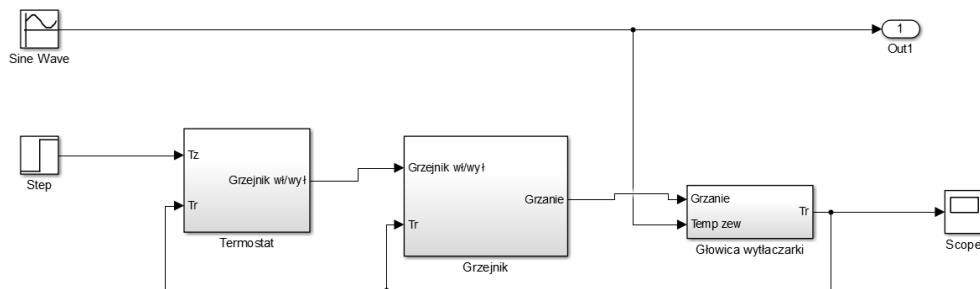
Ciepło strat ma postać:

$$\frac{dQ_s}{dt} = \left(\frac{T_r - T_{zew}}{R} \right). \quad (4)$$

Przyjęto następujące oznaczenia (rys. 8, równania 1÷4): T_z – temperatura zadana [K], T_r – temperatura regulacji [K], T_g – temperatura grzejnika [K], Q_{gain} – ciepło dostarczone przez piec [J], Q_g – ciepło przepływające z grzejnika do głowicy [J], Q_s – ciepło strat [J], M_{hp} – strumień masy tworzywa przepływający przez sektor [kg/h], m_{hp} – masa tworzywa [kg], c_p – ciepło właściwe tworzywa [J/kgK], R – opór cieplny z sekcji wylączarki na obudowę [m²K/W].

Dla celów symulacji i modelowania dynamiki strefy wylączarki wpływ poszczególnych sąsiednich stref został pominięty, a wartość R została przyjęta jako wartość liczbową reprezentująca wypadkowy opór konstrukcji sektora.

Na podstawie zależności (1), (3), (4) zbudowano model strefy wylączarki w środowisku MATLAB/Simulink, który przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Model głowicy wylączarskiej ogrzewanej piecem sterowanym za pomocą termostatu

Fig. 8. The extrusion head model heated by thermostatic controlled heater

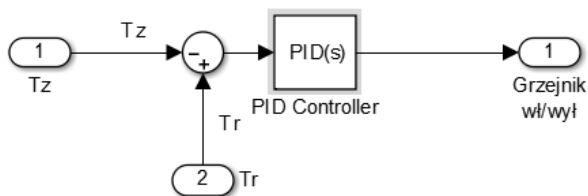
Próby modelu układu regulacji temperatury w sektorze czwartym wylączarki przeprowadzono dla zadanej temperatury 250°C (określona w technologii temperatura wylączania poliamidu), temperatury otoczenia 25°C zmieniającej się w granicach $\pm 4^\circ\text{C}$ i parametrów regulatora PID:

- dla odpowiedzi aperiodycznej o minimalnym czasie regulacji ($K_p = 0,35$, $K_i = 2,4$, $K_d = 0,4$);
- dla odpowiedzi oscylacyjnej o minimalnym czasie regulacji ($K_p = 1,2$, $K_i = 2$, $K_d = 0,4$);
- dla odpowiedzi minimalizującej całką ISE ($K_p = 0,3$, $K_i = 1,3$, $K_d = 0,5$).

W układzie z rzeczywistym obiektem nastawy regulatora, oparte na wartościach podanych w literaturze przedmiotu ze względu na błąd aproksymacji mogą dawać przebiegi różniące się od założonych. Jednakże metoda ta jest skutecznym narzędziem wstępnego strojenia regulatora [1].

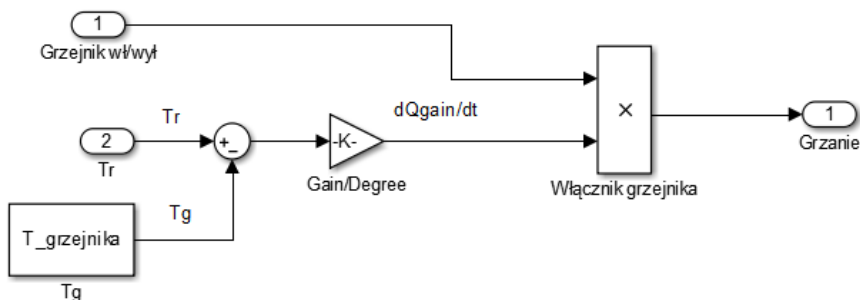
Blok „step” odpowiedzialny jest za aktywację układu. Po czasie 1 sekundy następuje zmiana zadanej temperatury z wielkości odpowiadającej temperaturze otoczenia na wielkość 250°C . Wówczas następuje uruchomienie procesu. Termostat zadaje sygnał sterujący do pieca, który po włączeniu nagrzewa wnętrze sektora głowicy wylączarskiej. Blok „sin wave” symuluje zmieniającą się temperaturę zewnętrzną.

Model układu został zbudowany na podstawie trzech podsystemów. Pierwszym jest podsystem termostatu, który przedstawiono na rysunku 9. Jego głównym elementem składowym jest regulator PID. Kolejnym podsystemem jest grzejnik (rys. 10), ostatnim – jest sektor głowicy wylączarskiej (rys. 11).



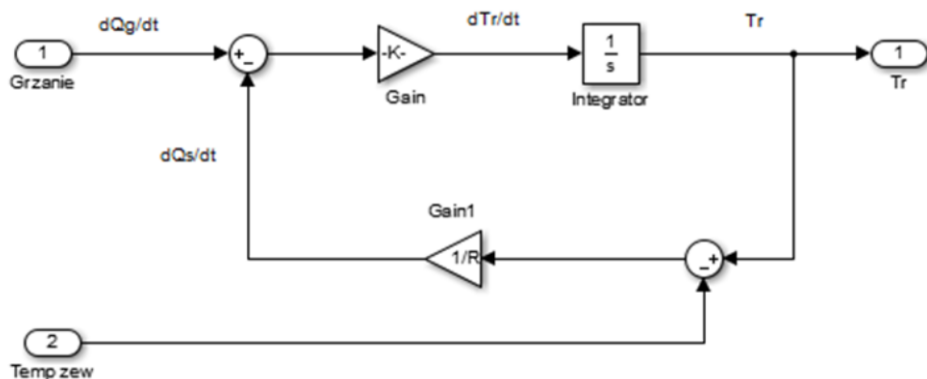
Rys. 9. Model termostatu ze sterownikiem PID

Fig. 9. Thermostat model with PID controlling



Rys. 10. Model grzejnika

Fig. 10. Heater model

**Rys. 11.** Model sektora głowicy wylączarskiej**Fig. 11.** The extrusion head sector model

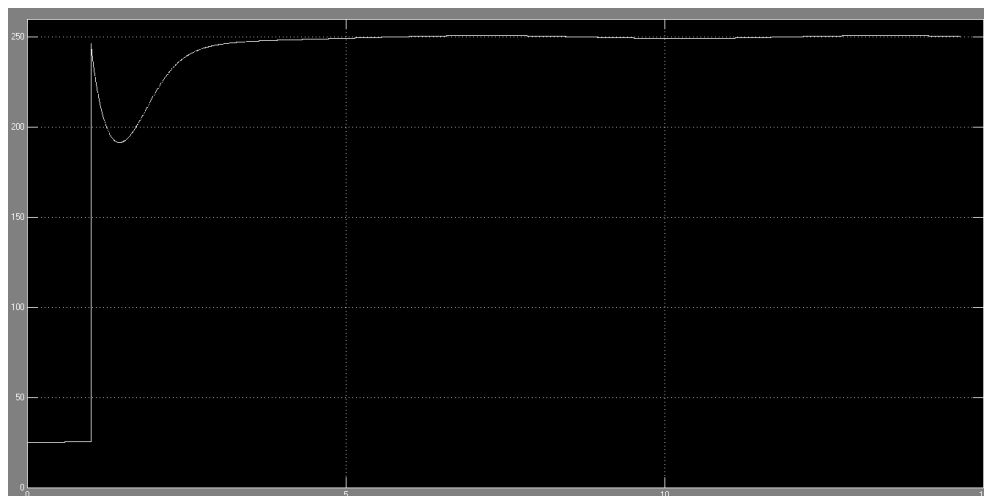
Wyniki symulacji ujęto na wykresach (rys. 12–14), gdzie na osi pionowej przedstawiono temperaturę panującą w sektorze głowicy wylączarskiej [°C]. Wykresy wynikowej temperatury regulacji w sektorze głowicy wylączarskiej są następujące:

- temperatura dla nastaw regulatora PID dla odpowiedzi aperiodycznej o minimalnym czasie regulacji – rysunek 12;
- temperatura dla nastaw regulatora PID dla odpowiedzi oscylacyjnej o minimalnym czasie regulacji – rysunek 13;
- temperatura dla nastaw regulatora PID dla odpowiedzi minimalizowanej całką ISE – rysunek 14.

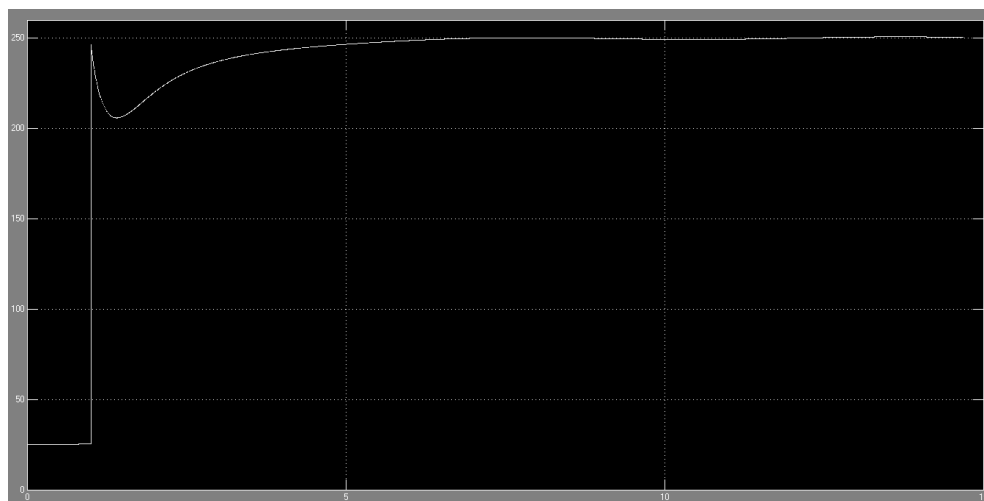
Z przeprowadzonej symulacji wynika, że zastosowanie regulatorów PID do sterowania temperaturą w procesach przemysłowych, np. podczas wylączania tworzyw sztucznych, poprawia znacząco jakość regulacji. Temperatura utrzymywana jest niemalże na równym poziomie. Odpowiedź układu jest statyczna z niewielkim przeregulowaniem. Odchylenia temperatury od wartości zadanej dla analizowanych warunków symulacji wynoszą około $\pm 1^\circ\text{C}$. Dla nastawy z odpowiedzią minimalizowaną całką ISE odchylenie jest o około $0,5^\circ\text{C}$ większe niż w pozostałych dwóch przypadkach. Najmniejszy czas osiągnięcia zadanej wartości jest dla odpowiedzi aperiodycznej. Dla pozostałych badanych odpowiedzi czas narastania jest dłuższy.

Należy przypuszczać, że badając różne rodzaje korekt parametrów poszczególnych członów regulatora, możliwe jest osiągnięcie najbardziej optymalnych warunków regulacji temperatury.

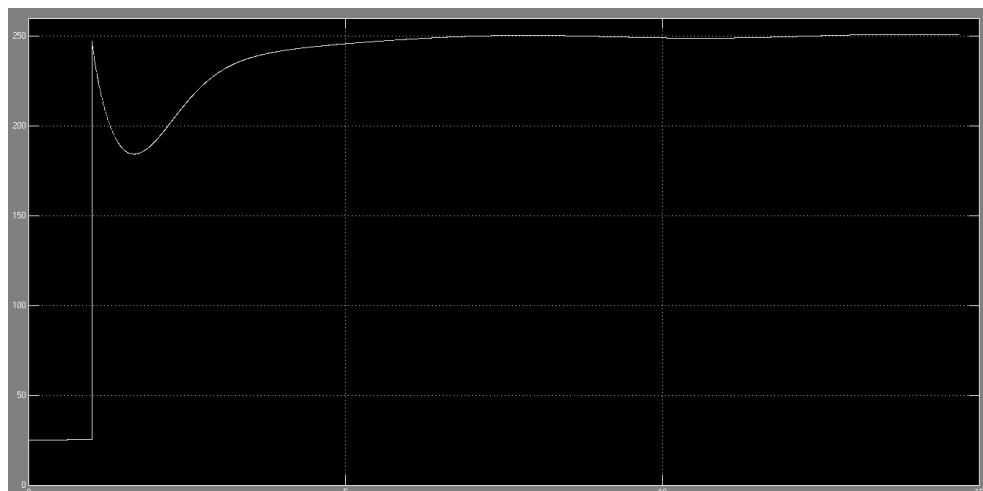
Bardzo interesujące wydaje się także zastosowanie regulacji adaptacyjnej do sterowania temperaturą podczas wylączania tworzyw sztucznych. Zobrazowanie wyników zastosowania tego typu regulacji wymaga zbudowania nowego modelu i przeprowadzenia dalszych symulacji.



Rys. 12. Temperatura w sektorze głowicy wylączarskiej dla odpowiedzi aperiodycznej
Fig. 12. Temperature in the sector of extrusion head for aperiodic response



Rys. 13. Temperatura w sektorze głowicy wylączarskiej dla odpowiedzi oscylacyjnej
Fig. 13. Temperature in the sector of extrusion head for oscillating response



Rys. 14. Temperatura w sektorze głowicy wylączarskiej dla odpowiedzi minimalizowanej całką ISE

Fig. 14. Temperature in the sector of extrusion head for response minimized by ISE integral

PODSUMOWANIE

Właściwa temperatura wylączarki tworzyw sztucznych i jej głowicy jest bardzo ważnym parametrem w procesie przetwórstwa, gdyż w istotny sposób wpływa na jakość procesu, a także na klasę wykonanego elementu.

Układ regulacji temperatury stref grzewczych cylindra i głowicy wylączarki dokonuje pomiaru, wykorzystując termometry elektryczne składające się z czujnika/miernika oraz przewodów łączących. Miernikiem jest człon wejściowy regulatora, w którym wartość rzeczywista temperatury strefy jest ukazywana w postaci odchyłki regulacji. Do regulacji temperatury w każdej strefie głowicy jest stosowany sterownik PLC. Elementem wykonawczym doprowadzającym ciepło do głowicy w układzie są grzejniki elektryczne pierścieniowe.

Właściwa regulacja temperatur procesowych zapewnia pełną kontrolę nad procesem. Wyroby charakteryzują się wysoką jakością, prawidłowym rozmiarem i nieskazitelnymi powierzchniami. Dzięki utrzymywaniu stałej temperatury procesu zwiększa się trwałość wylączarek oraz obniża się wartość zużywanej energii elektrycznej. Zastosowanie nowoczesnych technologii sterowania umożliwia zmniejszenie liczby braków, minimalizację odpadów, co z kolei wpływa na podniesienie jakości wyrobów i zmniejszenie kosztów ich produkcji, pociągając za sobą niższą cenę detaliczną wyrobu.

Regulacja z wykorzystaniem regulatora PID umożliwia regulację temperatury układu z przeregulowaniem $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Takie wąskie pole tolerancji jest bardzo istotne przy wytłaczaniu tworzyw sztucznych z dodatkiem barwnika, który jest niezwykle czuły na wahania temperatur. Pozwala to uzyskiwać identyczny odcień w różnych partiach produktu.

LITERATURA

1. Kaczorek T., *Teoria układów regulacji automatycznej*, WNT, Warszawa 1974.
2. Kamiński K., *Podstawy sterowania z PLC*, Wyd. Krzysztof Kamiński, Gdynia 2009.
3. Mazurek J., Vogt H., Żydanowicz W., *Podstawy automatyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
4. Olszewski M., *Mechatronika*, opracowanie merytoryczne wersji polskiej: D. Schmid, A. Baumann, H. Kaufmann, H. Paetzold, Z. Bernhard, REA, Warszawa 2002.
5. Olszewski M., *Urządzenia i systemy mechatroniczne*, część I, REA, Warszawa 2009.
6. *Simex – pomiar i sterowanie*, internetowy katalog produktów firmy Limatherm Sensor Sp. z o.o.
7. Stasiek J., *Wytłaczanie tworzyw polimerowych – Zagadnienia wybrane*, Wyd. Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2007.
8. Szyfelbain M., *Komputerowe sterowanie temperaturą głowicy wytłaczarskiej*, praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2015.
9. Wróbel K., Łuczaj J., *Wytłaczanie tworzyw sztucznych*, PWT, Warszawa 1978.
10. *Wytłaczanie tworzyw sztucznych*, red. H. Zawistowski, PLASTECH, Wyd. Poradników i Książek Technicznych, Warszawa 1999.
11. Żelazny M., *Podstawy automatyki*, PWN, Warszawa 1976.
12. <http://www.alex.pl/grzejniki-mikanitowe.html> – data dostępu: 09.06.2015.
13. <http://www.plastech.pl/wiadomosci/Przetworstwo-tworzyw-temperatura-cylindra-i-dyszy-6973> – data dostępu: 09.06.2015.

AUTOMATIC CONTROL OF TEMPERATURE IN EXTRUDER AND EXTRUSION HEAD

Summary

The paper presents the construction and schema of extrusion head with cylindrical cross-section. The paper describes control system of temperature and shows components which are necessary to realise that function. The authors designed schema of temperature regulation system based on PLC. The authors created the algorithm which controlled the work of described system. Described process has been modeled and simulated in Matlab/Simulink environment.

Keywords: *plastics, plastics extrusion, extruder, extrusion head, temperature control.*