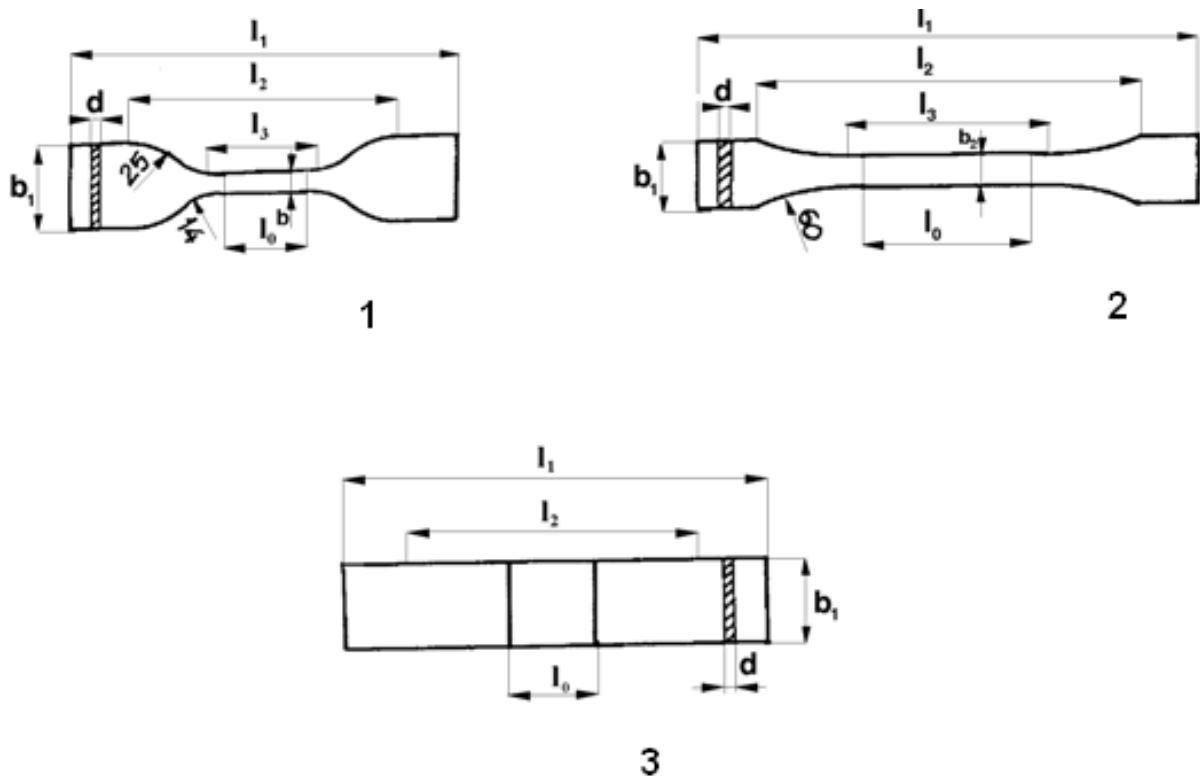


# 1. OZNACZANIE CECH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH PRZY STATYCZNYM ROZCIAGANIU

**Metoda polega na krótkotrwałym, statycznym naprężeniem rozciągającym próbkę zamocowaną osiowo aż do jej zerwania lub osiągnięcia maksymalnej siły**

W zależności od własności fizykomechanicznych badanego tworzywa stosuje się trzy typy próbek, których kształty i wymiary podano na rysunkach 1.1-1.3. i w tabeli 1.1.



Rys. 1.1. Kształtki do badań wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu (próbka małe wioselko (1), wioselko duże (2), prosta (3))

W przypadku zrywania się próbki typu 3 przy uchwytach należy jej końce wzmocnić na długości odcinków końcowych ( $l_4$ ) co najmniej 50 mm. Grubość wzmocnienia ( $d_1$ ) powinna wynosić  $3 \div 10$  mm, średnica ( $D$ ) otworu środkowego  $3^{+0.25}_{-0.005}$  mm.

Typ próbki, sposób przygotowania, grubość i prędkość rozciągania zależą od rodzaju tworzywa i jego postaci. Jeżeli w normach przedmiotowych dotyczących badanego tworzywa nie przewidziano inaczej, należy stosować próbkę typu 2 (rys. 1.1.). W uzasadnionych przypadkach można proporcjonalnie zmniejszyć wymiary np. w stosunku 1:2 lub 1:5 przy czym musi być zachowana taka sama prędkość odkształcania równoległej części próbki, wyrażona w mm/mm długości odcinka pomiarowego.

Do badania tworzyw izotropowych należy przygotować co najmniej 5 próbek. W przypadku tworzyw anizotropowych należy przygotować co najmniej 5 próbek dla każdego kierunku.

Próbki powinny mieć powierzchnię gładką i równą, bez pęcherzy, rys, wżerów i innych defektów. Typ próbki, sposób przygotowania zalecane szybkości jej odkształcania zależy od rodzaju tworzywa i jego postaci. Szczegółowe dane zestawiono w tabeli 1.2:

Tabela 1.1. Wymiary próbek do badań wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu:

Charakterystyka wymiarów	Typ próbek		
	1	2	3
Długość całkowita $l_1$ nie mniej niż, mm	115	150	250
Odległość między zaciskami uchwytów $l_2$ , mm	80±5	115±5	170±5
Długość części roboczej $l_3$ , mm	33±2	60±0,5	
Odcinek pomiarowy $l_0$ , mm	25±1	50±0,5	50±1
Szerokość części mocowanej w uchwytach $b_1$ , mm	25±1	20±0,5	25±0,5
Szerokość części roboczej $b_2$ , mm	6±0,4	10±0,5	
Większy promień zaokrąglenia $r_1$ , mm	25±1		
Mniejszy promień zaokrąglenia $r_2$ , mm	14±0,5	60	
Promień zaokrąglenia niemniej niż, mm			1÷6
Grubość $d$ , mm			

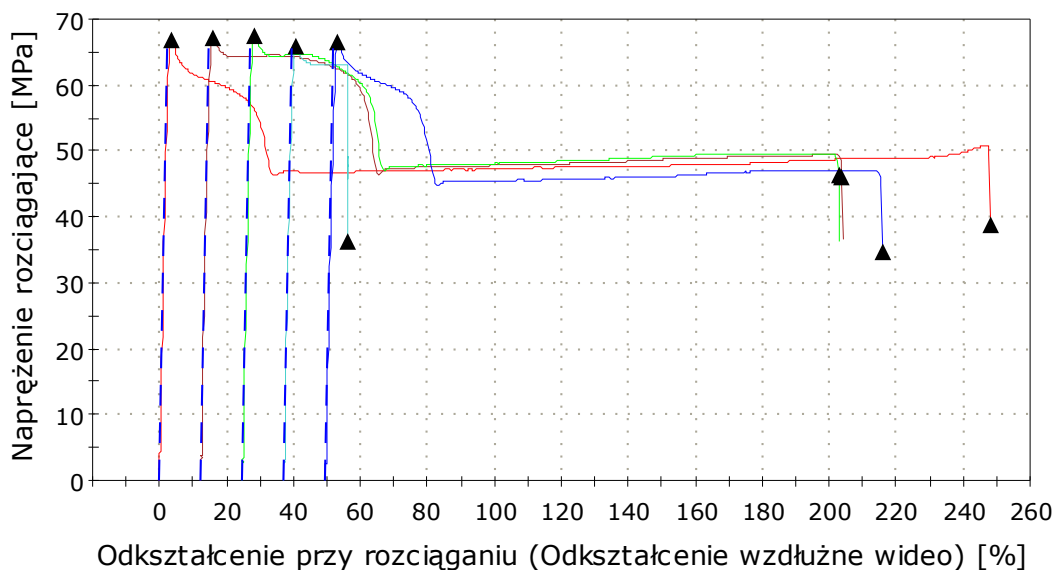
Tabela 1.2 Sposób przygotowania próbek do badań i zalecane prędkości odkształcania:

Materiał	Typ próbki	Sposób przygotowania	Grubość zalecana, mm	Prędkość rozciągania, mm/min
Giętkie arkusze termoplastyczne, mieszanki plastyfikowane do wylączania i wtrysku	1	prasowanie i wycinanie z arkuszy	2	100±10 200(250)±20
Sztywne termoplasty do wtrysku wyłączając mieszanki napełnione i zbrojone	2	wtrysk	4	2±0,4 5±1,0 20(25)±2,0 50±5,0 100±10
Sztywne masy do wylączania i wtrysku - termoplastyczne i termoutwardzalne, również laminaty techniczne i dekoracyjne	2	obróbka skrawaniem, wtrysk, prasowanie	4	1±0,5 2; 5; 10; 20(25); 50; 100
Tworzywa termoreaktywne, układy napełnione materiałami nieorganicznymi i organicznymi, płyty termoplastyczne wzmocnione	3	obróbka skrawaniem z arkuszy i płyt		2; 5; 10

## 1. WYKONANIE OZNACZENIA:

Oznaczenie należy wykonać w temperaturze  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej  $50\%\pm 5\%$ . Przed badaniem należy oznaczyć odcinek pomiarowy  $l_0$  o wymiarach wg tabeli 1.1., zmierzyć jego grubość i szerokość w trzech miejscach: w środku odcinka pomiarowego i w odległości 5 mm od obu jego krańców. Powierzchnię początkowego przekroju  $A_0$  oblicza się wykorzystując średnią arytmetyczną otrzymanych wyników. Próbki, w których różnice pomiędzy maksymalną a minimalną wartością grubości lub szerokości są większe niż 0.2 mm, należy odrzucić.

Próbki zamocowuje się w maszynie wytrzymałościowej tak, aby oś próbki była zgodna z kierunkiem rozciągania. Należy uniemożliwić wysuwanie się próbki podczas rozciągania przez równomierne mocne zaciśnięcie uchwytów. W czasie oznaczania rejestruje się w sposób ciągły obciążenie lub naprężenie i wydłużenie odcinka pomiarowego próbki. Z zależności obciążenia (naprężenia) w funkcji wydłużenia oznacza się wymagane wskaźniki badania na rozciąganie: maksymalne obciążenie rozciągające  $F_{max}$ , obciążenie, przy którym próbka uległa zerwaniu  $F_r$ , obciążenie rozciągające przy osiągnięciu granicy plastyczności  $F_s$  lub umownej granicy plastyczności  $F_{sx}$ , wydłużenie względne przy maksymalnym obciążeniu  $\varepsilon_z$ , wydłużenie względne przy zerwaniu  $\varepsilon_r$ , wydłużenie względne przy granicy plastyczności. Próbki, które ulegają zniszczeniu poza odcinkiem pomiarowym  $l_0$  lub w których wystąpiły defekty tworzywa podczas rozciągania należy odrzucić.



Rys. 1.2. Krzywe otrzymane podczas próby statycznego rozciągania poliamidu 6 (wykres przeniesiony z maszyny wytrzymałościowej Instron)

## 2. OPRACOWANIE WYNIKÓW

2.1. Wartości naprężenia przy rozciąganiu  $\sigma$  [MPa] należy obliczyć z wzorów:

- maksymalne naprężenie rozciągające  $\sigma_z$ :

$$\sigma_z = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

- naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_r$ :

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A_0}$$

- granica plastyczności  $\sigma_s$ :

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

- naprężenie przy umownej granicy plastyczności  $\sigma_{sx}$ :

$$\sigma_{sx} = \frac{F_{sx}}{A_0}$$

gdzie:

$F_{\max}$  - obciążenie maksymalne przy badaniu na rozciąganie, N,

$F_r$  - obciążenie przy którym próbka uległa zerwaniu, N,

$F_s$  - obciążenie rozciągające przy osiągnięciu granicy plastyczności, N,

$F_{sx}$  - obciążenie rozciągające przy osiągnięciu umownej granicy plastyczności, N,

$A_0$  - pole powierzchni początkowego przekroju próbki, mm<sup>2</sup>.

2.2. Wartości wydłużenia  $\varepsilon$  [%] należy obliczyć wg wzorów:

- wydłużenie względne przy maksymalnym obciążeniu  $\varepsilon_z$ :

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta l_z}{l_0} \cdot 100$$

- wydłużenie względne przy zerwaniu  $\varepsilon_r$ :

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_r}{l_0} \cdot 100$$

- wydłużenie względne przy granicy plastyczności  $\varepsilon_s$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_s}{l_0} \cdot 100$$

gdzie:

$\Delta l_0$ - zmiana długości odcinka pomiarowego próbki w chwili maksymalnego obciążenia,  
mm,

$\Delta l_r$ - zmiana długości odcinka pomiarowego próbki w chwili zerwania, mm,

$\Delta l_s$ - zmiana długości odcinka pomiarowego próbki w chwili osiągnięcia granicy plastyczności, mm,

$l_0$ - początkowa długość odcinka pomiarowego, mm.

Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną poszczególnych wyników obliczona z dokładnością do dwóch miejsc znaczących.

2.3 Obliczyć niedokładność wyznaczenia wartości naprężenia rozciągającego  $\Delta\sigma$  wg wzoru:

$$\Delta\sigma = \frac{\delta\sigma}{100} \cdot \sigma$$

$$\text{dla } \delta\sigma = [|\delta F| + |\delta h| + |\delta b|], \quad \delta F = kl \cdot \frac{F_{zakr.}}{F}, \quad \delta h = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100, \quad \delta b = \frac{\Delta b}{b} \cdot 100$$

gdzie:

$\delta\sigma$  - błąd względny wyznaczenia wartości naprężenia rozciągającego, %,

$\delta F$  - błąd względny wyznaczenia wartości obciążenia, %,

$\delta h$  - błąd względny wyznaczenia wartości wysokości próbki, %,

$\delta b$  - błąd względny wyznaczenia wartości szerokości próbki, %,

$kl$  - klasa przyrządu odczytana z podziałki (dopuszczalny błąd pomiaru odniesiony do wybranego zakresu), %,

$\sigma$  - naprężenie rozciągające, N,

$F_{zakr.}$  - zakres mierzonego obciążenia, N,

$F$  - zmierzone obciążenie, N,

$\Delta h$  - bezwzględny błąd wyznaczenia wysokości próbki (równy wartości rozdzielczości suwmiarki cyfrowej,  $\Delta h=0.01$  mm),

$\Delta b$  - bezwzględny błąd wyznaczenia szerokości próbki,  $\Delta b=0.01$  mm,

$h$  - zmierzona wysokość próbki (wartość średnia z serii pomiarów), mm,

$b$  - zmierzona szerokość próbki (wartość średnia z serii pomiarów), mm.

## 2. OZNACZANIE CECH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH PRZY STATYCZNYM ZGINANIU.

**Metoda ta polega na krótkotrwałym, statycznym obciążeniu zginającym próbkę w postaci prostopadłościennej beleczki swobodnie wspartej na dwóch podporach siłą skupioną działającą w osi symetrii próbki – do osiągnięcia strzałki ugięcia określonej w normie przedmiotowej (dla próbek łamiących się przed lub w chwili osiągnięcia umownej strzałki ugięcia) lub do złamania próbki (w przypadku próbek, które nie ulegną złamaniu przed lub w chwili osiągnięcia umownej strzałki ugięcia).**

**Strzałka ugięcia** jest to odległość, którą przebywa punkt zewnętrznej płaszczyzny (górnej lub dolnej) obciążonej próbki wzdłuż linii wywierania nacisku w czasie zginania.

Próbki do oznaczania cech wytrzymałościowych przy zginaniu powinny być wykonane w sposób podany w normie przedmiotowej dotyczącej badanego tworzywa. W przypadku materiałów anizotropowych należy próbki wycinać tak aby naprężenie zginające przy oznaczaniu było przyłożone w tym samym kierunku jak przy użytkowaniu wyrobów z tych materiałów. W przypadku materiałów warstwowych należy zwrócić uwagę na orientację lub kierunek. Próbki normalne powinny mieć kształt prostopadłościanu o wymiarach podanych w tabeli 2.1.:

Tabela 2.1. Wymiary próbek do badań wytrzymałościowych przy statycznym zginaniu:

Długość $l$ , mm	Szerokość $b$ , mm	Wysokość $h$ , mm
80	$10 \pm 0.5$	$4 \pm 0.2$

W przypadkach koniecznych norma dopuszcza stosowanie próbek o innych wymiarach z zachowaniem następujących proporcji wymiarów:  $l \geq 20h$ ,  $10 \text{ mm} \leq b \leq 25 \text{ mm}$  z wyłączeniem tworzyw zawierających gruboziarniste napełniacze, dla których:  $20 \text{ mm} \leq b \leq 50 \text{ mm}$ . W przypadku tworzyw warstwowych, niezależnie od grubości płyty warstwowej i sposobu wycięcia kształtek, próbki należy doprowadzić do wymiarów podanych w tabeli 1. przez obustronne obrobienie płyty.

Do oznaczenia należy przygotować co najmniej 5 próbek. W przypadku materiałów anizotropowych do oznaczenia potrzeba przygotować co najmniej 5 próbek dla każdego kierunku.

## 1. WYKONANIE OZNACZENIA

Dla każdej z próbek należy zmierzyć w połowie długości jej szerokość  $b$  z dokładnością do 0.1 mm i wysokość  $h$  z dokładnością do 0.02 mm. Rozstaw podpór maszyny wytrzymałościowej należy ustawić tak aby wynosił od 15 do 17  $h$  a następnie zmierzyć z dokładnością do 0.5%. Względną prędkość przesuwu naciskającego trzpienia ustalić zgodnie z normami przedmiotowymi dotyczącymi badanego tworzywa. W przypadku braku tych wskazań względną prędkość posuwu naciskającego trzpienia  $v$ , oblicza się wg wzoru:

$$v = \frac{S_r \cdot l_r^2}{6 / h}$$

gdzie:

$l_r$  - rozstaw podpór, mm,

$S_r$  - prędkość odkształcania (zgodna z normą przedmiotową lub równa 0.01 mm/min),

$h$  - wysokość próbki, mm.

Próbkę ułożyć na podporach w sposób wskazany na rys.1 i obciążyć ją w środku między podporami. Trzpień wywierający nacisk powinien stykać się z próbka liniowo.

Zmierzyć:

- obciążenie  $F$  [N] i strzałkę ugięcia  $z$  [mm] przy złamaniu dla próbek łamiących się przed lub w chwili osiągnięcia umownej strzałki ugięcia,
- obciążenie  $F$  [N] przy umownej strzałce ugięcia dla próbek, które nie łamią się przed lub w chwili osiągnięcia umownej strzałki ugięcia,
- maksymalne obciążenie  $F_{max}$  [N] i odpowiadającą mu strzałkę ugięcia  $z'$  [mm] w przypadku próbek wykazujących maksymalne obciążenie przed osiągnięciem umownej strzałki ugięcia.

Jeżeli próbka złamie się w obszarze środkową trzecią częścią rozstawu podpór, pomiaru tego nie uwzględnia się.

## 2. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Obliczyć naprężenie zginające  $\sigma_f$  w MPa przy obciążeniu  $F$  wg wzoru:

$$\sigma_f = \frac{M}{W} \quad \text{gdzie} \quad M = \frac{F \cdot l}{4}, \quad W = \frac{bh^2}{6}$$

w których:

$M$  - moment zginający, N·mm,

$W$  - wskaźnik wytrzymałości przekroju, mm<sup>3</sup>,

$F$  - przyłożone obciążenie, N,

$L$  - rozstaw podpór, mm,

$b$  - szerokość próbki, mm,

$h$  - wysokość próbki, mm.

Ostatecznie

$$\sigma_f = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Dla dokładniejszego obliczenia naprężenia zginającego, z uwzględnieniem składowej poziomej momentu zginającego przy strzałce ugięcia należy skorzystać z następującego wyrażenia:

$$\sigma_f = \frac{3Fl}{2bh^2} \left(1 + \frac{4z^2}{l^2}\right)$$

gdzie:

$z$  - strzałka ugięcia w osi obciążenia próbki, mm.

Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników wykonanych oznaczeń. Dla każdej badanej próbki należy podać rodzaj występującego złamania (naprężenie spowodowane naprężeniami rozciągającymi lub ściskającymi bądź ścinającymi).



### 3. OZNACZANIE UDARNOŚCI METODĄ CHARPY'EGO

**Oznaczenie udarności metodą Charpy'ego polega na dynamicznym złamaniu prostopadłościennej próbki bez karbu lub z karbem.** Próbki powinny mieć wymiary zgodne z tabelą 3.1.:

Tabela 3.1. Wymiary próbek do oznaczania udarności

Długość $l$ , mm	Szerokość $b$ , mm	Wysokość $h$ , mm
120±2	15±0.5	10±0.5
80±1	10±0.2	4±0.2
50±1	6±0.2	4±0.2

W zależności od rodzaju tworzywa, próbki do oznaczeń udarności powinny być wykonane jednym z podanych sposobów:

- z tworzyw termoutwardzalnych należy wykonać próbki metodą prasowania,
- z tworzyw termoplastycznych należy wykonać próbki przez prasowanie lub wtrysk,
- z tworzyw warstwowych uformowanych w płyty należy wykonać próbki przez wycięcie lub wyfrezowanie (kierunek uderzenia młota powinien być równoległy lub prostopadły do warstw).

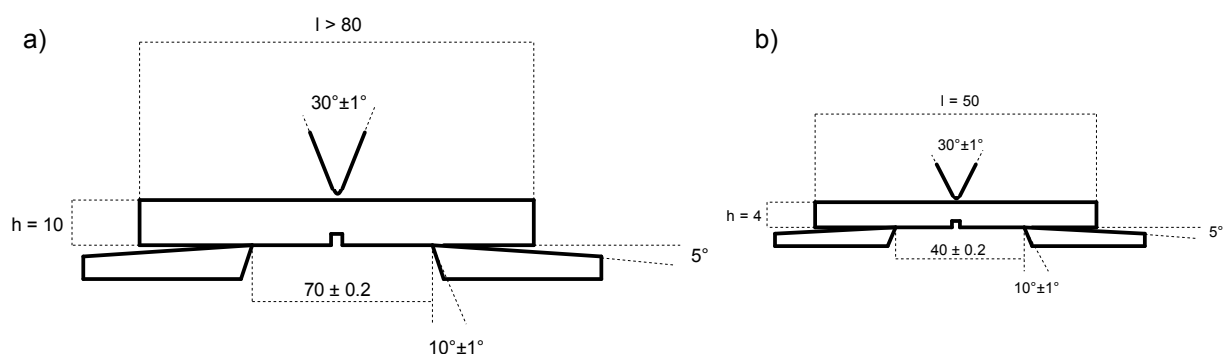
Należy przygotować co najmniej 10 próbek o ile w normach przedmiotowych dla danego tworzywa nie przewiduje się inaczej. Do oznaczenia stosuje się młoty typu Charpy'ego parametrach podanych w tabeli 3.2.

Młot powinien być umocowany trwale na niesprężystym podłożu i tak ustawiony, aby w chwili uderzenia styk ostrza wahadła z próbką był liniowy. Wyboru odpowiedniego zakresu pracy należy dokonywać w zależności od rodzaju badanego tworzywa - pomiar powinien być dokonany w zakresie 10 ÷ 80% maksymalnego zakresu młota.

Tabela 3.2. Parametry młotów typu Charpy'ego:

Maksymalny zakres pracy młota, J	Średnia prędkość ostrza wahadła w chwili uderzenia o próbkę, m/s	Masa młota, kg
0.5	2.9	0.119
1.0		0.239
4.0		0.955

Kształt ostrza wahadła i podpór oraz rozstaw podpór przedstawiono na rys.3.2.:



Rys. 3.2. Rozstaw podpór dla a) dużych próbek, b) małych próbek.

## 1. WYKONANIE OZNACZENIA

Oznaczenie należy wykonać w temperaturze  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Należy zmierzyć w połowie długości próbki jej szerokość i wysokość (dla próbek z karbem - w środku karbu) z dokładnością do 0.1 mm. Próbkę ułożyć na podporach zgodnie ze schematem w ten sposób, aby środek długości próbki przypadła w płaszczyźnie ruchu wahadła. Następnie należy podnieść wahadło w położenie górne, zaczepić je o występy dźwigni zwalnającej i zabezpieczyć przez wciśnięcie sworznia. Wyzerować wskazówkę pomiarową. Odblokować dźwignie zwalnająca przez wyciągnięcie sworznia zabezpieczającego. Przez nacisk dźwigni następuje zwolnienie wahadła, które po swobodnym spadku uderza ostrzem w badaną próbkę.

## 2. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Należy oznaczyć następujące parametry wytrzymałościowe:

- udarność próbek bez karbu  $a_n$  w  $\text{kJ/m}^2$  obliczyć wg wzoru:

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot h}$$

gdzie:

$A_n$ - praca potrzebna na dynamiczne złamanie próbki bez karbu, J,

$b$ - szerokość próbki, mm,

$h$ - wysokość próbki, mm.

- udarność próbek z karbem  $a_k$  obliczyć w  $\text{kJ/m}^2$  wg wzoru:

$$a_k = \frac{A_k}{b \cdot h_k}$$

gdzie:

$A_k$ - praca potrzebna na dynamiczne złamanie próbki z karbem, J,

$b$  - szerokość próbki, mm,

$h_k$ - wysokość próbki w miejscu karbu, mm.

- udarność względną  $KZ$  obliczyć w % wg wzoru:

$$KZ = \frac{a_k}{a_n} \cdot 100 \text{ ,}$$

gdzie:

$a_n$ - udarność próbki bez karbu,  $\text{kJ/mm}^2$ ,

$a_k$ - udarność próbki z karbem,  $\text{kJ/mm}^2$ .

Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników oznaczeń wykonanych na pięciu próbkach:

$$\bar{a}_n = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 a_{ni}$$

Jeżeli średnia arytmetyczna wszystkich bezwzględnych wartości różnic wyników poszczególnych oznaczeń:  $\Delta \bar{a}_n = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 |a_{ni} - \bar{a}_n|$ , przewyższa 10% wartości średniej

arytmetycznej wyników:  $\Delta \bar{a}_n > 0.1 \cdot \bar{a}_n$ , wówczas badaniom należy poddać następną pięć próbek. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników dziesięciu oznaczeń. W ten sam sposób opracować wyniki oznaczania udarności z karbem  $a_k$ .

#### 4. BADANIE TWARDOŚCI TWORZYW POLIMEROWYCH

## I. OZNACZANIE TWARDOŚCI TWORZYW SZTUCZNYCH METODĄ BRINELLA

Oznaczenie to polega na wciskaniu w badaną próbkę stalowej kulki o średnicy  $5\pm 0,05$  mm pod działaniem obciążenia całkowitego  $F$ . Za położenie wyjściowe kulki przyjmuje się wielkość zagłębienia powstałego na próbce pod działaniem obciążenia wstępnego  $F_0$  ( $9,81 N\pm 1\%$ ). Przyłożone obciążenie całkowite powinno działać prostopadle do powierzchni badanej próbki oraz powinno wzrastać w sposób równomierny, a osiągnięta pełna wielkość tego obciążenia powinna być w określonym czasie stała i dobrana tak, aby zagłębienie  $h$  zawierało się w przedziale mm. Obciążenie całkowite powinno być zgodne tabelą nr 4.1.

Tabela 4.1. Obciążenie całkowite próbek w zależności od zastosowanych ciężarków:

Numer lub nazwa obciążnika	Obciążenie całkowite, N
Wieszak (bez obciążników)	49,0
Wieszak + obciążnik: 1	132,4
Wieszak + obciążnik: 1 + 2	358,0
Wieszak + obciążnik: 1 + 2 + 3	490,0
Wieszak + obciążnik: 1 + 2 + 3 + 4a + 4b	961,0

Próbki użyte do badań powinny mieć powierzchnie gładkie, równe, wzajemnie równoległe, bez pęcherzy, rys, wżerów i innych widocznych wad. Grubość próbki winna wynosić co najmniej 4 mm, a wielkość jej powierzchni powinna być wystarczająca do wykonania 10 pomiarów w odległości co najmniej 5 mm od krawędzi próbki i co najmniej 5 mm między środkami zagłębień kulki.

### I.1. WYKONANIE OZNACZENIA

Badaną próbkę należy umieścić na płycie stolika tak, aby szczelnie przylegała do płyty. Przyłożyć obciążenie  $F_0$  (przez zmianę położenia płyty stolika). Ustawić czujnik w położeniu zerowym a następnie przyłożyć obciążenie całkowite  $F$  (zgodnie z kolejnością podaną w tabeli 8.1 w sposób równomierny. Po przyłożeniu obciążenia całkowitego zagłębienie kulki powinno mieścić się w zakresie  $0.15\div 0.35$  mm. Jeżeli wielkość zagłębienia kulki znajduje się poza poprawnym zakresem należy zmieniać obciążenie całkowite tak, aby uzyskać zagłębienie kulki w określonym zakresie. W przypadku uzyskiwania zagłębienia

kulki w poprawnym zakresie dla kilku różnych obciążeń całkowitych, należy przyjąć obciążenie najmniejsze. Wykonać co najmniej 10 pomiarów dla każdej z co najmniej 3 próbek.

## I.2. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Twardość HK wyrażona w MPa jest to stosunek siły  $F$  przyłożonej do powierzchni wgłębienia sferycznego odcisku kulki o średnicy 5 mm utworzonego w badanej próbce pod działaniem siły w określonym czasie.

Twardość HK należy obliczyć wg wzoru:

$$HK = \frac{F \cdot 0,21}{\pi \cdot d \cdot h_o \cdot (h - h_o + 0,21)} = \frac{0,0535 \cdot F}{h - 0,04}, \quad \text{w którym:}$$

$F$  - obciążenie całkowite, N,

$d$  - średnica kulki równa 5 mm,

$h_o$  - zagłębienie kulki pod obciążeniem wstępnym równe 0,25 mm,

$h$  - zagłębienie kulki pod całkowitym obciążeniem, mm,

0,21- współczynnik zredukowanego obciążenia do zagłębienia  $h_o$ , ( $h$  powinno się zawierać pomiędzy 0.15 ÷ 0.35 mm).

Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników ca najmniej 10 pomiarów, zaokrąglając ją do liczby całkowitej.

## II. OZNACZENIE TWARDOŚCI GUMY METODĄ SHORE'A

Oznaczenie ta polega na pomiarze oporu jaki stawia badana guma podczas zgłębiania się w niej iglicy o określonym kształcie i wymiarach. Opór ten mierzy się za pomocą sprężyny o znanej charakterystyce i wyraża się w umownych jednostkach twardości Shore'a A lub D. Do gumy o twardości poniżej 90 jednostek Shore'a należy stosować twardościomierz Shore'a typu A, do gumy o twardości powyżej 90 jednostek Shore'a - twardościomierz typu D. Twardość jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości zagłębienia się iglicy. Umownych jednostek Shore'a nie można porównywać z innymi jednostkami twardości.

Próbki do badań powinny mieć kształt krążków lub prostokątnych płytek o grubości nie mniejszej niż 5 mm i pozostałych wymiarach umożliwiających wykonanie pomiarów w trzech punktach odległych od siebie co najmniej o 5 mm oraz co najmniej o 13 mm od krawędzi próbki. Dopuszcza się prowadzenie badań twardości na próbkach złożonych z kilku warstw gumy. Grubość pojedynczej warstwy gumy nie powinna być mniejsza niż 2 mm.

Liczba warstw nie może przekraczać 3, a łączna grubość próbki nie może być mniejsza od 5 mm.

Próbki powinny być przygotowane przez zwulkanizowanie w formie lub wycięte z wyrobu gotowego. Powierzchnie próbek powinny być gładkie, bez pęknięć, pęcherzy i obcych wtrąceń widocznych gołym okiem. Powierzchnie dolna i góra próbek powinny być wzajemnie równoległe.

## **II.1. WYKONANIE OZNACZENIA**

Badaną próbkę umieścić na stoliku pomiarowym. Ruchem płynnym bez gwałtownych wstrząsów i uderzeń należy docisnąć twardościomierz tak, aby stopka oporowa przylegała do próbki. Podczas badania iglica powinna być ustawiona prostopadle do próbki. Wykonać po trzy pomiary na każdej próbce. Twardość należy odczytać po 3 s od chwili przyłożenia twardościomierza do próbki. Dla próbek, dla których po 3 s obserwuje się dalsze zgłębianie iglicy, twardość należy odczytać po 15 s i w protokole zamieścić odpowiednią uwagę.

## **II.2. OPRACOWANIE WYNIKÓW**

Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wszystkich pomiarów zaokrągloną do całości. Różnica pomiędzy poszczególnymi wynikami a średnią arytmetyczną nie może być większa niż  $\pm 2$  jednostki Shore'a.

Przy pomiarze twardości metodą Shore'a konieczne jest podawanie typu twardościomierza i temperatury (w przypadku gdy jest różna od 20°C) np. tworzywo ma twardość 70°ShA/25°C co oznacza 70 °Sh przy użyciu twardościomierza typu A przy oznaczaniu wykonywanym w temperaturze 25°C.

**Tabela 4.2.** Wielkości twardości przy różnych obciążeniach całkowitych i zagłębieniu kulki w zakresie 0,15÷0,35 mm w odstępach co 0,005 mm dla twardościomierza Brinella

Zagłębienie <i>h</i> , mm	Twardość <i>HK</i> w MPa przy obciążeniu <i>F</i>			
	49,0	132,4	358,0	961,0
0,150	23,84	64,35	174,0	467,2
0,155	22,80	61,56	166,4	446,9
0,160	21,85	58,99	159,5	428,3
0,165	20,98	56,63	153,1	411,1
0,170	29,17	54,45	147,2	395,3
0,180	18,73	50,56	136,7	367,1
0,185	18,08	48,82	132,0	354,4
0,190	17,48	47,19	127,6	342,6
0,195	16,92	45,67	123,5	331,6
0,200	16,39	44,24	119,6	321,2
0,205	15,89	42,90	116,0	311,5
0,210	15,42	41,64	112,6	302,3
0,215	14,98	40,45	109,4	293,7
0,220	14,57	39,33	106,3	285,5
0,225	14,17	38,26	103,5	277,8
0,230	13,80	37,26	100,7	270,5
0,235	13,45	36,30	98,2	263,6
0,240	13,11	35,39	95,7	257,0
0,245	12,79	34,53	93,4	250,7
0,250	12,49	33,71	91,2	244,7
0,255	12,20	32,93	89,0	239,0
0,260	11,92	32,18	87,0	233,6
0,265	11,65	31,46	85,1	228,4
0,270	11,40	30,78	83,2	223,4
0,275	11,16	30,12	81,5	218,7
0,280	10,93	29,50	79,8	214,1
0,285	10,70	28,89	78,1	209,8
0,290	10,49	28,32	76,6	205,6
0,295	10,28	27,76	75,1	201,6
0,300	10,08	27,23	73,6	197,7
0,305	9,89	26,71	72,2	193,3
0,310	9,71	26,22	70,9	190,4
0,315	9,53	25,74	69,6	186,9
0,320	9,36	25,28	68,4	183,6
0,325	9,20	24,84	67,2	180,3
0,330	9,04	24,41	66,0	177,2
0,335	8,89	24,00	64,9	174,2
0,340	8,74	23,60	63,8	171,3
0,345	8,60	23,21	62,8	168,5
0,350	8,46	22,85	61,8	165,9

## 5. BADANIE ODPORNOŚCI CIEPLNEJ TWORZYW POLIMEROWYCH

### I. OZNACZENIE TEMPERATURY MIĘKNIENIA wg VICATA:

Metoda ta polega na określeniu temperatury, w której stalowa igła o kołowym przekroju poprzecznym o powierzchni  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  zagłębi się w próbkę tworzywa pod działaniem jednego z dopuszczalnych obciążeń ( $10 \pm 0.2 \text{ N}$  lub  $50 \pm 1 \text{ N}$ ) na głębokość  $1 \times 10^{-3} \text{ m}$  przy stałej prędkości wzrostu temperatury ( $50 \pm 5^\circ\text{C} / \text{h}$  lub  $120 \pm 10^\circ\text{C} / \text{h}$ ).

Próbki do badań powinny mieć kształt krążka o średnicy 10 mm lub płytki prostokątnej o długości boku co najmniej 10 mm i grubości  $3 \div 6,5 \text{ mm}$ . Cieńsze próbki należy układać w kilku warstwach aż do uzyskania wymaganej grubości. Do badań należy użyć próbek z tworzyw termoplastycznych np.: poliamidu, poliformaldehydu poliwęglanu, poliolefin, kopolimerów styrenowych

#### I.1. WYKONANIE OZNACZENIA

Z termostatu wyjąć stanowiska pomiarowe. Założyć próbki tworzyw i ustawić igły na powierzchni próbek (nie bliżej niż 3 mm od każdej krawędzi próbki). Zanurzyć układ w łaźni pomiarowej. Nałożyć obciążniki tak, aby uzyskać wymagane całkowite obciążenie. Ustawić mechanizm czujników zegarowych w ten sposób, aby przesunięcie igły o 1 mm wywołało sygnał świetlny - krótsza wskazówka powinna znajdować się w położeniu "1" a dłuższa w położeniu "0". W celu sprawdzenia poprawności układu, pokręcając śrubą kontaktową, spowodować sygnał świetlny. Następnie poluzować nieco śrubę i przekręcić tarczę czujników w ten sposób, aby wskazówki ustawione w położeniu wyjściowym tzn. krótsza na "1" a dłuższa na "0".

Włączyć mieszanie oleju. Włożyć termometry do otworów. Ustawić żadaną szybkość ogrzewania i włączyć przyrost temperatury. Po ukazaniu się sygnału świetlnego ?? przy stanowisku, odczytać temperaturę na odpowiednim termometrze i zanotować ją przy numerze próbki. Po zakończeniu pomiarów wyłączyć ogrzewanie, włączyć chłodzenie oleju i po ostygnięciu urządzenia pomiarowego wyjąć badane próbki.

**UWAGA ! Nie powinno się przepuszczać wody przez wężownicę dopóki temperatura oleju nie spadnie poniżej  $100^\circ\text{C}$ . Woda powinna być włączana powoli, aby nie wytworzyła się para wodna i nie spowodowała wzrostu ciśnienia w wężownicy.**



## I.2. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Jako wynik badania danej próbki przyjmuje się wartość średnią arytmetyczną wykonanych pomiarów nie różniących się od siebie o więcej niż 2 K.

## II. OZNACZENIE TEMPERATURY UGIĘCIA POD OBCIĄŻENIEM (HDT):

Metoda ta polega na określeniu temperatury, w której prostopadłościenna próbka obciążona naprężeniem zginającym przyłożonym w środku rozstawu podpór, osiągnie określoną strzałkę ugięcia. Próbkę ogrzewa się ze stałą prędkością przyrostu temperatury wynoszącą  $120 \pm 10^\circ\text{C/h}$  przy jednym z dopuszczalnych naprężeń zginających: 0.45 MPa, 1.8 MPa. Zastosowane obciążenie powinno odpowiadać obciążeniu obliczonemu z tolerancją  $\pm 2.5\%$ . Obciążenie  $F$  w N należy obliczyć wg wzoru:

$$F = \frac{2\sigma \cdot b \cdot h^2}{3l}, \text{ gdzie}$$

$\sigma$  - maksymalne naprężenie występujące na powierzchni próbki wynoszące odpowiednio 44,98 N/m<sup>2</sup> lub 181 N/m<sup>2</sup> (w zależności od wytrzymałości tworzywa),

$b$  - szerokość próbki, m,

$h$  - wysokość próbki, m,

$l$  - rozpiętość osi podpór, m

Wymiary próbki konieczne do wyznaczenia obciążenia należy zmierzyć z dokładnością do 0.1 mm. Próbki do badań powinny mieć kształt prostopadłościanu o wymiarach podanych w tabeli 9.1.

Tabela 5.1. Wymiary próbek do badań:

Sposób przygotowania próbki	Długość, $l$	Szerokość, $b$	Wysokość, $h$
	mm		
metodą formowania	110÷120	3÷4,2	9,8÷15
metodą mechanicznej obróbki	110÷120	3÷13	9,8÷15

Do oznaczenia należy przygotować co najmniej 2 próbki.

## II.1. WYKONANIE OZNACZENIA

Należy zmierzyć szerokość i wysokość próbki z dokładnością do 0.1 mm i **ułożyć** ją na podporach (rozstaw osi podpór powinien wynosić  $10^{-2}$  m) **tak, aby jej wysokość była w płaszczyźnie pionowej**. Obciążyć próbkę odważnikami zgodnie z wytycznymi w normie. Trzpień wywierający nacisk na próbkę powinien mieć promień  $3\pm 0,2$  mm i szerokość co najmniej 13 mm. Po 5 min odczytać wynik ugięcia wstępnego. Strzałkę ugięcia dobrać na podstawie tabeli 9.2. w zależności od wysokości próbki,

Tabela 5.2. Strzałki ugięcia odpowiadające danym wysokościami próbek:

Wysokość próbki $h$ , mm	Strzałka ugięcia, mm
9,8÷9,9	0,33
10,0÷10,3	0,32
10,4÷10,6	0,31
10,7÷10,9	0,30
11,0÷11,4	0,29
11,5÷11,9	0,28
12,0÷12,3	0,27
12,4÷12,7	0,26
12,8	0,25

Ustawić mechanizm czujników zegarowych w ten sposób, aby przesunięcie igły o określoną strzałkę ugięcia, wywołało sygnał świetlny - krótsza wskazówka powinna znajdować się w położeniu odpowiadającym strzałce ugięcia a dłuższa w położeniu "0". Włączyć mieszanie oleju (wyłącznik „circulator”). Włożyć termometry do otworów. Ustawić szybkość ogrzewania równą  $120^{\circ}\text{C}/\text{h}$  i włączyć przyrost temperatury (wyłącznik „start test”). Po ukazaniu się sygnału świetlnego przy stanowisku, odczytać temperaturę na odpowiednim termometrze i zanotować ją przy numerze próbki. Po zakończeniu pomiarów wyłączyć ogrzewanie, włączyć chłodzenie oleju i po ostygnięciu urządzenia pomiarowego wyjąć badane próbki.

## II.2. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARU

Za wynik końcowy należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników oznaczeń, przy czym różnica pomiędzy poszczególnymi oznaczeniami a ich średnią arytmetyczną nie powinna być większa niż:  $2^{\circ}\text{C}$  dla tworzyw bezpostaciowych lub  $5^{\circ}\text{C}$  dla tworzyw semikrystalicznych.

### III. OZNACZANIE TEMPERATURY UGIĘCIA METODĄ MARTENSA

Oznaczenie temperatury ugięcia metodą Martensa polega na określeniu temperatury, w której nastąpi określone odkształcenie próbki podanej stałemu naprężeniu zginającemu równemu  $5\pm 0.1$  MPa przy określonym sposobie jej zamocowania i ogrzewania (prędkość przyrostu temperatury wynosi  $50^\circ\text{C/h}$  począwszy od temperatury  $23\pm 2^\circ\text{C}$ ).

Próbki do badania powinny mieć kształt prostopadłościowej belki o wymiarach zestawionych w tabeli 9.3.:

Tabela 5.3. Wymiary próbek do badań:

Wymiary próbek	Rodzaj próbek			
	1	2	3	4
Długość $l$ , mm	$120\pm 2$	$60\pm 1$	$60\pm 1$	$50\pm 1$
Szerokość $b$ , mm	$15\pm 0.5$	$15\pm 0.5$	$10\pm 0.3$	$6\pm 0.2$
Wysokość $h$ , mm	$10\pm 0.5$	$4\pm 0.2$	$4\pm 0.2$	$4\pm 0.2$
Ciężar przesuwanego obciążnika, kg	0.650	0.200	0.150	0.100

Do oznaczania należy przygotować co najmniej trzy próbki. W przypadku materiałów anizotropowych należy przygotować co najmniej trzy próbki dla każdego głównego kierunku anizotropii. Technologia wykonania próbek powinna być podana w normach przedmiotowych na tworzywa sztuczne. Jeżeli normy nie podają inaczej próbki mogą być przygotowane przez prasowanie (próbki rodzaju 1, 2, 3) lub przez wtrysk (próbki rodzaju 2, 3, 4) bądź przez wycinanie z płyt, arkuszy lub wyrobów o innych kształtach (próbki każdego rodzaju).

#### III.1. WYKONANIE OZNACZENIA

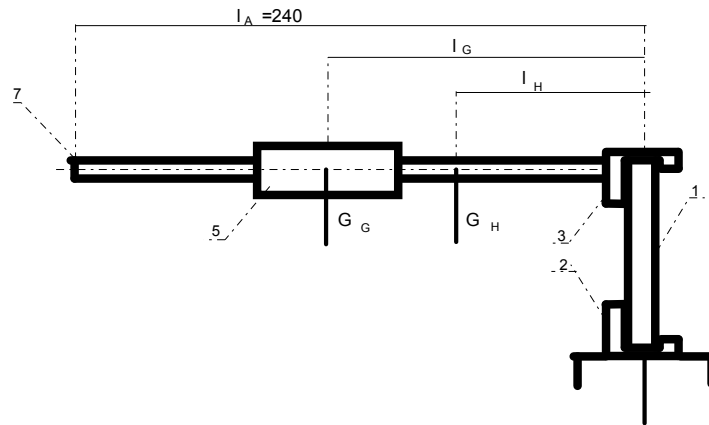
Zmierzyć szerokość i wysokość próbki w połowie jej długości z dokładnością do 0.1 mm oraz długość próbki z dokładnością do 1 mm. Obliczyć wartość wskaźnika wytrzymałości  $W$  w  $\text{mm}^3$  zgodnie ze wzorem:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \text{ gdzie}$$

$b$  - szerokość próbki, mm,

$h$  - wysokość próbki, mm.

Ustawić przesuwany obciążnik tak, aby zaznaczona na podziałce liczba odpowiadała wartości obliczonego wskaźnika wytrzymałości, wtedy naprężenie zginające działające na beleczkę będzie równe 5 MPa. Próbkę należy zamocować w uchwytach: górnym - połączonym dźwignią z przesuwным obciążnikiem, i dolnym zgodnie z rys. 9.2:



Rys. 5.2. Schemat urządzenia do mocowania i obciążania próbek:  
 1 - próbka, 2 - uchwyt dolny, 3 - uchwyt górny, 4 - obciążnik przesuwany, 7 - dźwignia z urządzeniem wskazującym

Próbka ma znajdować się w położeniu ściśle pionowym zaś dźwignia w położeniu poziomym). Szczelinę pomiędzy grzybkiem styków elektrycznych a końcem dźwigni ustawić na  $6 \pm 0.1$  mm. Próbkę umieścić w termostacie, regulator przyrostu temperatury ustawić w położeniu zerowym (górnym), przełączyć kontakty pod lampkami kontrolnymi w położenie "I", włączyć wyłącznikiem głównym ogrzewanie termostatu. Przyrost temperatury w termostacie powinien wynosić  $50 \pm 5^\circ\text{C}$  na godzinę. Zapalenie się lampki kontrolnej i sygnał dźwiękowy sygnalizuje osiągnięcie temperatury przy której nastąpi obniżenie się końca dźwigni o  $6 \pm 0.1$  mm. Po zakończeniu oznaczania termostat ochłodzić, wymontować próbkę.

### **III.2. OPRACOWANIE WYNIKÓW**

Jako wynik oznaczenia należy przyjąć średnią arytmetyczną wartości temperatur dla co najmniej trzech próbek badanych równocześnie. Jeżeli zmierzone temperatury różnią się o więcej niż 5°C, oznaczenie należy powtórzyć na nowym komplecie próbek.

Próbki, które w czasie oznaczania uległy rozwarstwieniu, złuszczeniu lub spęcherzeniu należy odrzucić wykonać oznaczenie dla nowych próbek. W przypadku gdy wymienione uszkodzenia wszystkich badanych próbkach wystąpią przed osiągnięciem wymaganej wielkości wychylenia dźwigni ( $6\pm 0.1$  mm) metoda ta nie może być stosowana do badania danego tworzywa.

## 6. PRZETWÓRSTWO PAST POLICHLOROWINYLOWYCH

Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu parametrów żelowania pasty oraz procentowej zawartości stabilizatora termicznego na wytrzymałość na rozciąganie plastyfikatu PVC.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

#### 1.1. Przygotowanie pasty PVC

Kompozycję należy przygotować w mieszalniku planetarnym zgodnie z recepturą podaną w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Udziały wagowe składników w paście:

Nazwa składnika	Udział wagowy, cz. mas.	
PVC-E	100	100
Ftalan dibutyli lub dioktyli	70÷120	-
Adypinian di-2-etyloheksyli	-	60-120
Stabilizator termiczny	3	3

Składniki sypkie umieścić w dozowniku mieszarki, składniki płynne w misie mieszalnika. Uruchomić mieszadło z prędkością obrotową  $60 \pm 5$  1/min.. Mieszać do otrzymania jednorodnej masy (ok 20 min). Wymieszaną pastę przetrzeć na trójwałcarce. Następnie należy ją odpowietrzyć w suszarce próżniowej pod zmniejszonym ciśnieniem. Po odpowietrzeniu pasta jest gotowa do przetwórstwa.

#### 1.2. Otrzymywanie plastyfikatu PVC metodą wylewania pasty

Odpowietrzoną pastę wylać równym strumieniem do 5 form aluminiowych ustawionych początkowo pochyło w stosunku do strumienia. Po wypełnieniu około 1/3 formy można ją ułożyć płasko i dokończyć wylewanie pasty.

**UWAGA ! Czynność tą należy wykonać tak, aby nie zapowietrzyć wylewanej pasty.**

Po wypełnieniu formy należy ją wstawić do suszarki w celu zżelowania pasty. Warunki żelowania podaje tabela 6.2.

Tabela 6.2. Warunki żelowania pasty PCW z ftalanem dibutyłu:

Wariant	Temperatura żelowania  °C	Czas żelowania, min				
		1	2	3	4	5
I	160	20	30	40	50	60
II	170	10	20	30	40	50
III	180	10	20	30	40	50
IV	190	10	20	30	40	50
V	200	10	20	30	40	50

Po określonym czasie należy wyjąć formę z suszarki, a po ochłodzeniu formy wyjąć otrzymaną folię. Folię poddać sezonowaniu przez 24 godziny, w warunkach pokojowych.

## 2. OZNACZANIE WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH FOLII

Z otrzymanych folii należy wyciąć nożem paski o wymiarach 100x10 mm. Dla każdej kombinacji parametrów wyciąć min 5 pasków. Oznaczenie obciążenia, przy którym folia uległa zerwaniu i wydłużenie próbki przy zerwaniu należy wykonać na maszynie wytrzymałościowej w temperaturze pokojowej, przy szybkości rozciągania 150 mm/min.

## 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Należy wyznaczyć cechy wytrzymałościowe folii przy statycznym rozciąganiu zgodnie z instrukcją do ćwiczenia nr 5. Sporządzić wykres zależności naprężenia przy zerwaniu i wydłużenia względnego przy zerwaniu folii od parametrów żelowania pasty. Wyjaśnić i przedyskutować przebieg tych zależności.

## ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBEDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA:

1. Istota i cel plastyfikacji tworzyw sztucznych.
2. Pojęcie plastyfikatora, pasty, plastyfikatu.
3. Plastyfikatory-typy, mechanizm działania, ich wady i zalety .
4. Czynniki wpływające na właściwości plastyfikatu PVC.
5. Istota żelowania pasty PVC.
6. Technologia otrzymywania wyrobów z past PVC.

## 7. WYZNACZANIE OPTYMALNEGO CZASU WALCOWANIA MIESZANEK GUMOWYCH

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z technologią walcowania mieszającego i wyznaczenie optymalnego czasu walcowania mieszanek gumowych przetwarzanych następnie metodą prasowania tłoczego.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

**UWAGA!** Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi i bezpiecznej pracy na w/w walcierce.

1.1. Przygotować 1,5 kg mieszanki gumowej według receptury podanej w tabeli 7.1..

Tabela 7.1 Składy mieszanek gumowych ( udziały poszczególnych składników mieszanki podano w cz. mas.):

Lp.	Nazwa składnika	Symbol mieszanki			
		I	II	III	IV
1.	Kauczuk RSS-3	50	—	—	—
2.	Kauczuk SKI	50	100	100	100
3.	Biel cynkowa	4	6	60	10
4.	Stearyna	3	3	3	4
5.	Napełniacz aktywny (sadza lub krzemionka aktywna)	40	50	—	100
6.	Ftalan dibutyłu	15	15	15	4
7.	Przyspieszacz wulkanizacji	1,5	3,5	3,5	3,5
8.	Siarka	2,5	2,5	2,5	2,5

Po włączeniu do sieci walcarki nastawić na pulpicie maszyny (rys.7.1) temperaturę walców, obroty walców oraz szczelinę między nimi.





Rys. 7.1. Widok pulpitu walcarki

Walcowanie należy przeprowadzić dozując kolejno (zgodnie z numeracją zawartą w tabelce) składniki na ciepłe walce (rys. 7.2).



Rys. 7.2. Widok walców

Po zasypaniu siarki i wymieszaniu jej należy pobrać próbkę krey gumowej i oznakować ją. Podobne próbki pobierać w odstępach 5÷15 minutowych, aż do całkowitego wyczerpania się krey gumowej.

1.2. Wyznaczyć czas wulkanizacji dla jednej z otrzymanych próbek w temperaturze 150 °C przy pomocy plastometru z oscylującym rotorem zgodnie z zaleceniami w ćwiczeniu nr 4..

1.3. Przygotować próbki.

Wszystkie próbki poddać prasowaniu na krążki  $\phi=200$ , w temp. 150° C za pomocą prasy hydraulicznej zgodnie z zaleceniami prowadzącego zajęcia. Z otrzymanych krążków wyciąć kształtki do badań wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu (patrz ćwiczenie nr 1.) i oznaczyć ich właściwości wytrzymałościowe.

## **2.OPRACOWANIE WYNIKÓW**

Wyniki zebrać w postaci tabeli, która powinna zawierać następujące informacje:

- 1/ skład mieszanki gumowej,
- 2/ warunki otrzymywania mieszanki (czas walcowania mieszającego),
- 3/ parametry wulkanizacji,
- 4/ wyniki pomiarów wyznaczone,
- 5/ obliczone wyniki pomiarów: jednostkowe i średnie.

Sporządzić zależności oznaczonych właściwości w funkcji czasu walcowania mieszającego, Wyjaśnić charakter uzyskanych zależności.

## **ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA**

1. Kauczuki naturalne i syntetyczne.
2. Wulkanizacja kauczuków (schemat reakcji).
3. Składniki mieszanek gumowych (przykłady).
4. Przetwórstwo mieszanek gumowych.
5. Zastosowanie wyrobów gumowych otrzymywanych metodą prasowania.

## 8. BADANIE WYDAJNOŚCI WYTŁACZANIA PROFILI Z TWORZYW POLIMEROWYCH

**Celem ćwiczenia jest zbadanie zależności wydajności wylączarki jednoślímakowej od prędkości obrotowej ślímaka dla danego tworzywa termoplastycznego (PE, PP, PVC plast.).**

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA.

**UWAGA! Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi i bezpiecznej pracy na w/w wylączarce jednoślímakowej**

Nastawić na wskaźnikach termoregulatorów poszczególnych stref cylindra i głowicy temperatury odpowiednie dla wylączania danego typu przetwarzanego tworzywa (tabela 8.1.). Następnie uruchomić przepływ wody chłodzącej cylinder w przestrzeni wokół leja zasypowego i włączyć termoregulatory. Po ustaleniu się temperatury uruchomić ślímak (przy najmniejszej prędkości obrotowej, zgodnie z instrukcją obsługi wylączarki). Do leja zasypowego bardzo powoli i w niewielkiej ilości sypać tworzywo, obserwując ustnik oraz wskazania amperomierza. Po ustaleniu się wypływu tworzywa przez ustnik, zasypać lej tworzywem. Następnie odciąć wylączany odcinek, podstawić talerz z tłoczywa melaminowo - formaldehydowego i włączyć stoper, po upływie 2 minut odciąć ponownie odcinek wylączanego tworzywa, oraz zapisać prędkość obrotową ślímaka. Potem odcinek zważyć.

Po wykonaniu próby zwiększyć prędkość obrotową ślímaka o 10 obrotów/min, odczekać ok. 5 minut i wykonać oznaczenie wydajności wylączania dla nowej prędkości. Podobne oznaczenie wykonać dla 5 następnych wartości prędkości obrotowej, a potem zmniejszając ją do wartości minimalnej. Analogiczne badania można wykonać dla innej kombinacji temperatur ścianki cylindra (zgodnie z poleceniem prowadzącego ćwiczenia).

Po zakończeniu oznaczeń wyłączyć silnik wylączarki dopiero po ustaniu wypływu stopu z ustnika głowicy. Gwarantuje to bezpieczne uruchomienie maszyny podczas następnych prób.

### 2. OPRACOWANIE WYNIKÓW.

Wyniki zebrać w postaci tabeli 8.2, która powinna zawierać następujące informacje:

- 1/ warunki wylączania (temperatura, prędkość obrotowa ślímaka oraz czas wylączania),
- 2/ wyniki pomiarów wyznaczone,

3/ obliczone wyniki pomiarów: jednostkowe i średnie.

Zależność wydajności wytłaczania od prędkości obrotowej ślimaka należy przedstawić graficznie.

Tabela 8.1. Temperatury wytłaczania wybranych tworzyw termoplastycznych

Typ tworzywa	Temperatura cylindra, °C	Temperatura głowicy, °C	Temperatura stopu, °C
PE LD	135/155/170	180/210	200
PE HD	140/160/175	190/220	210
PS	175/245/275	285/290	250
SAN	175/225/245	250/255	240
PA 6	185/195/210	230/245	220
PA 6,6	190/210/230	235/250	230
PVC P	155/165/175	175/185	175
PVC U	160/170/180	180/190	180

Tabela 8.2. Parametry wytłaczania oraz wyniki oznaczeń

Parametry wytłaczania	Prędkość obrotowa, 1/min	Wydajność, g/min	Uwagi

### ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA

1. Istota procesu wytłaczania termoplastów.
2. Przepływ stopionego tworzywa przez wytłaczarkę jednoślindakową.
3. Wpływ parametrów wytłaczania na wydajność procesu.
4. Wpływ parametrów wytłaczania na jakość otrzymywanych produktów.
5. Konstrukcja wytłaczarki jednoślindakowej.

## 9. OTRZYMYWANIE RUR Z TWORZYW POLIMEROWYCH ZA POMOCĄ WYTŁACZARKI JEDNOŚLIMAKOWEJ

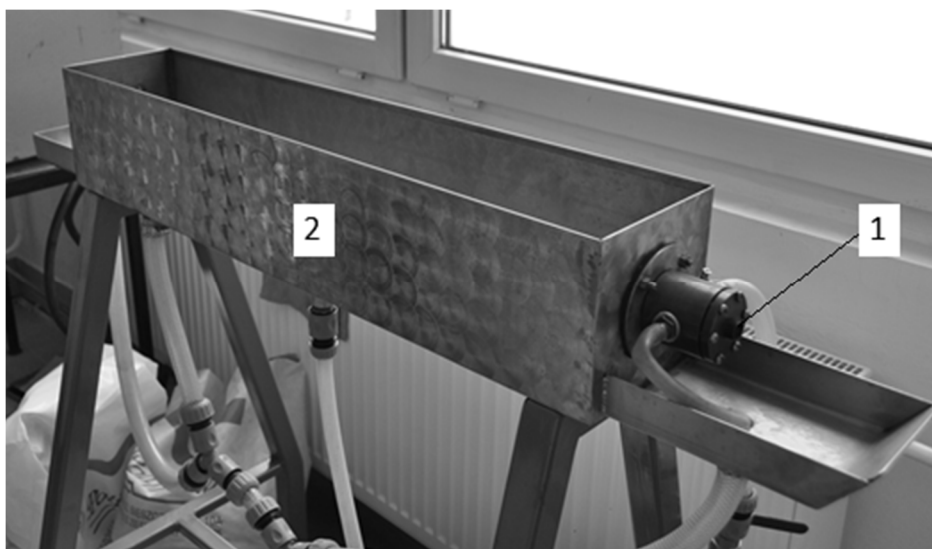
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z technologią otrzymywania rur za pomocą wylączarki jednoślímakowej oraz wpływu wybranych parametrów na właściwości użytkowe otrzymanego produktu.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA.

**UWAGA!** Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi i bezpiecznej pracy na w/w wylączarce jednoślímakowej

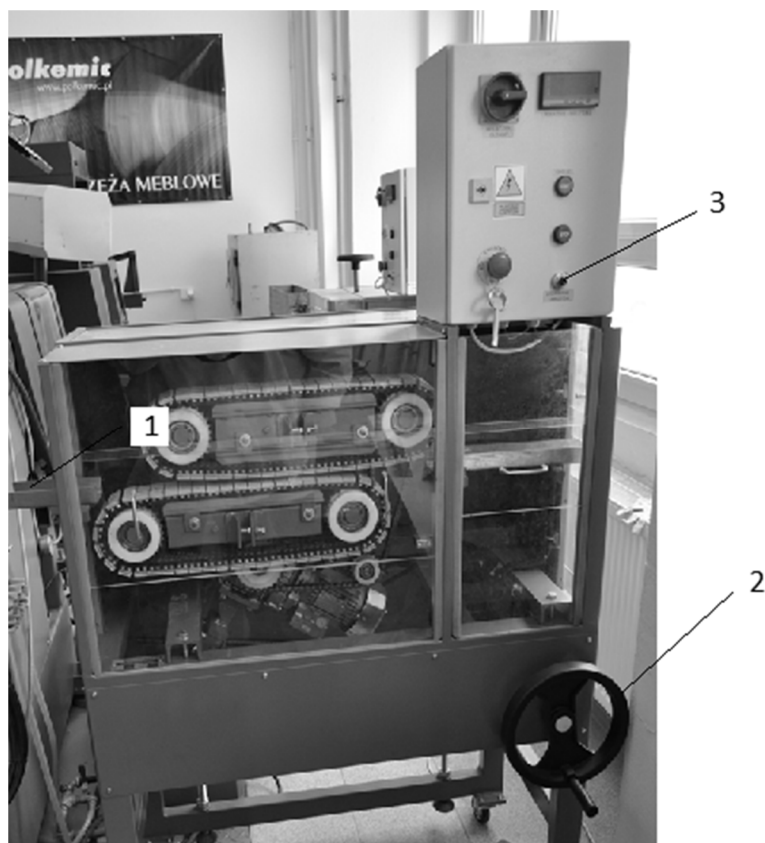
Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia należy włączyć ogrzewanie a następnie po osiągnięciu pożądanej temperatury zamontować głowicę krzyżową do otrzymywania rur. Kolejno podłączyć przyłącz wodno-kanalizacyjny do kalibratora i wanny chłodzącej, którą należy wypełnić wodą aż do poziomu wyrównania się menisku cieczy z otworem kalibrującym.

Po ustaleniu się temperatury głowicy i cylindra uruchomić silnik wylączarki (przy najmniejszej prędkości obrotowej ślímaka, zgodnie z instrukcją obsługi wylączarki). Do leja zasypowego bardzo powoli i w niewielkiej ilości sypać tworzywo, obserwując ustnik głowicy oraz wskazania amperomierza. Po ustaleniu się wypływu tworzywa przez ustnik, zasypać lej tworzywem. Następnie odciąć wylączany odcinek, i w energiczny sposób za pomocą pręta miedzianego przeciągnąć wylączkę przez otwór kalibratora (czynność wykonać ubierając rękawice odporne na wysoką temperaturę).



Rys. 9.1. Widok wanny chłodzącej (2) i kalibratora ciśnieniowego do rur (1).

W między czasie uruchomić odciąg gąsienicowy (rys. 9.2). Następnie powoli przesuwając się wzdłuż wanny wytłoczkę precyzyjnie przesuwać przez otwór wylotowy wanny (znajdujący się na końcu) i ostrożnie włożyć go do rynny prowadzącej odciąg gąsienicowy (rys. 9.2).



Rys. 9.2. Widok kalibratora gąsienicowego: 1-rywna prowadząca , 2-korba ustalająca odległość pomiędzy gąsienicami, pokrętło obrotów gąsienic

Następnie włączyć pompę wdmuchującą powietrze przez otwór zapowietrzający w głowicy do wnętrza wytłaczanej rury. Obserwując wytłoczkę za pomocą zaworu znajdującego się przy wężu wlotowym do głowicy wyregulować strumień powietrza włączany do głowicy, tak aby ściany rury dotykały kalibratora nie blokując jej przemieszczania wzdłuż kalibratora i wanny chłodzącej.

Kolejno za pomocą regulatora obrotów dobrać odpowiednią prędkość odciagu rury a za pomocą korby ustalić odległość pomiędzy gąsienicami tak aby nie zgniatały wytłoczkę. Otrzymana rurą należy pociąć na kawałki 2m i poddać wytypowanym badaniom użytkowym (wytrzymałości na zerwanie, pomiarom grubości zewnętrznej, wewnętrznej oraz ścianki rury)..

## **ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA**

1. Istota procesu wytłaczania termoplastów.
2. Przepływ stopionego tworzywa przez wytłaczarkę jednoślismakową.
3. Technologia otrzymywania rur metodą wytłaczania.
4. Metody kalibracji rur w procesie wytłaczania.
5. Konstrukcja wytłaczarki jednoślismakowej oraz linii do wytłaczania rur.

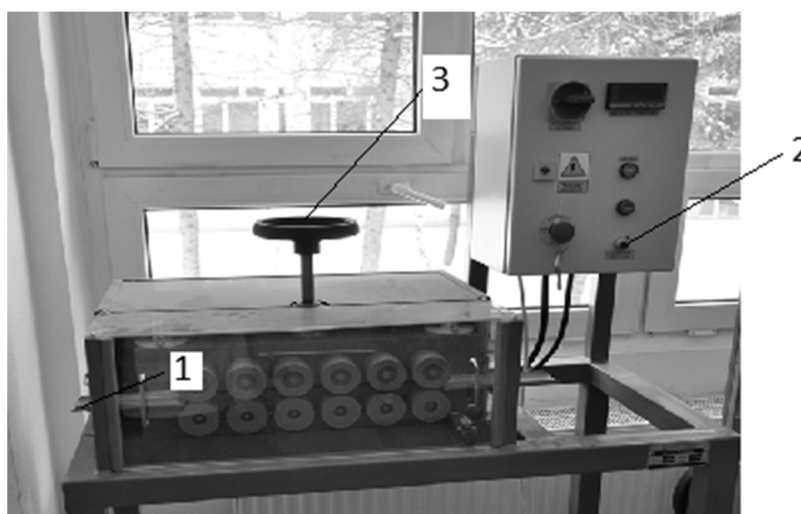
## 10. OTRZYMYWANIE PROFILI Z TWORZYW POLIMEROWYCH ZA POMOCĄ WYTŁACZARKI JEDNOŚLIMAKOWEJ

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z technologią otrzymywania profili za pomocą wylączarki jednoślímakowej oraz wpływu wybranych parametrów na właściwości użytkowe otrzymanego produktu.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA.

**UWAGA!** Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi i bezpiecznej pracy na w/w wylączarce jednoślímakowej

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia należy włączyć ogrzewanie a następnie po osiągnięciu pożądaney temperatury zamontować głowicę do otrzymywania profili. Kolejno podłączyć przyłącz wodno-kanalizacyjny wanny chłodzącej wg opisu przedstawionego w instrukcji obsługi wylączarki. Następnie w ciągu technologicznym opisanym w ćwiczeniu 9. należy zamienić odciąg gąsienicowy na rolkowy (rys. 10.1)



Rys. 10.1 Widok odciągu rolkowego: 1 – rynnna prowadząca, 2-pokrętko regulacji szybkości odciągu, 3 śruba do regulacji odległości pomiędzy rolkami.

Po ustaleniu się temperatury głowicy i cylindra uruchomić silnik wylączarki (przy najmniejszej prędkości obrotowej ślímaka, zgodnie z instrukcją obsługi wylączarki). Do leja zasypowego bardzo powoli i w niewielkiej ilości sypać tworzywo, obserwując ustnik głowicy oraz wskazania amperomierza. Po pojawieniu się stopu polimerowego wypływającego przez ustnik stopu, zasypać cały lej granulatem. Następnie odciąć wylączany odcinek, i za pomocą



pręta miedzianego przeciągnąć wytłoczkę przez otwór kalibratora (czynność wykonać ubierając rękawice odporne na wysoką temperaturę).

Uruchomić odciąg rolkowy (rys. 10.1), następnie powoli przesuwać się wzdłuż wanny wytłoczkę precyzyjnie przez otwór wylotowy wanny (znajdujący się na końcu) i ostrożnie włożyć go do rynny prowadzącej odciągu rolkowego (rys. 10.1).

Kolejno za pomocą regulatora obrotów dobrać odpowiednią prędkość odciągu profilu a za pomocą śruby ustalić odległość pomiędzy rolkami tak aby nie zginały wytłoczyny. Otrzymany profil należy pociąć na kawałki 2 m i poddać wytypowanym badaniom użytkowym (wytrzymałości na zerwanie, pomiarom rozrzutu średnicy zewnętrznej otrzymanego profilu)..

### **ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA**

1. Istota procesu wytłaczania termoplastów.
2. Przepływ stopionego tworzywa przez wytłaczarkę jednoślismakową.
3. Technologia otrzymywania profili za pomocą wytłaczania.
4. Konstrukcja wytłaczarki jednoślismakowej oraz linii do wytłaczania profili.

## 11. BADANIE WPLYWU PARAMETRÓW PRZETWÓRCZYCH NA STABILNOŚĆ WYTŁACZANIA FOLII RĘKAWOWEJ I JEJ WŁAŚCIWOŚCI

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z techniką wytwarzania folii tzw. rękawowej metodą wytłaczania z rozdmuchem oraz wpływu wybranych parametrów przetwórczych na stabilność otrzymywanego rękawa i właściwości otrzymywani.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA.

**UWAGA!** Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi linii do wytłaczania folii. Zwrócić szczególną uwagę na ochronę przed oparzeniem przez gorące elementy maszyny lub rękaw folii oraz możliwość wciągnięcia zbyt luźnych części ubrania ochronnego przez walce ciągnące.



Rys. 11.1. Wygląd instalacji do wytwarzania folii z poliolefin metodą wytłaczania z rozdmuchem: 1- walce ciągnąco-odbierające wraz drabinką kierującą, 2- panele sterujące, 3- wytłaczarka T32 przystosowana do współpracy z linią rozdmuchu, 4- głowica krzyżowa, 5- wentylator powietrza schładzającego rękaw folii, 6- cylinder doprowadzający stop do głowicy z filtrem i pompą stopu

Nastawić na wskaźnikach termoregulatorów (rys. 11.1., poz. 2) poszczególnych stref cylindra wytłaczarki (rys. 11.1., 3), cylindra pośredniego (rys. 11.1., 6) i głowicy

(rys. 11.1., 4) temperatury odpowiednie dla wytłaczania danego typu przetwarzanego tworzywa (tabela 8.1). Następnie uruchomić przepływ wody chłodzącej cylinder w przestrzeni wokół leja zasypowego i włączyć termoregulatory. Po osiągnięciu pożądanej temperatury wszystkich stref uruchomić pompę stopu (rys. 11.1., 6) i ślimak wytłaczarki (przy najmniejszej prędkości obrotowej, zgodnie z instrukcją obsługi wytłaczarki). Do leja zasypowego bardzo powoli i w niewielkiej ilości wsypywać granulki tworzywa, obserwując wskazania manometru cyfrowych rejestrujących ciśnienie w końcowej części cylindra wytłaczarki oraz przed pompą stopu. W przypadku niezakłóconego (bez gwałtownych skoków) niewielkiego przyrostu tych ciśnień można stopniowo zwiększać dozowanie granulatu obserwując także wylot ustnika głowicy (rys. 11.1., 4). Po pojawieniu się stopu u wylotu z ustnika można zasypać lej przetwarzanym tworzywem, a wytłaczany w postaci rury stop powoli, ręcznie odciągać do góry. Równocześnie należy włączyć wlot sprężonego powietrza rozdmuchującego i wentylator zapewniający chłodzenie rękawa oraz uruchomić obroty walców odciągających górnych (rys. 11.1., 1) pozostawiając pomiędzy nimi sporą szczelinę. Gdy rozdmuchiwana rura osiągnie wysokość drabinek kierujących i poziom walców wsunąć ją pomiędzy te ostatnie i za pomocą zaworu pneumatycznego zmniejszyć szczelinę międzywalcową. Spowoduje to, że walce zaczną ciągnąć wytłaczaną folię, którą należy skierować w stronę wałków odbierających i nawijających ją na tekturową rolkę. Po ustaleniu się rozmiarów rękawa można rozpocząć pomiary.

Kolejno należy zmienić położenie kierownicy powietrza obracając gwintowanym krążkiem znajdującym się nad ustnikiem głowicy tak, aby uzyskać zestalanie rękawa na różnej wysokości licząc od głowicy. Zanotować obserwacje dotyczące stabilności tworzącego się rękawa folii i jej grubości na obwodzie. Następnie rozpocząć zmiany ciśnienia powietrza użytego do rozdmuchu od 0,1 do 1,0 bara. Poczynić podobne jak poprzednio obserwacje dla tego parametru. Zwiększyć szybkość obrotową ślimaka, co powoduje zwiększenie wydajności wytłaczania i wykonać podobne jak poprzednio próby odbierając folie w postaci odpowiednich odcinków.

Zakończenie wykonywania ćwiczenia:

- zamknąć zasuwę doprowadzającą granulację z leja zasypowego do cylindra wyciarki
- zmniejszyć prędkość obrotową ślimaka na minimalną
- wytłoczyć „do końca” stop pozostający jeszcze w cylindrze aż do ustania wypływu tworzywa z ustnika głowicy
- wyłączyć napęd walców odciągających i odbierających
- wyłączyć napęd ślimaka i pompy stopu
- wyłączyć ogrzewanie cylindra wyciarki, cylindra pośredniego i głowicy
- odciąć dostęp wody chłodzącej okolice leja zasypowego
- wyłączyć zasilanie elektryczne wyciarki.

Paski odcinków folii przeznaczyć do pomiarów wytrzymałościowych. Oznaczyć wytrzymałość na rozciąganie folii i zinterpretować wyniki w zależności od zastosowanych parametrów wyciarki.

## 12.. BADANIE WTRYSKIWANIA TERMOPLASTÓW

**Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu niektórych parametrów prasowania wtryskowego tworzyw termoplastycznych (PP, PS, ABS, PA) na wygląd wyprasek oraz na wytrzymałość mechaniczną i skurcz prasowniczy.**

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

Ustawić regulatory temperatury poszczególnych stref na następujące wartości (dla PE HD):

I- 180 °C / II- 190 °C / III- 190 °C // forma- 40 °C lub inne, zależnie od właściwości przetwarzanego tworzywa.

**Uwaga:** w przypadku zastosowania innego tworzywa przy nastawianiu parametrów wtrysku należy skorzystać z danych zawartych w tabeli 12..1.

Włączyć obieg wody chłodzącej okolice leja zasypowego i olej układu hydraulicznego. Po włączeniu ogrzewania i uzyskaniu pożądanej temperatury ścianki cylindra ustalić pozostałe parametry wg. danych wskazanych przez prowadzącego zajęcia..

Do prób wtryskiwania użyć formy z wymiennymi wkładami na kształtki do badań. Wykonać 10 próbných cykli wtryskowych i po uzyskaniu prawidłowych wyprasek zmierzyć ich podstawowe wymiary po schłodzeniu do temperatury pokojowej. Dla beleczek i wiosełek zmierzyć długość i szerokość. Ponadto dla wszystkich wyprasek zmierzyć grubość. Podobne pomiary wykonać dla innych wartości parametrów prasowania (zgodnie z ustalonym przez prowadzącego ćwiczenia programem):

1. czas docisku: 0,5-20 s,
2. szybkość wtryskiwania, 20-70 cm<sup>3</sup>/min
3. ciśnienie wtrysku: 50-120 MPa,
4. ciśnienie docisku: 0 – zastosowanego ciśnienia wtrysku
5. czas chłodzenia wyprasek w formie: 10-25 s,
6. ciśnienie uplastyczniana 2-5 MPa

**UWAGA! Podczas zmiany jednego z parametrów np. czasu wtryskiwania, pozostałe zostają niezmiennie i równe są podanym na wstępie ćwiczenia wartościom.**

Dla każdej kombinacji parametrów wykonać po 4-10 cykli wtryskowych dla wiosełek, a następnie beleczek. Po wykonaniu wtryskiwania każdą wypraskę należy dokładnie obejrzeć,

zwrócić uwagę na wygląd powierzchni i połysk wyprasek, dokładnie je oznakować, aby do następnych badań przeznaczyć odpowiednie serie.

## 2. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI WYPRASEK

Po około 1 godzinie od otrzymania wyprasek należy pomierzyć ich podstawowe wymiary, a następnie wyznaczyć skurcz pierwotny wg. wzoru:

$$S_{\parallel} = \frac{L_f - L_w}{L_f} \cdot 100\%$$

$$S_{\perp} = \frac{b_f - b_w}{b_f} \cdot 100\%$$

gdzie:

$S_{\parallel}$  - liniowy skurcz w kierunku równoległym do kierunku wtrysku,  
 $L_w$  - długość lub średnica wypraski, mm,  
 $L_f$  - odpowiednik wymiaru  $L_w$  w gnieździe formującym, mm.

$S_{\perp}$  - skurcz w kierunku prostopadłym do kierunku wtrysku,  
 $b_w$  - szerokość wypraski, mm,  
 $b_f$  - odpowiednik wymiaru  $b_w$  w gnieździe formującym, mm.

Oznakowane wypraski przeznaczyć do zbadania poniżej wymienionych wytrzymałości mechanicznych (po okresie sezonowania minimum 48 godzin):

1. wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenia przy zerwaniu jak w ćwiczeniu 1,
2. wytrzymałość na zginanie jak w ćwiczeniu 2,
3. uderność wg Charpy'ego jak w ćwiczeniu 3,
4. twardość wg Brinella jak w ćwiczeniu 4,
5. temperaturę mięknięcia wg Vicata jak w ćwiczeniu 5,
6. temperaturę ugięcia pod obciążeniem jak w ćwiczeniu 5.

## 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Obliczone wartości skurczu, wytrzymałości mechanicznej oraz opis wyglądu wyprasek zamieścić w tabelce.

Sporządzić wykresy zależności zbadanych własności wyprasek od zmienianego parametru prasowania oraz wyjaśnić i przedyskutować przebieg tych zależności.

Opisać możliwości wyznaczania optymalnych parametrów prasowania wtryskowego badanego tworzywa.

## ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA

1. Istota prasowania wtryskowego:

a/ tłokowego,

b/ ślimakowego.

2. Wykres Gilmore'a-Spencera: ciśnienie wewnętrzne, temperatura formy, czas cyklu wtryskowego.

3. Zasadnicze parametry procesu.

4. Konstrukcja prasy wtryskowej.

4.1. Konstrukcja układu wtryskowego.

4.2. Konstrukcja układu zamykającego formę.

Tabela 12..1. Właściwości przetwórcze wybranych termoplastycznych tworzyw sztucznych:

Rodzaj tworzywa	Właściwości fizyczne			Podstawowe parametry wtryskiwania			
	Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	Ciepło właściwe, J/g K	Skurcz prasowniczy, %	Ciśnienie wtrysku, MPa	Temperatura wtrysku, °C	Temperatura formy, °C	Dopuszczalna wilgotność, %
PS	1,02÷1,07	1,25	0,4÷0,6	60÷120	170÷250	20÷70	0,3
SAN	1,08	1,46	0,4÷0,6	70÷135	180÷240	15÷65	0,25
ABS	1,03÷1,15	1,43	0,4÷0,7	80÷180	180÷250	60÷80	0,2
PA	1,12÷1,15	1,88	0,8÷3	80÷120	235÷270	60÷120	0,1
PA	1,13÷1,14	1,88	1,0÷2,5	70÷120	min 275	30÷135	0,1
PE LD	0,915÷0,925	2,3	1,0÷3,0	55÷105	190-270	10÷60	
PE HD	0,94÷0,965	2,3	1,5÷4,0	50÷120	220÷310	10÷100	
PP	0,9÷0,91	1,67	1,5÷3,0	min 90	270÷300	50÷80	
PC	1,2	1,17	0,6÷0,8	120÷160	270÷320	85÷120	0,02
TPUR	1,21	1,78	1,0÷2,0		180÷200	20÷90	
PVC nieplast	1,15÷1,45	1,00	0,4÷0,5	min 110	165÷210	10÷60	
PVC plast	1,16÷1,35	1,00	1,5÷3,0	min 55	145÷180	15-45	
PMMA	1,18÷1,19		0,4÷0,8	80÷160	190÷250	50÷100	0,5
PBT	1,34				240		0,04
PET	1,31				255		0,005

### 13. NASTAWIANIE PARAMETRÓW PROCESU WTRYSKIWANIA Z GAZEM

**Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką nastawiania parametrów wtrysku z tłokiem gazowym dla uzyskania wyprasek o optymalnych właściwościach (wygląd powierzchni, minimalna masa wyprasek).**

Najczęstszym sposobem realizacji techniki wtryskiwania z gazem (*Gas Assisted Injection Molding – GAIM* lub *GIM*) jest częściowe napełnienie gniazd formujących tworzywem, po którym następuje wtrysk gazu pod założonym ciśnieniem. Wtrysk gazu następuje z niewielkim opóźnieniem lub bez opóźnienia. Kompletne wypełnienie gniazd następuje przy użyciu gazu. Aby mieć pewność, że gaz nie przebije czoła stopu, musimy wypełnić wstępnie gniazda dostateczną porcją tworzywa przed wtryskiem gazu. Dlatego moment przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu oraz jego ciśnienie jest kluczowym problemem podczas realizacji procesu (rys. 9.1.). W tym procesie bowiem gaz, mający mniejszą lepkość od stopu polimerowego, przyjmuje funkcję ściśliwego tłoka w fazie wtrysku i docisku. Gaz dopycha tworzywo do miejsc, które nie zostały jeszcze przez nie wypełnione. Ciśnienie gazu jest utrzymywane nawet podczas fazy chłodzenia. Stan ten utrzymywany jest tak długo dopóki nie nastąpi otwarcie formy, pod warunkiem że nie zostanie wykonany ponowny wtrysk dodatkowej porcji tworzywa, co pozwala na zamknięcie otworu, którym wprowadzany był do formy gaz. Najprostszą, choć niezbyt efektywną, metodą pozwalającą na optymalnie ustalenie parametrów procesu jest metoda prób i błędów: zastosowanie kolejno różnych czasów przełączenia, wartości ciśnienia gazu oraz szybkości wtrysku stopu, zadanych wartości temperatury wtrysku i/lub formy. O wiele efektywniejszą metodą jest symulacja komputerowa procesu, którą zapewnia użycie programu *Autodesk Moldflow Insight* lub *Moldex3D*.

#### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

Ustawić regulatory temperatury poszczególnych stref na następujące wartości (dla PP):

I-200 °C / II-220 °C / III-230 °C / forma 40 °C lub inne, zależnie od właściwości przetwarzanego tworzywa.

**Uwaga:** w przypadku zastosowania innego tworzywa przy nastawianiu parametrów wtrysku należy skorzystać z danych zawartych w tabeli 12..1.



Włączyć obieg wody chłodzącej okolice leja zasypowego i olej układu hydraulicznego. Po włączeniu ogrzewania i uzyskaniu żądanej temperatury ścianki cylindra ustalić pozostałe parametry wg. danych wskazanych przez prowadzącego zajęcia..

Do prób wtryskiwania użyć formy z wymiennymi wkładkami na kształtki do badań (beleczki i wioselka). Wykonać 10 próbnych cykli wtryskowych i po uzyskaniu prawidłowych wyprasek zmierzyć ich podstawowe wymiary po schłodzeniu do temperatury pokojowej. Dla beleczek i wiosłek zmierzyć długość i szerokość oraz grubość. Podobne pomiary wykonać dla innych wartości parametrów prasowania:

- punktu przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu,
- ciśnienia wtrysku gazu,
- szybkości wtrysku tworzywa

(zgodnie z ustalonym przez prowadzącego ćwiczenia programem) – tak aby otrzymać możliwie największe wypełnienie wnętrza kształtki gazem. W ten sposób można uzyskać znaczną redukcję masy wyprasek (efekt podobny do tego uwidocznionego na rys. 13.1.) oraz skrócenie czasu ich chłodzenia.



Rys. 13..1. Efekt zmiennego wypełnienia wnętrza wypraski gazem uzyskany przy zbyt wczesnym wtrysku gazu (wypraska od lewej strony zdjęcia, gdzie gaz przebił czoło stopu) i stopniowo opóźniany ten moment aż do uzyskania najlżejszej kształtki (wypraska z prawej strony zdjęcia)

#### 14. BADANIA WPŁYWU PARAMETRÓW PRASOWANIA TŁOCZNEGO TŁOCZYW TERMOUTWARDZALNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI WYPRASEK

**Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu niektórych parametrów prasowania tłoczego tłoczyw na jakość wyprasek ocenianą wzrokowo oraz na wytrzymałość mechaniczną i zawartość wolnego formaldehydu.**

##### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

Włączyć ogrzewanie formy i nastawić regulatory temperatury stempla i matrycy na 150°C. Po osiągnięciu żądanej temperatury sprawdzić ciśnienie prasowania  $p$  na manometrze głównym (ciśnienie w formie  $p_f$ , dla danego tłoczywa aminowego powinno wynosić 30 MPa, a dla tłoczywa fenolowego 35 MPa). Wartość tę należy obliczyć ze wzoru:

$$p = 3p_f F$$

gdzie:

$F$  - powierzchnia przekroju gniazda formy, cm<sup>2</sup>,

$P_f$  - ciśnienie, które powinno panować w formie dla danego tłoczywa, MPa.

Na przekaźnikach czasowych maszyny ustawić należy ponadto czas prasowania wstępnego (30 s), czas odgazowania formy (3 s) i czas prasowania zasadniczego (zależnie od grubości wyprasek).

Wykonać jeden cykl prasowniczy automatycznie bez zasypywania formy tłoczywem. Następnie zasypać gniazdo formujące odpowiednią naważką tłoczywa potrzebną do otrzymania określonej wypraski i wykonać cykl prasowniczy. W tych samych warunkach wykonać jeszcze 5 cykli. Następnie zmienić czas prasowania drugiego w zakresie: 30÷150 s/mm grubości kształtki, zgodnie z ustalonym przez prowadzącego zajęcia programem. Podobnie otrzymać wypraski dla temperatury prasowania: 140, 160, 170°C. Każdą serię i każdą próbkę oznaczyć i opisać wygląd zewnętrzny ich powierzchni. Próbki pozostawić do sezonowania w warunkach pokojowych.

## 2. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI OTRZYMANYCH WYPRASEK

2.1. Oznaczyć zawartość wolnego formaldehydu w wypraskach.

Do oznaczenia zawartości wolnego formaldehydu przeznaczyć krążki lub szalki.

2.1.1. Przygotować odczynniki do oznaczania.

2.1.1.a 0,25 % r-r kwasu chromotropowego w 72 % kwasie siarkowym:

0,25 g soli sodowej kwasu chromotropowego rozpuścić w 37,6 ml wody destylowanej i dodawać powoli kroplami 62,4 ml stężonego kwasu siarkowego (w wypadku stosowania kwasu chromotropowego rozpuścić go od razu w 72 % kwasie siarkowym).

W czasie dodawania kwasu siarkowego (kroplami!) do wodnego roztworu soli sodowej kwasu chromotropowego należy mieszaninę silnie chłodzić.

Przygotowany roztwór powinien mieć jasno- słomkowy kolor, można go przechowywać w ciemnym i chłodnym miejscu przez 2÷3 tygodnie.

2.1.1.b Wzorcowy roztwór formaldehydu.

Z formaliny, w której oznaczono procentową zawartość formaldehydu metodą jodometryczną przygotować w kolbie miarowej o pojemności 1 l roztwór wzorcowy A zawierający 1mg formaldehydu w 1 ml (tj. 1 g/l), 10 ml roztworu A rozcieńczyć wodą destylowaną w kolbie miarowej pojemności 100 ml, otrzymując w ten sposób roztwór wzorcowy B, którego 1ml zawiera 100 mikrogramów formaldehydu. Roztwór C sporządzić przez rozcieńczenie 5 ml roztworu B w kolbie miarowej poj. 50 ml, roztwór ten zawiera 10 g formaldehydu w 1 ml.

2.1.2. Przygotować wyciąg wodny z badanych krążków lub szalek .

Badane krążki umieścić w zlewkach, a szalki zalać jednakową ilością wrzącej wody destylowanej. Zlewki lub szalki przykryć i pozostawić na 2 godz. w temp. pokojowej. Po dwóch godzinach pobrać próbki ekstraktów do oznaczeń.

2.1.3. Przygotować skalę wzorcową.

Do próbek wlać stopniowo wzrastające ilości roztworu wzorcowego C: 0,05; 0,10; 0,20; 1ml., co odpowiada: 0,5; 1; 2; 3 itd. mikrogramów formaldehydu i odpowiednio dopełnić wodą destylowaną do objętości 1 ml. Próbę zerową przygotować wlewając do próbek 1 ml wody destylowanej. Następnie do próbek wzorców dodać po 5 ml 0,25 % roztworu kwasu chromotropowego w 72 % roztworze kwasu siarkowego, mieszać za pomocą mieszadełek szklanych i ustawić na 10 minut w łaźni wodnej o temp. 65° C.

2.1.4. Wykonanie oznaczenia.

Równocześnie z przygotowaniem skali wzorcowej wykonać oznaczenia zawartości formaldehydu w wyciągach badanych przedmiotów pobierając do próbek po 1 ml

wyciągów i dodając po 5 ml roztworu kwasu chromotropowego. Próby badane należy ogrzewać jednocześnie ze wzorcami. W obecności formaldehydu i w zależności od jego zawartości, w wyciągach wodnych powstaje zabarwienie od jasno-fioletowego do czerwono-fioletowego, które porównuje się wizualnie z zabarwieniem wzorców.

Porównanie należy przeprowadzić na białym tle, w świetle przechodzącym po wyjęciu próbek z łaźni wodnej i osiągnięciu przez nie temperatury pokojowej. W razie dużych zawartości formaldehydu, zabarwienie prób może być intensywniejsze i nieporównywalne ze skalą wzorców. Należy w tych przypadkach pobrać do oznaczania wyciągi rozcieńczone wodą destylowaną (dwo-, pięciokrotnie, zależnie od potrzeb) w kolbach miarowych.

## 2.2. Wyznaczyć właściwości wytrzymałościowe wyprasek.

Próbki po wyprasowaniu należy poddać sezonowaniu w temp. pokojowej. Minimalny czas sezonowania wynosi 24 h. Wypraski należy dokładnie oczyścić z nadlewów. Oznaczyć:

1. wytrzymałości na zginanie jak w ćwiczeniu nr 6.,
2. twardość próbek wg Brinella jak w ćwiczeniu nr 8.,
3. odporność cieplną wg Martensa jak w ćwiczeniu nr 9..

Do oznaczenia twardości przeznaczyć krążki lub szalki, a do oznaczenia wytrzymałości na zginanie i odporności cieplnej - beleczki 10x15x120 mm.

## 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW.

Zawartość formaldehydu w badanych wyciągach wyrażoną w mikrogramach w 1ml wyciągu (lub mg/l)  $Z$  oblicza się ze wzoru:

$$Z = \frac{a \cdot 1000}{b}$$

gdzie:

- $a$  - ilość formaldehydu we wzorcu odpowiadającym badanej próbce,  $\mu\text{g}$ ,
- $b$  - ilość wyciągu pobrana do oznaczania, ml.

Wyniki zebrać w postaci tabeli 14.1., która powinna zawierać następujące informacje:

- 1/ warunki prasowania (temperatura, czas prasowania, ciśnienie prasowania),
- 2/ wyniki pomiarów wyznaczone,
- 3/ obliczone wyniki pomiarów: jednostkowe i średnie.

Sporządzić graficzne zależności badanych właściwości wyprasek (zawartość wolnego formaldehydu, twardość wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość cieplna) od zmienianych parametrów przetwórczych. Przedyskutować przebieg tych zależności i wyjaśnić na podstawie dostępnej literatury.

Tabela 14.1 Parametry prasowania oraz właściwości otrzymanych wyprasek.

Parametry prasowania tłocznego tłoczywa		Wygląd zewnętrzny wyprasek	Oznaczenie właściwości					Uwagi
Parametry ustalone	Parametry zmieniane		Wielkości zmierzone			Wielkości obliczone		
						Wielkości pojed.	Wielkości średnie	
Wymienić, podać wartości	Nazwa wartości							

### ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA

1. Istota prasowania tłocznego tworzyw sztucznych.
2. Zależność właściwości użytkowych wyprasek z tłoczyw melaminowo - formaldehydowych od stopnia usieciowania (utwardzenia).
3. Wpływ parametrów prasowania tłocznego na właściwości mechaniczne i zawartość formaldehydu w wypraskach z tłoczyw melaminowo - formaldehydowych.
4. Budowa prasy do prasowania tworzyw termoutwardzalnych.
5. Porównanie procesu prasowania tłocznego i wtryskowego tworzyw termoutwardzalnych.

## 15. KOMPOZYTY POLIMEROWO-SZKLANE (LAMINATY)

**Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą ręcznego formowania kompozytów poliestrowo-szklanych (laminatów) oraz oznaczenie ich cech wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu.**

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

#### 1. Narzędzia pomocnicze:

1. płytki stalowe (300x200x2 mm), 2szt.,
2. naczynie metalowe,
3. wałek ryflowany duży (Fot. 1),
4. wałek ryflowany mały (Fot. 1),
5. pędzel malarski o sztywnym włosiu,
6. 4 ściskacze stolarskie.

#### 2. Stosowane materiały:

1. tkanina lub mata szklana,
2. żywica poliestrowa Polimal 109,
3. inicjator- pasta Heksanox
4. przyspieszacz - naftenian kobaltu,
5. parafina,
6. trójchloroetylen.

#### 3. Przygotowanie do laminowania.

Sporządzić 2% roztwór parafiny w trójchloroetylenie. Roztworem tym dokładnie powlec obie płytki stalowe (po jednej stronie) i pozostawić do całkowitego odparowania rozpuszczalnika, przygotować 4 wykroje z tkaniny lub maty szklanej o wymiarach 200x300 mm: i zwarzyć je. Następnie odważyć żywicę poliestrową Polimal 109 w takiej ilości, by stosunek ciężaru żywicy do ciężaru maty wynosił 7:3. Porcję żywicy podzielić na 2 równe części. Do jednej dodać pastę HCH w stosunku 6 części wagowych pasty na 100 części wagowych żywicy 1% roztworu naftenianu kobaltu w styrenie.

**Uwaga! Naftenian kobaltu tworzy silną mieszaninę wybuchową z pastą HCH i innymi nadtlenkami. Obydwie porcje żywicy można ze sobą połączyć po dokładnym**

**rozpuszczeniu dodatków. Nie wolno operować naftianem kobaltu w obecności nadtlenu (nawet nie ustawiać naczyń zawierających naftian kobaltu i nadtlenu obok siebie).**

#### **4. Laminowanie.**

Połączyć ze sobą 1/n części porcji, gdzie n jest liczbą warstw kompozytu. Warstwę żywicy nałożyć na warstwę parafiny naniesioną na płytki stalowe, następnie położyć na żywicę warstwę tkaniny lub maty. Dociskając pędzlem tkaninę lub matę i wałkując jej powierzchnię dostępnymi wałkami (fot.1), spowodować całkowite przesylenie maty żywicą. Należy zwrócić uwagę na całkowite usunięcie pęcherzy z żywicy i z pomiędzy włókienek tkaniny lub maty. Odczekać do momentu zżelowania poliestru. Gdy przestanie on płynąć nakładać nową warstwę żywicy i nową warstwę tkaniny lub maty i powtarzać przesylenie. Po przesyleniu ostatniej warstwy tkaniny lub maty, pokryć ją cienką warstwą żywicy i nałożyć płytkę stalową pokrytą parafiną. Czas od chwili wymieszania żywicy z przyspieszaczem do zakończenia laminowania nie powinien przekraczać 15 minut. Płytki docisnąć za pomocą czterech ściskaczy stolarskich i przechować w temperaturze pokojowej przez 24 godziny. Bezpośrednio po zakończeniu laminowania należy wymyć pędzel, wałki i naczynie stalowe. Po zakończeniu utwardzania żywicy, laminat oderwać za pomocą noża od stalowych płytek. Próbki laminatu pozostawić do całkowitego utwardzenia (przynajmniej 24h). Próbki otrzymać dla kilku wariantów ułożenia włókna :równoległe i prostopadłe do kierunku rozciągania oraz dla żywicy o różnej zawartości inicjatora (wg tabeli 15.1.).

Tabela 15.1. Zawartość inicjatora w kompozycji

Numer kompozycji	Zawartość inicjatora
1	0,15
2	0,30
3	0,45
4	0,60

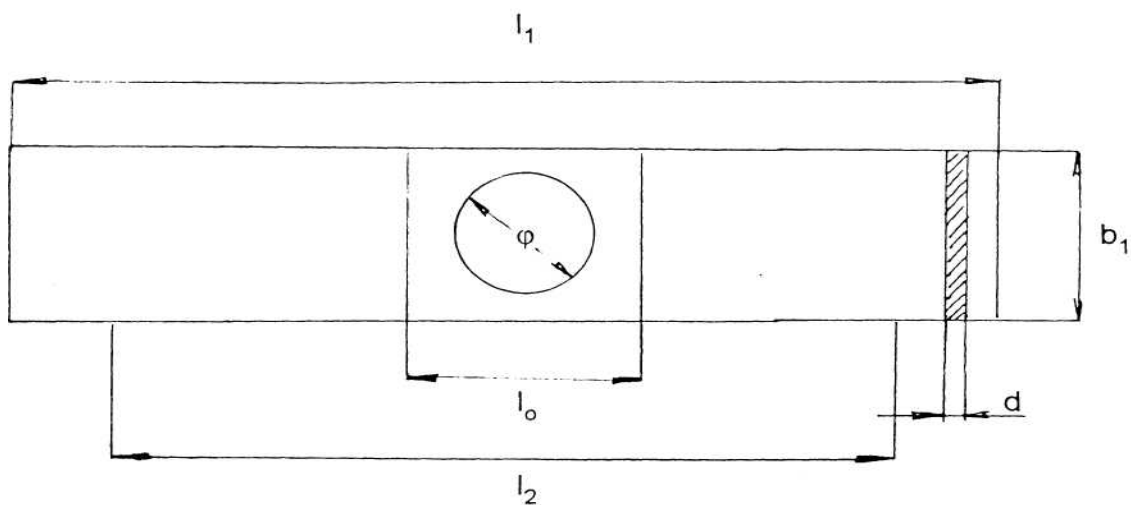


Fot.1. Widok wałków ryflowanych: z lewej - małego i z prawej - dużego.

### 5. Przygotowanie próbek do badań wytrzymałościowych.

Laminując próbki tkaniny lub maty oznaczyć czas życia kompozycji żywicznej.

Z otrzymanego laminatu za pomocą elektrycznej piłki kątowej wyciąć co najmniej 5 kształtek o wymiarach podanych na rys. 15.1. i tabeli 15.2



Rys. 15.1. Próbką kompozytu przeznaczona do oznaczania wytrzymałości na rozciąganie



Tabela 15.2. Wymiary próbek laminatu.

Lp.	Wymiar	Wymiary [mm]
1	Długość całkowita $l_1$	150
2	Długość swobodna, odpowiadająca odstępowi między zaciskami uchwytów $l_2$	115±5
3	Odcinek pomiarowy $l_0$	50±0,5
4	Szerokość części mocowanej w uchwytach i roboczej $b_1$	20+0,5
5	Grubość $d$	w zależności od rodzaju maty do 10 mm
6	Średnica otworu $\varphi$	10

Zmierzyć podstawowe wymiary próbki suwmiarką. Próbki mocować kolejno w szczękach maszyny wytrzymałościowej. Przeprowadzić próbę rozciągania przy szybkości 100 mm/min, korzystając także z wykresu naprężenie-odkształcenie.

## 6. Opracowanie wyników:

Wyznaczyć następujące właściwości próbek:

### 6.1. Naprężenie na granicy plastyczności:

$$\delta = \frac{F_s}{A_0}$$

### 6.2. Naprężenie zrywające:

$$\delta_r = \frac{F_r}{A_0}$$

### 6.3. Wydłużenie względne:

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_r}{l_0} \cdot 100$$

gdzie:

$F_s$ - obciążenie rozciągające przy osiągnięciu granicy plastyczności,[N]

$F_r$ - obciążenie, które spowodowało zerwanie próbki,[N]

$A_0$ - pole powierzchni początkowego przekroju poprzecznego próbki, [mm<sup>2</sup>]

$\Delta l_r$ - zmiana długości odcinka pomiarowego próbki w chwili zerwania, [mm]

$l_0$ - początkowa długość odcinka pomiarowego próbki, [mm]

**Wybrane zagadnienia niezbędne do kolokwium:**

1. Budowa i rodzaje laminatów poliestrowo-szklanych: - preparacje włókien.
2. Metody otrzymywania laminatów poliestrowo-szklanych.
3. Metody laminowania ręcznego.
4. Charakterystyka kompozytów poliestrowo-szklanych otrzymywanych metodą ręcznego laminowania.

**Literatura:**

1. Kłosowska-Wołkowicz Z., Penczek P., Królikowski W., „Nienasycone żywice poliestrowe”, WNT, Warszawa 2010
2. Saechtling H., Zebrowski W. ”Tworzywa sztuczne”, WNT, Warszawa 1967
3. Polimale – prospekty techniczne Zakładów Chemicznych „Organika-Sarzyna” w Nowej Sarzynie.

## 16. GALWANICZNA METALIZACJA TWORZYW SZTUCZNYCH

**Celem ćwiczeń jest zapoznanie się z procesem metalizacji galwanicznej tworzyw sztucznych, jego etapami i parametrami.**

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

Do badań użyć krążków z tworzyw ABS lub PP. Sezonowane po przetwórstwie krążki wymagają umycia w benzynie ekstrakcyjnej lub odtłuszczeniu w roztworze mydła w temperaturze 50°C przez 10 minut.

#### 1. Trawienie

Próbki zamocować na wieszaku ze stali kwasoodpornej lub na nitce polietylenowych zanurzyć w kąpieli trawiącej o następującym składzie:

kwasy siarkowy (VI) $d=1,84$ g/ml	- 150 ml
woda destylowana	- 80 ml
kwasy fosforowy (V) $d=1,7$ g/ml	- 50 ml
dichromian (VI) potasu	- 0,4 g

Parametry pracy kąpieli:

temperatura:	60÷70 °C
czas trawienia:	5÷30 min. w zależności od typu tworzywa

**UWAGA ! Kąpiel jest żrąca, należy uważać przy wkładaniu i wyjmowaniu próbek, aby się nią nie pochlapać.**

Po wytrawieniu wyroby wypłukać starannie dwukrotnie i zanurzyć w kąpieli neutralizującej.

#### 2. Neutralizacja

Neutralizację wykonać w temperaturze otoczenia przez okres od 1 do 3 minut poniższymi roztworami:

kwasy solny	- 4 g/l
wodorosiarczan (IV) sodu.	- 10 g/l

Po neutralizacji wyroby dokładnie wypłukać w wodzie destylowanej, a następnie poddać uczulaniu.

### 3. Uczulanie

Proces prowadzi się w temperaturze otoczenia (18-20°C) w czasie 1÷3 minut w kąpeli o składzie:

- chlorek cyny (II)  $\text{SnCl}_2$  bezw.cz. - 10 g/l
- kwas solny  $d=1,17$  g/ml - 40 ml/l

Po tej operacji wyroby wypłukać dokładnie wodą destylowaną.

### 4. Aktywowanie wyrobu z tworzywa

Aktywowanie powierzchni ma na celu osadzenie centrów metalu szlachetnego na powierzchni wyrobu w miejscu poprzednio zaabsorbowanych jonów cyny (II).

Proces prowadzić w temperaturze otoczenia w ciągu od 1 do 3 minut w kąpeli o następującym składzie:

- azotan (V) srebra  $\text{AgNO}_3$  cz. 2 g/l
- woda amoniakalna (25%  $\text{NH}_3$  cz.) 10÷100 ml/l

Po aktywacji wyroby wypłukać w wodzie destylowanej przez co najmniej 1 minutę.

### 5. Miedziowanie chemiczne

Do miedziowania zastosować następujące kąpiele:

#### Kąpiel I.

- siarczan (VI) miedzi (II)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  - 35 g/l
- wodorotlenek sodu - 50 g/l
- winian sodu i potasu  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  - 170 g/l

#### Kąpiel II

Roztwór wodny formaldehydu (37-40% wag) - formalina.

Dla przeprowadzania procesu miedziowania należy zmieszać 5 części objętościowych kąpeli I i 1 część objętościową kąpeli II, następnie umieścić próbkę w tak otrzymanym roztworze. Proces prowadzić w temperaturze otoczenia (18÷20°C) w czasie 15÷30 minut przy ciągłym mieszaniu. Po miedziowaniu detale płukać 5 krotnie w wodzie destylowanej.

### 6. Zmiana wieszaków („przewieszakowanie”).

Powleczone miedzią wyroby z tworzyw sztucznych należy umieścić na wieszakach galwanicznych (przewodzących prąd elektryczny) przygotowując je do ostatniej operacji tj. elektrolitycznego osadzania metalu z połyskiem lub bez połysku.

### 7. Elektrolityczne osadzanie metalu z połyskiem lub bez połysku.

Skład oraz parametry kąpieli do elektrochemicznego osadzania metalu podano w tabeli 16.1.

Tabela 16.1. Skład oraz parametry pracy kąpiel do elektrochemicznego osadzania metali:

Typ kąpieli	Skład kąpieli	Parametry pracy
Niklowanie z połyskiem	siarczan(VI) niklu(II) NiSO <sub>4</sub> x7H <sub>2</sub> O - 350 g/l chlorek niklu(II) NiCl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O - 30÷60 g/l kwas borowy, H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> - 30÷40 g/l siarczan(VI) sodu bezw. Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 30 g/l p-toluenosulfamid - 5 g/l zwilżacz (środek wyblyszczający) sól sodowa produktu sulfonowania izopropylonaftalenu 0,05-0,1 g/l	pH - 3,8÷4,8 temperatura - 40÷45° C gęstość prądu katodowego - 2,5÷5 A/dcm <sup>2</sup> czas niklowania - 30÷40 minut
Chromowanie	tlenek chromu (VI) CrO <sub>3</sub> - 250g/l ditlenek chromu (III) Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 8g/l kwas siarkowy (VI) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 2,5g/l ( gęstość kwasu=1,18 g/ml)	pH - 3,6÷4,0 temperatura - 40÷60° C gęstość prądu katodowego - 4,0÷8,0 A/dcm <sup>2</sup> czas chromowania - 30÷50 minut
Miedziowanie z połyskiem	siarczan(VI) miedzi (II) CuSO <sub>4</sub> x 5H <sub>2</sub> O - 150 g/l 10% r-r kwasu siarkowego (VI) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 30g/l (gęstość kwasu =1,18 g/ml) zwilżacz (środek wyblyszczający) sól sodowa produktu sulfonowania izopropylonaftalenu - 0,03÷0,05 g/l	pH - 2,5÷3,5 temperatura - 20÷40 ° C gęstość prądu katodowego - 0,5÷2,0 A/dcm <sup>2</sup> czas miedziowania - 20÷40 minut

## 2.OPRACOWANIE WYNIKÓW

Na podstawie uzyskanych wyników galwanicznego metalizowania próbki tworzywa sztucznego, ocenić jakość powierzchni według wyglądu zewnętrznego:

- połysk,
- barwa,
- wygląd powierzchni.

Dodatkową ocenę powłoki może stanowić pomiar jej: twardości, wgłębności i grubości. W sprawozdaniu podać opis wykonywanych operacji oraz zmian wyglądu powierzchni metalizowanego tworzywa po poszczególnych operacjach.

### **ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA**

1. Cel i sposoby nanoszenia powłoki metalicznej na powierzchnię tworzywa sztucznego.
2. Przygotowanie powierzchni tworzywa do metalizacji galwanicznej.
3. Rodzaje kąpeli stosowanych do powyższych operacji.
4. Przykłady tworzyw sztucznych poddawanych metalizacji.
5. Procesy chemiczne i fizyczne zachodzące podczas poszczególnych operacji metalizacji wysokoudarowych kopolimerów styrenowych.
6. Metalizowanie galwaniczne odpowiednio przygotowanej powierzchni z tworzywa sztucznego (parametry, przykłady kąpeli).
7. Ocena jakości powłoki metalizowanego tworzywa.

## 17. KLEJENIE METALI

Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu składu kompozycji klejowej, rodzaju materiału klejonego i sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość spoin z klejów epoksydowych.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

#### 1.1. Przygotowanie kleju:

Kompozycję klejową przygotować zgodnie z recepturą podaną w tabeli 17.1

Tabela 17.1 Skład kompozycji klejowych:

Rodzaj żywicy	Układ utwardzający		Orientacyjny czas żelowania kompozycji z utwardzaczem w T=25°C, min
	Składniki	Udział masowy, %	
Żywica epoksydowa (Epidian 6)	TETA - trójetylenotetramina	12	200
Żywica epoksydowa (Epidian 51)	TETA - trójetylenotetramina	12	200
Żywica epoksydowa (Epidian 101)	Epidian 101 to układ dwuskładnikowy, w którym drugi składnik jest utwardzaczem (dicyjandiamid)		-

Na jedną spoinę zużywa się około 0,5 g kleju. Do klejenia użyć próbki blachy o wymiarach: 100x20x0.1±0,2 mm.

#### 1.2. Sprawdzenie wpływu warunków utwardzania, sposobu przygotowania powierzchni i rodzaju kleju:

Przygotować spoiny wykorzystując blaszki stalowe charakteryzujące się różnym sposobem przygotowania powierzchni, równocześnie zastosować różne warunki utwardzania. Szczegółowy opis czynności przygotowujących zawiera tabela 17.2.

Tabela 17.2. Sposób przygotowania powierzchni do klejenia i warunki utwardzania kleju

Sposób przygotowania powierzchni				Warunki utwardzania kleju	
bez przygotowania	szorstkowanie	odtłuszczenie	trawienie	WARIANT 1 T=25°C, t=24h	WARIANT 2 T=25°C, t=12h + T=100°C, t=6h
•				•	
	•	•		•	
	•	•	•	•	
	•	•	•		•

Sposób przeprowadzenia odpowiednich operacji przygotowania powierzchni opisuje tabela 17.3.

Tabela 17.3. Operacje przygotowujące powierzchnie metalu do klejenia

Rodzaj operacji	Sposób przeprowadzenia operacji
Szorstkowanie	przy użyciu papieru ściernego nr 400;
Odłuszczenie	przetarcie tamponem gazy nasączonej acetonem, chloroformem lub benzenem;
Trawienie	umieszczenie w kąpeli trawiącej (rozcieńczona mieszanina chromowa), następnie przepłukanie wodą destylowaną i wysuszenie w temp. $55 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Przygotować kompozycje klejowe zgodnie z tabelą 17.1. Dla każdego wariantu przygotowania powierzchni, warunków utwardzania (tabela 17.2) i rodzaju kleju (tabela 17.1) wykonać po 5 spoin na zakładkę.

Spoiny z zastosowaniem kleju na bazie Epidianu 101 utwardzać jedynie według drugiego wariantu utwardzania (tabela 17.2)

**Uwaga ! Długość spoiny powinna wynosić około 20 mm. Po połączeniu obu blaszek należy je ścisnąć do utwardzenia kleju w ręcznej prasce.**

1.2.2. wpływ rodzaju łączonych powierzchni na przyczepność kleju do materiału klejonego.

Wykonać spoiny na zakładkę dla następujących kombinacji materiałów klejonych:

- dural-dural
- miedź-miedź
- stal-stal
- dural-stal
- dural-miedź
- miedź-stal

Wykonać po 10 spoin dla każdej w/w kombinacji połączeń, stosując klejową kompozycję z Epidianu 5 i utwardzacza TETA. Po 5 spoin dla każdej kombinacji połączeń umieścić w ręcznej prasce i utwardzać wg wariantu 1 (tabela 16.2). Pozostałe próbki umieścić w prasce i utwardzać zgodnie z wariantem 2 (tabela 16.2).



## 2. OZNACZENIE WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE UZYSKANYCH SPOIN:

Badanie wytrzymałości spoin na ścinanie należy przeprowadzić przy użyciu maszyny wytrzymałościowej. Przed zamocowaniem próbki w maszynie należy zmierzyć i obliczyć powierzchnie sklejenia z dokładnością do  $0.1 \text{ cm}^2$ . Odległość między szczękami uchwytów  $l_0$  powinna wynosić  $100 \pm 2 \text{ mm}$ . Próbkę należy obciążać przy stałej prędkości przesuwania się głowicy  $v$  równej  $5 \text{ mm/min}$ .

## 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Obliczyć wytrzymałość spoin na ścinanie  $\sigma_c$  w  $\text{N/m}^2$  wg wzoru:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_0}, \text{ gdzie:}$$

$F_c$  - siła niszcząca, N,

$A_0$  - powierzchnia spoiny,  $\text{m}^2$ .

Za wynik przyjąć średnią arytmetyczną z otrzymanych wyników. Przeanalizować uzyskane wyniki, uzasadnić różnice w wytrzymałości spoin na ścinanie wynikające z odmiennego sposobu przygotowania powierzchni klejonych, różnych rodzajów użytych klejów i warunków ich utwardzania.

## ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBEDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA:

1. Klejenie jako sposób łączenia metali.
2. Czynniki wpływające na wytrzymałość spoin.
3. Sposoby badania wytrzymałości spoin klejowych.
4. Sposoby modyfikacji żywic syntetycznych dla wykonania różnego rodzaju i typu spoin.

## 18. OTRZYMYWANIE WYROBÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH METODĄ ODLEWANIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z techniką odlewania nienasyconych żywic poliestrowych i żywic epoksydowych.

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

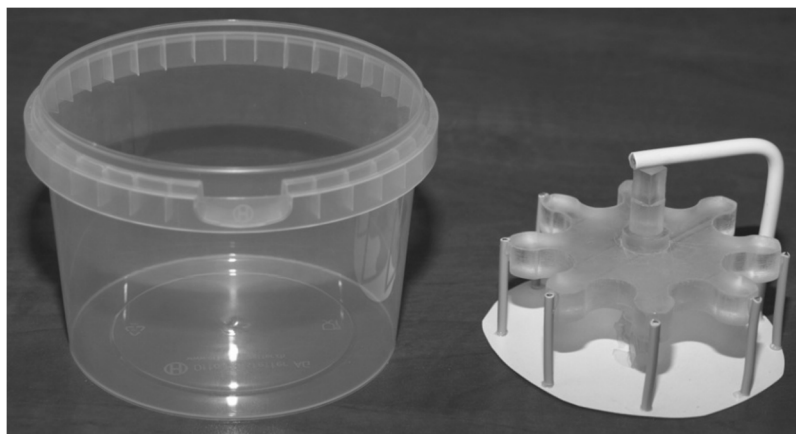
Wykonanie odlewu danego modelu składa się z następujących etapów:

- odlanie formy z kauczuku silikonowego dla danego modelu lub wykorzystanie istniejącej formy
- otrzymanie odlewu żywicy polimerowej w formie z kauczuku silikonowego

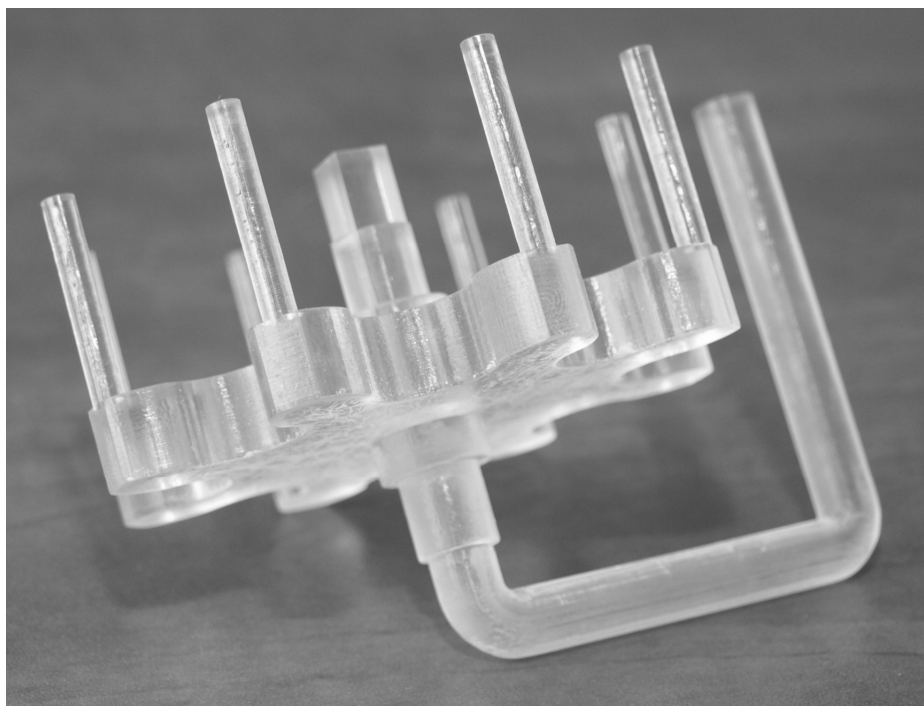
#### ETAP I - Odlanie formy z kauczuku silikonowego

W ramach etapu pierwszego należy wykonać następujące czynności:

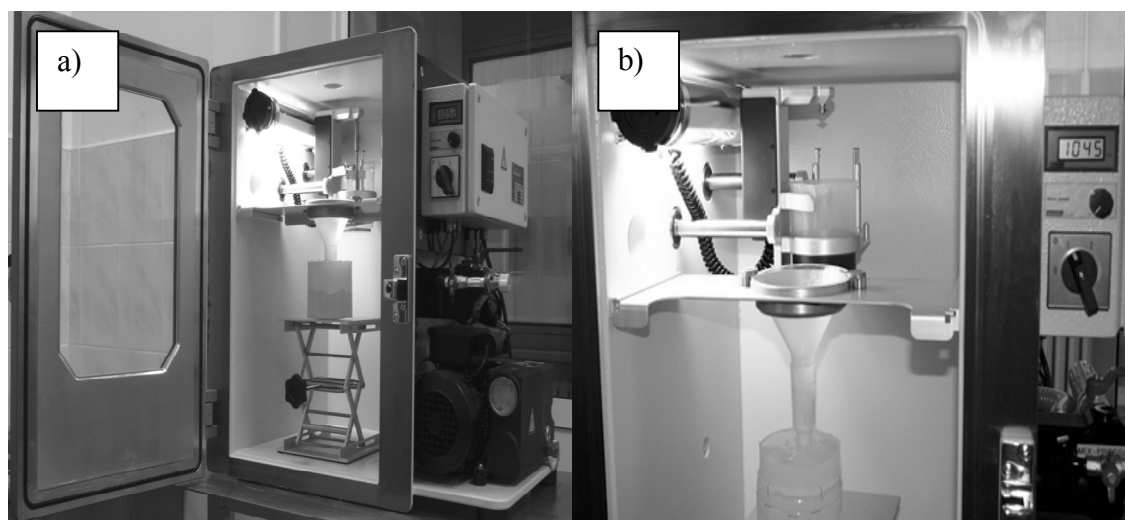
- wykonanie zestawu modelowego z kanałami doprowadzającymi tworzywo i odpowietrzającymi a następnie przesmarowanie modelu roztworem oleju silikonowego dla lepszego rozformowania (rys..1)
- Uwaga! Kanał doprowadzający i kanały odpowietrzające zostały wykonane oddzielnie i należy je przykleić do modelu bazowego (mastera). Istnieje również możliwość wykonania modelu wraz układem zasilania jako całości w jednym procesie *Rapid Prototyping (RP)* (rys 18.2),**
- przygotowanie obudowy formy (zbiornika na płynną żywicę silikonową – rys. 18.1),
- przygotowanie i odgazowanie wstępne silikonu w komorze odlewniczej (rys.18.3),
- wypełnienie obudowy odgazowanym silikonem i powtórne odgazowanie w komorze odlewniczej,
- usieciowanie żywicy i ewentualna obróbka cieplna,
- rozformowanie formy przez rozcięcie skalpelem matrycy, usunięcie modelu, układu wlewowego oraz odpowietrzającego.



Rys. 18.1. Obudowa matrycy i odlewniczy układ modelowy.

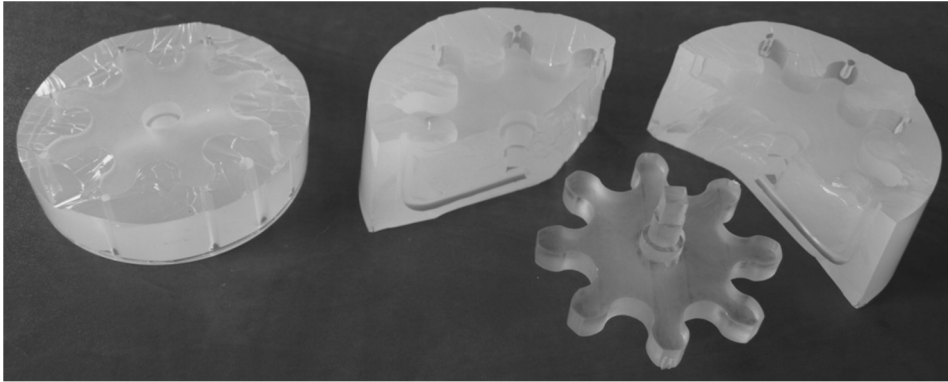


Rys. 18.2. Wygląd kształtki otrzymanej metodą stereolitografii o skorygowanej konstrukcji przy uwzględnieniu kanałów odpowietrzających i układu wlewowego.



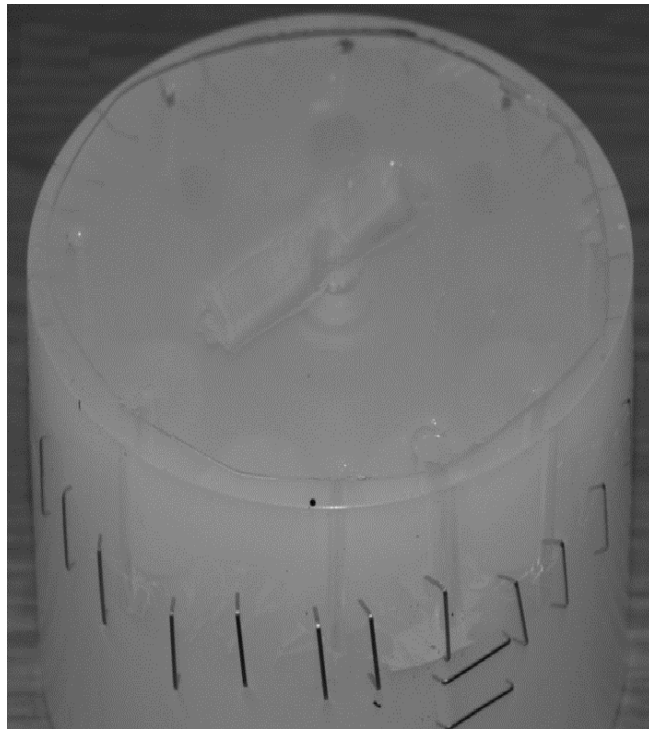
Rys. 18.3. Odlewanie próżniowe żywicy polimerowej w komorze maszyny próżniowej: a) widok komory próżniowej, b) odlewanie żywicy polimerowej do formy silikonowej.

Czas utwardzenia kompozycji wynosi 24 h. Po utwardzeniu kauczuku wyciągnąć formę z pojemnika i delikatnie rozciąć formę zgodnie z płaszczyzną podziału tzn. tak aby bez przeszkód wyciągnąć model z formy silikonowej (rys. 18.4.). Po wykonaniu tych zabiegów forma jest gotowa do wykonywania odlewów z żywicy chemoutwardzalnej.



Rys. 18.4. Rozformowana matryca silikonowa

## ETAP II. Otrzymywanie odlewu z żywicy polimerowej.



Rys. 18.5. Widok złożonej formy silikonowej wzmocnionej zszywkami.

Na początku etapu odlewania należy złożyć formę silikonową, a miejsca styku elementów formy wzmocnić za pomocą zszywek (rys. 18.5). Następnie należy przygotować kompozycję żywicy z układem inicjująco-sieciującym.

Skład kompozycji nienasyconej żywicy poliestrowej do odlewania:

- |    |   |            |
|----|---|------------|
| 1. | Polimal 109                                     | -96% mas.  |
| 2. | Nadtlenek cykloheksanonu (Heksanox)             | -4% mas.   |
| 3. | Przyśpieszcz - naftenian kobaltu (o 2% zaw. Co) | -0,2% mas. |

**Uwaga! Nie wolno mieszać ze sobą przyspieszacza z inicjatorem gdyż grozi to jego gwałtownym rozkładem. Przed dodaniem przyspieszacza do kompozycji należy dokładnie wymieszać żywicę z inicjatorem.**

Czas żelowania kompozycji wynosi około 0,5 h.

Dokładnie wymieszać kompozycję poliestrową za pomocą mieszadła znajdującego się w komorze próżniowej (Rys. 18.3) a następnie wlać ją powoli, równym strumieniem do poziomo ułożonej formy silikonowej. Po zalaniu formy zamknąć drzwi komory i włączyć pompę próżniową w celu usunięcia pęcherzyków powietrza z formy. Po odpowietrzeniu pozostawić odlew na około 24 h w temperaturze pokojowej. Po tym czasie wyjąć odlew i wstawić go do suszarki z wymuszonym obiegiem włączając ogrzewanie. Po osiągnięciu temperatury 80°C utrzymywać ją przez 2h, a następnie wyłączyć ogrzewanie suszarki. Po swobodnym schłodzeniu się suszarki do temperatury pokojowej wyjąć z niej odlew i oczyścić go z ewentualnych nadlewów. Ocenić wzrokowo jakość wykonanego odlewu.

Skład epoksydowej kompozycji odlewniczej:

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. Epidian 6                            | -87% mas. |
| 2. Utwardzacz Z-1 (trietylenotetramina) | -13% mas. |

Czas żelowania kompozycji wynosi około 2,0 h.

Dokładnie wymieszać kompozycję epoksydową za pomocą mieszadła znajdującego się w komorze próżniowej (Rys. 18.3) a następnie wlać ją powoli, równym strumieniem do poziomo ułożonej formy silikonowej. Po zalaniu formy zamknąć drzwi komory i włączyć pompę próżniową w celu usunięcia pęcherzyków powietrza z formy. Po odpowietrzeniu pozostawić odlew na około 24 h w temperaturze pokojowej. Po tym czasie wyjąć odlew i wstawić go do suszarki z wymuszonym obiegiem włączając ogrzewanie. Po osiągnięciu temperatury 100 °C utrzymywać ją przez 5 h, a następnie wyłączyć ogrzewanie suszarki. Po swobodnym schłodzeniu się suszarki do temperatury pokojowej wyjąć z niej odlew i oczyścić go z ewentualnych nadlewów. Ocenić wzrokowo jakość wykonanego odlewu.

Skład poliuretanowej kompozycji odlewniczej:

- |                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 1. Polioli (RepPrin Cast 6984)       | -50% mas. |
| 2. Diizocyjanian (RepPrin Cast 6984) | -50% mas. |

Czas żelowania kompozycji wynosi około 1 h.

Kompozycję poliuretanową należy dokładnie wymieszać za pomocą mieszadła, w które wyposażona jest komora odlewnicza (rys. 18.3.). Po wymieszaniu kompozycję wlać powoli, równym strumieniem do poziomo ułożonej formy silikonowej. Po zalaniu formy

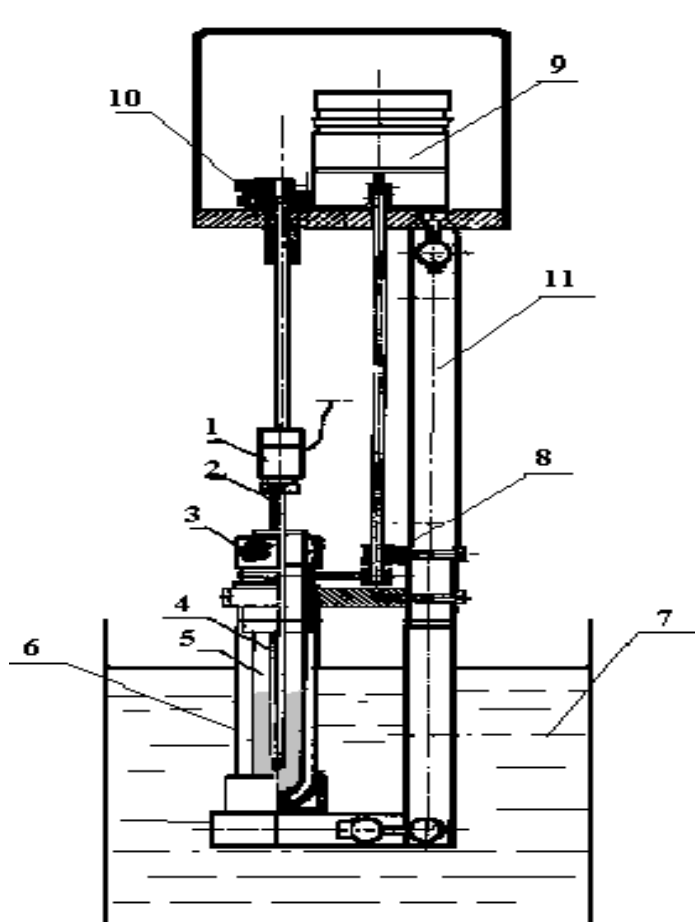
zamknąć drzwi komory i włączyć pompę próżniową dla usunięcia pęcherzyków powietrza z formy. Po odpowietrzeniu pozostawić odlew na około 24 h w temperaturze pokojowej. Po tym czasie wyjąć odlew i wstawić go do suszarki z wymuszonym obiegiem włączając ogrzewanie. Po osiągnięciu temperatury 80 °C utrzymywać ją przez 2 h, a następnie wyłączyć ogrzewanie suszarki. Po swobodnym schłodzeniu się suszarki do temperatury pokojowej wyjąć z niej odlew i oczyścić go z ewentualnych nadlewów. Ocenić wzrokowo jakość wykonanego odlewu.

## **2. OZNACZENIE WŁAŚCIWOŚCI ŻYWIC I ODLEWÓW Z NICH WYKONANYCH**

2.1. Oznaczanie parametrów żelowania kompozycji na bazie żywicy poliestrowej lub epoksydowej.

Do badań parametrów żelowania zastosować zaprojektowany i wykonany wg normy „Żelpenetrator WB2” (rys.18.6.)

Włączyć żelpenetrator do sieci. Przygotowaną wcześniej próbkę (wg zaleceń normy [5]) umieścić w ruchomym uchwycie żelpenetratora. Wyskalowaną termoparę włożyć do rurki szklanej o długości 200 mm a następnie zamocować w uchwycie. W polipropylenowym kubku należy odważyć 25 g badanej żywicy z dokładnością do 0,1 g. Zlewkę z żywicą umieścić na łaźni o temperaturze 25°C na co najmniej 10 minut. Po osiągnięciu przez żywicę temperatury 25°C należy dodać układ utwardzający w ilości jak podano w tabeli 19.6. Zawartość kubka dokładnie wymieszać włączając równocześnie stoper. Unieść trzpień do góry i napęlić próbkę do wysokości 75 mm badaną kompozycją. Opuścić trzpień i po upływie 60 s uruchomić program sterujący pracą żelpenetratora.



- 1 - uchwyt termopary,
- 2 - termopara,
- 3 - ruchomy uchwyt próbki,
- 4 - cienka rurka szklana z umieszczoną w jej wnętrzu termoparą,
- 5 - cieńsza próbówka z badaną kompozycją (celka pomiarowa),
- 6 - próbówka o większej średnicy,
- 7 - łaźnia termostatująca,
- 8 - przełożenie napędu,
- 9 - wolnoobrotowy silnik elektryczny,
- 10 - czujnik przemieszczenia (obrotu) rurki - wyłączający obroty w chwili utwardzenia żywicy (osiągnięcie lepkości > 50 Pas),
- 11 - statyw przyrządu.

Rys. 18.6. Budowa przyrządu do oznaczania czasu żelowania typu żelpenetrator WB2.

Cały proces pomiaru sterowany jest przez program komputerowy, a uruchamiany i nadzorowany przez operatora. Dostępne w danej chwili operacje i uruchamiające je kombinacje klawiszy są wyświetlane na ekranie komputera. Proces pomiaru może być przerwany przez operatora w każdej chwili, albo przez program sterujący po upływie żądanego czasu od rozpoczęcia pomiaru lub do momentu osiągnięcia usieciowania próbki żywicy. Program załącza i wyłącza mieszadło, odczytuje i zapisuje na dysku komputera w pliku tekstowym wyniki pomiaru (czas i temperaturę) oraz wyświetla na monitorze:

- czas indukcji, czyli czas jaki upłynął od początku pomiaru do rozpoczęcia wzrostu temperatury,
- temperaturę i czas żelowania - przez temperaturę żelowania rozumie się temperaturę większą o zadaną wartość od temperatury początkowej,
- temperaturę i czas utwardzania, czyli czas jaki upłynął od początku pomiaru do momentu obrotu o 90° rurki zanurzonej w kompozycji żywicznej, co objawia się wyłączeniem obrotów silniczka i zatrzymaniem pomiaru,

- temperaturę maksymalną i czas jaki upłynął od początku pomiaru do chwili jej osiągnięcia.

Wyniki pomiarowe zapisywane są na dysku w pliku tekstowym i mogą być potem przeniesione do innych programów użytkowych, np. Excel, Origin, MatLab lub tym podobne dla dalszej obróbki danych.

2.2. Oznaczyć skurcz objętościowy  $S_v$  w % dla każdego z otrzymanych odlewów wg wzoru:

2.3. Określić twardość otrzymanych odlewów metodą wg Brinella zgodnie z instrukcją do ćwiczenia nr 4.

2.4. Ocenić wzrokowo jakość wykonanych odlewów.

### **ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA:**

1. Budowa chemiczna nienasyconych żywic poliestrowych typu Polimal i żywic epoksydowych typu Epidian.
2. Sieciowanie nienasyconych żywic poliestrowych i epoksydowych.
3. Zastosowanie żywic poliestrowych do otrzymywania wyrobów metodą odlewania.
4. Trudności technologiczne występujące podczas odlewania żywic.

### **LITERATURA:**

- [1]. Kłosowska-Wołkiewicz Z., Penczek P., Królikowski W., Nienasycone żywice poliestrowe WNT, Warszawa 2010.
- [2]. Żywice poliestrowe "Polimal" prospekt Zakładów Chemicznych "Sarzyna"
- [3]. Łączyński B., Metody przetwórstwa tworzyw sztucznych WNT, Warszawa 1977



## 19. KOMPOZYCJE NIENASYCONYCH POLIESTRÓW O ZMNIEJSZONEJ PALNOŚCI.

**Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przykładami zmniejszenia palności kompozycji nienasyconych poliestrów (UP) oraz metodą jej oceny.**

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

Przygotować formę odlewniczą na beleczki 4x10x110 mm z kauczuku silikonowego, a następnie kompozycje żywicy składowych podanych w tabeli 19.1. Ilość kompozycji powinna być tak dobrana, aby wystarczyła na odlanie 3 beleczek. Kompozycje należy przygotować kolejno po odlaniu beleczek z poprzedniej mieszanki. Dla utwardzenia żywicy w temperaturze powietrza należy dodać przyspieszacza (10% r-r N,N-dimetyloaniliny w ksylenie) w ilości 3 cz. mas. na 100 cz. mas. żywicy. Przyspieszacz należy dodać bezpośrednio przed wylaniem kompozycji do formy, gdyż czas życia mieszanki waha się od 10÷30 min.

Tabela 19.1. Skład badanych kompozycji:

Lp.	Nazwa składnika	Ilość składnika w kompozycji, cz. mas.						
		A	B	C	D	E	F	G
1.	Polimal 161 lub 109	100	100	100	100	100	100	100
2.	50% pasta nadtlenu benzoilu w toluenie	2	2	2	2	2	2	2
3.	NN-dimetyloanilina	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4.	Fosforan melaminy	-	5	10	15	-	-	-
5.	Wodorotlenek glinu	-	-	-	-	10	20	40

Po utwardzeniu beleczki wyjąć z formy i ułożyć na płaskiej powierzchni w celu pełnego usieciowania w ciągu minimum 24 godzin. Każdą beleczkę należy opisać numerem kompozycji i numerem porządkowym.

### 2. BADANIE PALNOŚCI OTRZYMANYCH PRÓBEK METODĄ UL94

Każdą beleczkę należy zważyć z dokładnością do 0,1 g i zmierzyć jej długość suwmiarką. Na każdej próbce nanieść linią prostokątną do podłużnej osi próbki w odległości 80 mm od końca, który będzie podpalony. Badaną beleczkę umocować pionowo w uchwycie przyrządu spełniającego wymagania normy tak aby długość części wystającej poza uchwyt nie była mniejsza niż 80 mm. W międzyczasie ustawić płomień palnika Bunsena pod kątem 45° i podstawić pod zamocowaną próbkę w odległości 30 mm w pionie i 80 mm w poziomie.

W chwili zetknięcia się płomienia palnika z beleczką włączyć stoper. Po 30 s działania płomienia na próbkę odsunąć palnik na bok i zarejestrować czas do momentu zgaśnięcia belecзки. Po zakończeniu badania włączyć wentylator i zmierzyć najmniejszą odległość pomiędzy zaznaczoną kreską, a zwęgloną częścią próbki (po obu stronach belecзки). Następnie zważyć próbkę. Podobnie badanie powtórzyć dla kolejnych beleczek i kompozycji.

### 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW

3.1. Obliczyć długość spalonej części próbki dla każdej kompozycji  $l$  [mm] ze wzoru:

$$l = \frac{\sum_{i=1}^n (80 - l_i)}{n}$$

gdzie:

$l_i$  - najmniejsza odległość między znakiem i spaloną częścią dla  $i$ -tej próbki, mm,

$n$  - liczba badanych beleczek.

3.2. Obliczyć względną średnią masę spalonej części próbki ze wzoru:

$$m_K = (m_{i0} - m_i) \cdot m_{i0}^{-1}$$

gdzie:

$m_{i0}$  - masa belecзки przed pomiarem, g,

$m_i$  - masa belecзки po pomiarze, g.

3.3. Obliczyć czas palenia ( $t_k$ ) jako średnią arytmetyczną czasów palenia belecзки dla każdej kompozycji.

3.4. Porównać wpływ działania badanych dodatków na palność UP oraz sporządzić odpowiednie zależności.

### ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA

1. Klasyfikacja palności tworzyw sztucznych.
2. Metody badania palności tworzyw sztucznych.
3. Mechanizm działania środków zmniejszających palność.
4. Sposoby zmniejszania palności UP

## 20. BADANIE WPLYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW NA WYTRZYMAŁOŚĆ SPOIN ZGRZEWANYCH Z FOLII

**Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu typu spoiny oraz czasu zgrzewania oporowego i pojemnościowego folii na wytrzymałościowe na rozciąganie otrzymywanych spoin.**

### 1. WYKONANIE ĆWICZENIA

Dokonać wyboru i przygotowania folii do zgrzewania. W tym celu sprawdzić przydatność folii do zgrzewania określoną metodą - tabela 20.1. Grubość folii zmierzyć śrubą mikrometryczną.

**Tabela 20.1** Rodzaje tworzyw i parametry folii zdolnych do zgrzewania:

Metoda zgrzewania	Rodzaj tworzywa	Wymagania dotyczące folii		
		Grubość g, mm		tgδ
		jednostronnie ogrzewanej	dwustronnie ogrzewanej	
Zgrzewanie impulsem cieplnym	PE HD, PE LD PVC U PVC P, PA, Octan celulozy	0,20 0,06 ≤ 0,15 0,10 0,04	0,50 0,18 ≤ 0,40 0,30 0,10	nie ma znaczenia dla tej metody
Zgrzewanie dielektryczne (f = 27 Hz)	PVC U PVC P PA, Polimetakrylany (warunkowo), polimery mieszane	> 0,1		> 10 <sup>-2</sup>

Z odpowiedniego rodzaju folii - dla każdej z metod - wyciąć po 50 pasków o wymiarach 100×20 mm. Na obu zgrzewarkach wykonać po 5 spoin na zakładkę i po 5 spoin na nakładkę dla różnych całkowitych czasów zgrzewania folii (t).

W przypadku:

- zgrzewania impulsem cieplnym - przeprowadzić zgrzewanie dla pięciu różnych czasów trwania impulsu  $t_I$  w zakresie 0.5÷5 s.

$$t = t_D + t_I + t_R + t_E$$

- zgrzewania dielektrycznego - przeprowadzić zgrzewanie dla różnych rzeczywistych czasów zgrzewania  $t_S$  w zakresie 0.5 ÷ 4 s.

$$t = t_D + t_V + t_S + t_R + t_E$$

gdzie:

- $t$  - całkowity czas zgrzewania, s,
- $t_D$  - czas zamykania formy, s,
- $t_I$  - czas impulsu, s,
- $t_R$  - czas chłodzenia, s,
- $t_E$  - czas otwarcia formy, s,
- $t_V$  - czas potrzebny do zadziałania zmiennego pola elektrycznego, s,
- $t_S$  - rzeczywisty czas zgrzewania, s.

## 2. OZNACZANIE CECH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH FOLII:

Dla uzyskanych spoin, przy użyciu maszyny wytrzymałościowej, wyznaczyć ich wytrzymałość na rozciąganie zgodnie z normą. Zaznaczyć, w którym miejscu nastąpiło zerwanie folii (w spoinie czy poza spoiną). Oznaczenie należy przeprowadzić z prędkością odkształcania przewidzianą w normach przedmiotowych dotyczących badanych folii i odpowiadającą jednej z prędkości podanych w tabeli 20.2. Długość odcinka pomiarowego  $l_0=100$  mm.

Tabela 20.2. Zalecane prędkości odkształcania przy statycznym rozciąganiu folii:

Prędkość odkształcania $v$ , mm/min		
1÷0,5	10÷1,0	100÷10
2(2,5)÷0,4	20(25)÷2,0	200(250)÷20
5÷1,0	50÷5,0	500÷50

## 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Naprężenie zrywające  $\sigma_r$  w MPa obliczyć wg wzoru:

$$\sigma_r = \frac{F_r}{b \cdot g}$$

gdzie:

- $F_r$  - siła rozrywająca, N,
- $b$  - szerokość spoiny, mm,
- $g$  - grubość folii, mm.

Sporządzić wykres zależności naprężenia zrywającego w funkcji czasu zgrzewania dla każdego typu spoiny. Porównać wytrzymałość spoin zgrzewanych różnymi metodami. Przedyskutować powyższe problemy w sprawozdaniu.

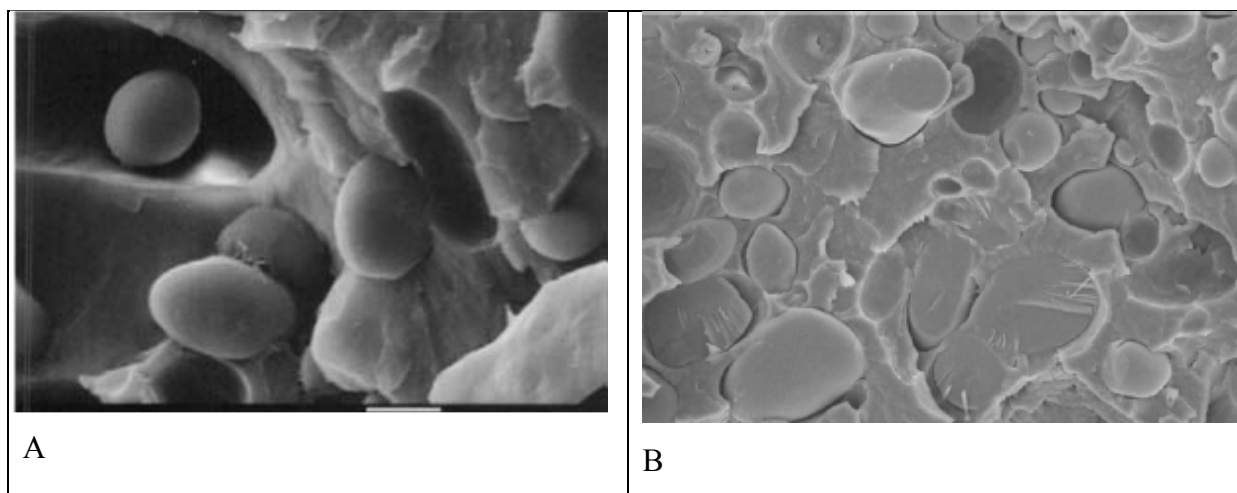
**ZAGADNIENIA LITERATUROWE NIEZBEDNE DO WYKONANIA ĆWICZENIA:**

1. Istota procesu zgrzewania tworzyw.
2. Metody zgrzewania folii z tworzyw sztucznych
3. Zalety i wady dostępnych sposobów zgrzewania.
4. Czynniki, wpływające na wytrzymałość spoin zgrzewanych z folii.
5. Schemat zgrzewarki odporowej i pojemnościowej.

## 21. SPORZĄDZANIE BLEND POLIMEROWYCH METODĄ WYTŁACZANIA

**Cel ćwiczenia:** zapoznanie się ze sposobami otrzymywania i właściwościami blendów wzajemnie niemieszalnych polimerów na przykładzie przemiału polipropylenu (PP) z poliamidem 6 (PA6).

**Blendy polimerowe** to mieszaniny co najmniej 2 polimerów lub kopolimerów. Przykład wyglądu przełomów takich blend pokazano na rys. 21.1.



Rys. 21.1. Widok uzyskany techniką skaningowej mikroskopii elektronowej kruchych przełomów blend: o niewielkich (A) i dużych (B) oddziaływaniach pomiędzy składnikami

### Wykonanie ćwiczenia

1. Wykonać 1 kg naważkę recyklatu PP i PA6 o stosunku masowym polimerów 80%:/20% (mieszanka I)
2. Włączyć chłodzenie wodne wokół leja zasypowego wylączarki dwuślimakowej typu ZSK 18, wyposażonej w głowicę dwuprętową i nastawić temperaturę poszczególnych stref cylindra i głowicy na następujące wartości: 220/240/245/250/250 °C. Do leja zasypowego głównego dozownika grawimetrycznego wsypać przygotowaną mieszankę.
3. Po osiągnięciu założonych wartości temperatury uruchomić obroty ślimakaów nastawiając je na minimalną wartość (120 1/min), a następnie nastawić wydajność dozownika grawimetrycznego nr 1 na 2 kg/h. Po osiągnięciu założonych obrotów przez ślimak piktogram dozownika zmieni barwę na żółtą, co oznacza możliwość uruchomienia tego dozownika. Po włączeniu obrotów dozownika należy uważnie

obserwować wskazania czujnika obciążenia ślimaka, pilnując, aby nie wzrosło ono powyżej 70 % (maksymalnej wartości). Jeśli zaistniałaby taka sytuacja należy zwiększyć obroty ślimaków wylączarki do 200-250 1/min. Po ukazaniu się stopu polimerowego wypływającego z głowicy wylączarki odciągnąć pierwsze porcje silnie zdegradowanego (gdyż przebywającego zbyt długo w cylindrze podczas oczekiwania na osiągnięcie właściwej temperatury przez jego ściankę) za pomocą drutu mosiężnego (lub z innego miękkiego stopu) i po schłodzeniu w wannie chłodzącej przeznaczyć do odpadów nieużytkowych. Następnie włączyć obroty noża granuladora i nastawić je na minimalną prędkość: „6”. Po wyrównaniu się barwy nitek stopu można je przeprowadzić poprzez wałki ciągnące przez chłodzącą łaźnię wodną i wprowadzić do gardzieli granuladora. Pod otwór wylotowy granuladora podstawić worek foliowy oznakowany symbolem przetwarzanej mieszanki. W przypadku zbyt małej prędkości obrotowej noża granuladora, co objawia się plątaniem się wytłaczanych nitek w wannie chłodzącej, można ją zwiększyć aż do uzyskania pożądanego efektu. Po wytłoczeniu całej porcji mieszanki, co zasygnalizuje lampka na panelu sterującym maszyny oraz brak wypływającego z głowicy stopu, wyłączyć dozownik oraz po pewnej chwili również obroty ślimaków. Pozostawić włączone ogrzewanie cylindra do wytłaczania następnej mieszanki.

4. Ocenic organoleptycznie homogenicznosc mieszanki I
5. Wykonac 1 kg nawazke recyklatu PP i PA6 oraz kompatybilizatora (kopolimer szczepiony bezwodnika maleinowego na polipropylene) o stosunku masowym 78%:/ 20%:/ 2% (mieszanka II)
6. Wytloczyc mieszanke II w podobnych warunkach jak poprzednia.
7. Ocenic organoleptycznie homogenicznosc mieszanki II
8. Wykonac probe wtryskiwania otrzymanych granulatuw (przemialow) dla otrzymania beleczek i wioselek
9. Oznaczyc wlasciwosci wytrzymalosciowe uzyskanych probek
10. Podsumowac przeprowadzone badania wytrzymalosciowe i obserwacje

Zagadnienia, które należy opracować, aby skutecznie wykonać ćwiczenie:

1. Mieszalność polimerów
2. Pojęcie blend polimerowych i ich rodzaje
3. Zasady projektowania blend polimerowych
4. Sposoby otrzymywania blend polimerowych

Literatura do ćwiczenia 21

1. Jurkowski B., Jurkowska B., Sporządzanie kompozycji polimerowych. Elementy teorii i praktyki, WNT Warszawa 1995
2. Koning C., Van Duin M., Pagnouille C., Jerome R.: Prog. Polymer Sci., **23**, 707-57, 1998



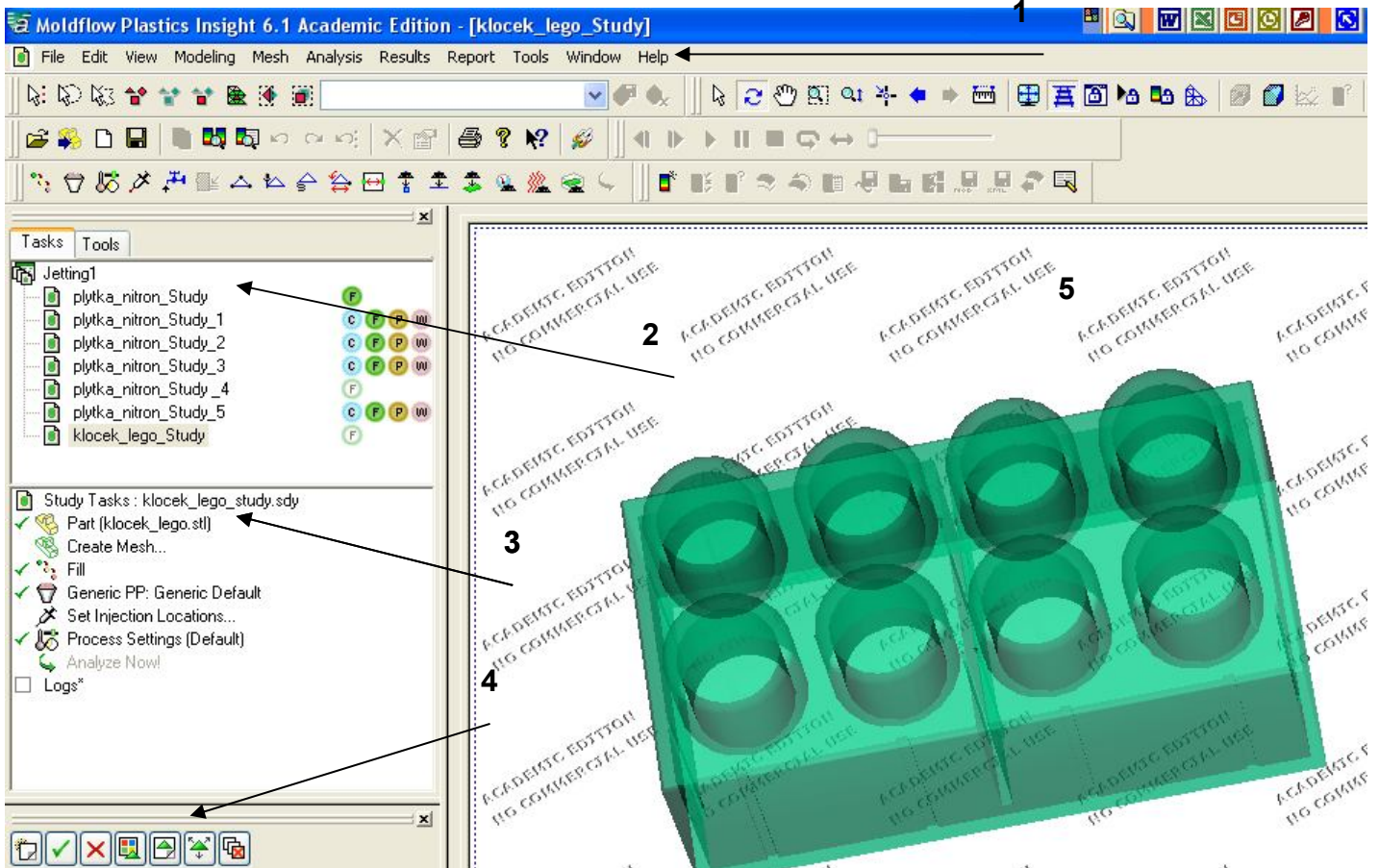
## 22. ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ PROCESU W TECHNOLOGII WTRYSKIWANIA (program Autodesk Moldflow Insight)

### 1. Informacje wstępne, zapoznanie się z programem Autodesk Moldflow Insight

Po uruchomieniu programu Autodesk Moldflow Insight (*AMI*) należy zaimportować kształtkę do analizy. W tym celu trzeba najechać kursorem myszki na pasek narzędzi i w menu *File* wybieramy opcję *New Project*, a po ukazaniu się okna – nadać plikowi odpowiednią nazwę i zapamiętać w wybranym, np. domyślnym katalogu. Następnie z menu *File* (lub z paska narzędzi) wybrać opcję *Import* i z katalogu zawierającego modele geometryczne wybrać pożądaną kształtkę i nacisnąć *Otwórz*. Ukaże się wówczas okno pozwalające na wybór typu siatki importowanych elementów (płaskich: *Midplane* lub *Dual Domain* albo przestrzenne: *Solid (3D)*) oraz wymiarów geometrycznych modelu (*mm* lub *cm*, lub *cale*, lub *m*). Po wybraniu jednego z wariantów wcisnąć *OK*, nastąpi wtedy zaimportowanie modelu, potwierdzone ukazaniem się go na ekranie monitora w postaci zacienionej bryły i pojawieniem się w oknie *Tasks* nazwy zaimportowanej kształtki (rys. 21. 1.)

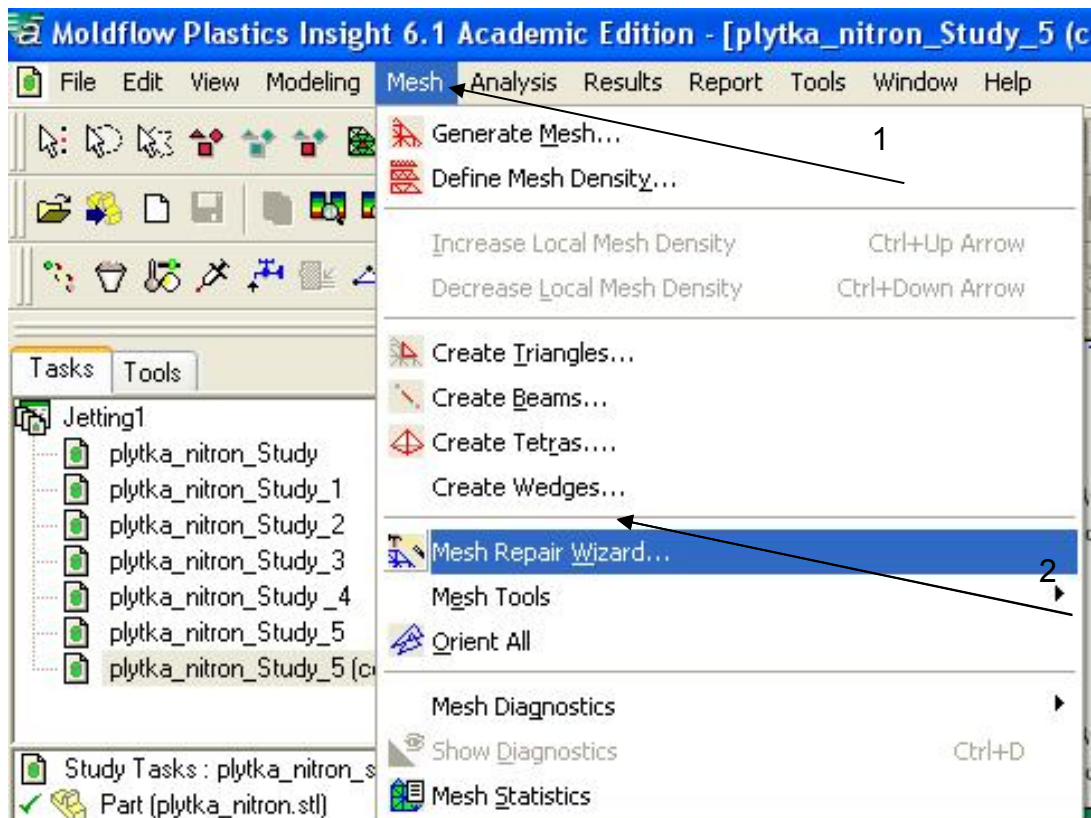
### 2. Wygenerowanie siatki elementów skończonych

Dla przeprowadzenia analizy wtryskiwania kształtki niezbędne jest pokrycie jej siatką elementów skończonych (zależnie od wybranego wcześniej typu importowanego modelu: trójkątnych lub tetraedrycznych). W tym celu trzeba wybrać zadanie *Meshing* z drugiego wiersza drugiego okna *Tasks* – wówczas otworzy się okno *Tools* i zadanie *Generate Mesh*, a po przyjęciu parametrów siatki wykonać je wciskając *Mesh Now* (rys. 21.2.). Po prawidłowym wykonaniu tej operacji na ekranie monitora pojawi się model z nałożoną siatką elementów skończonych. Teraz konieczne jest sprawdzenie ciągłości modelu i jakości siatki – czy nie ma w niej elementów zbyt zdeformowanych, zachodzących na siebie lub przecinających się. Aby tego dokonać należy uruchomić procedurę *Mesh Repair Wizard* (2) w rozwijalnym menu *Mesh* (1) z paska narzędzi.



Rys. 22.1. Wygląd ekranu programu AMI wraz z zaimportowaną do analizy wtryskiwania kształtką.

1 – pasek rozwijalnych menu, 2 – okno wyboru analizowanych modeli, 3 – okno analizowanego przypadku wraz z wybranymi zadaniami, 4 – okno włączania widoczności określonych elementów składowych analizowanego gniazda (np. elementów skończonych, węzłów, kanałów wlewowych, kanałów chłodzących, obudowy itp.), 5 – pole prezentacji modelu, wyników analiz



Rys. 22.2. Rozwijalne menu budowania, naprawy i diagnostyki siatki elementów skończonych (*Mesh*) analizowanej formy wtryskowej

Na zakończenie należy jeszcze sprawdzić czy wypraska jest ułożona na płaszczyźnie XY. Jeśli tak nie jest, za pomocą polecenia *Move/Copy* (rys. 22.3) należy obrócić ją tak, aby długość i szerokość kształtki znalazły się na płaszczyźnie XY.

### 3. Wybór rodzaju symulowanego procesu

Do wyboru symulowanego procesu służy opcja *Set Molding Process* w pasku rozwijalne menu: *Analysis*. Do wyboru, zależnie od typu wybranej siatki elementów skończonych, jest kilka procesów: od wtrysku termoplastów, poprzez wtrysk wielokomponentowy, wspomagany gazem, wyprasek mikroporowatych, po wtrysk tworzyw termoreaktywnych, prasowanie przetłoczone i enkapsulację. Dla celów obecnych zajęć należy wybrać odpowiednią technikę wtryskiwania (*Thermoplastic Injection Molding lub Reactive Molding, bądź inną*).

4. Wykonanie analizy optymalizacji umieszczenia wlewka (*Gate Location*) – wariant możliwy do wykonania dla siatki typu *Midplane* lub *Dual Domain*

By przeprowadzić tę analizę należy z umieszczonego w środkowym oknie paska *Tasks* wybrać 3 zadanie, które po kliknięciu otwiera menu *Select Analysis Sequence (SAS)*, a stąd wybrać zadanie *Gate Location* (umieszczenie przewężki). Zadanie umieszczone poniżej *SAS* wskazuje na rodzaj wytypowanego do analiz tworzywa, które, po najechnaniu nań kursorem myszki i kliknięciu, można teraz zmienić po otwarciu okna wyboru tworzywa przez polecenie *Search* (szukaj).

Po wyświetleniu okna *Search* pojawia się tabela, w której znajduje się kilka kryteriów, według których możemy wyszukać interesujące nas tworzywa na kilka sposobów

- *Manufacturer* - nazwa firmy (producent)
  - *Trade name* - (nazwa handlowa)
  - *Family abbreviation* – skrót nazwy tworzywa (np. PE, PP, ABS, itp.)
  - *Filler data: Description* – rodzaj napełniacza: opis
  - *Filler data: Weight* – napełniacz: zawartość
  - *Melt mass-flow rate (MFR)*: - wartość wskaźnika płynięcia tworzywa
- Używając polecenia *remove* można usunąć któreś z kryteriów wyszukiwania lub za pomocą polecenia *add* – dodać inne wybierając je spośród proponowanych przez system.

Do symulacji wyszukać tworzywo firmy BASF, o nazwie handlowej Terluran GP-35. Jest to ABS o wskaźniku płynięcia 33 g/10 min. Można także wybrać także jakikolwiek inny typ ABS dowolnego producenta z bazy AMI.

UWAGA: przed przystąpieniem do szukania należy odznaczyć opcje „*Add to common material list after selecting*”.

Po znalezieniu i wybraniu odpowiedniego tworzywa klikamy na opcję *Select*, a następnie na przycisk *OK*. W tym momencie następuje przeniesienie danych dotyczących właściwości tworzywa oraz zalecanych przez jego producenta parametrów przetwórczych do modułu symulacji wtryskiwania (tzw. *solver*). Parametry te można zmienić według własnej wiedzy i wyboru, odpowiednio: temperaturę formy (*Mold Surface Temperature*), wtrysku (*Melt Temperature*), czas lub szybkość wtrysku (*Filling Control*), moment przełączenia wtrysku na docisk (*Velocity/pressure switch over*), czas i ciśnienie docisku (*Pack/holding control*). Można także zmienić inne parametry wtryskiwania (parametry techniczne wtryskarki, właściwości materiału, z którego wykonana jest forma wtryskowa) lub analizy dzięki użyciu ikony „*Zaawansowane ustawianie parametrów*” (*Advanced options*).

Analiza *Gate Location* trwa kilka minut. Postępy analizy można prześledzić

obserwując w dolnej części ekranu aktualnie wykonywaną operację. W momencie wykonania analizy włącza się krótki sygnał dźwiękowy, a na ekranie wyświetla się informacja o jej pomyślnym zakończeniu. W przypadku pojawienia się jakiegoś błędu w trakcie obliczeń, na ekranie wyświetla się odpowiedni komunikat informujący o fakcie nieskończonej analizy.

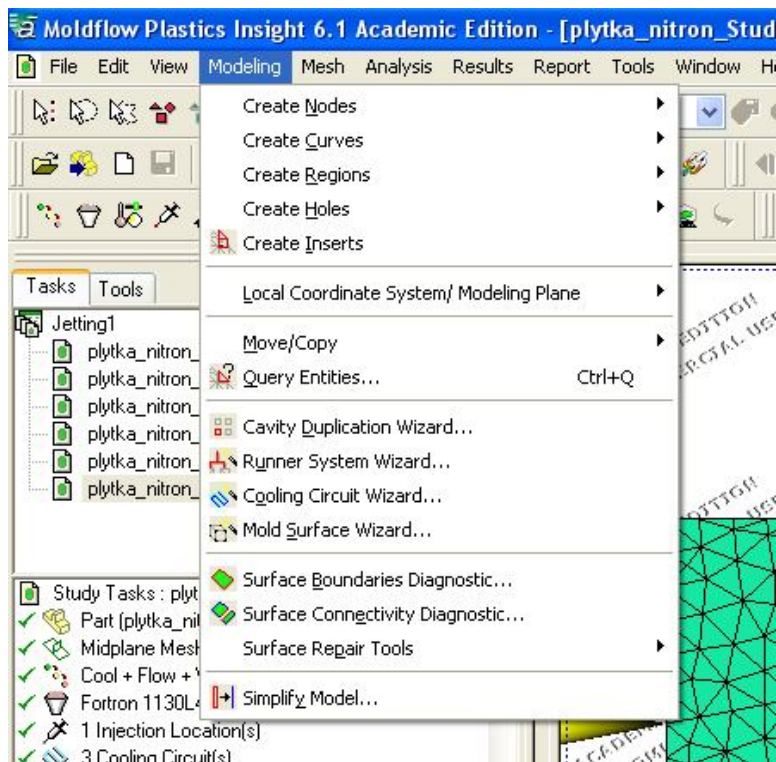
Wyniki analizy pokazywane są w postaci barwnego diagramu: kolorem niebieskim jest zaznaczony na kształtce obszar, w obrębie którego umieszczenie wlewka (punktu wtrysku) jest optymalne (*Best gate location*), a czerwonym – najgorsze.

#### 5. Zbudowanie geometrii dwugniazdowej formy na wybraną kształtkę

W celu umieszczenia wlewka należy z rozwijalnego menu *Analysis* wybrać polecenie *Set Injection Locations* i umieścić wlewki w wybranym przez siebie miejscu przyszłej wypraski klikając lewym klawiszem myszki.

Dla otrzymania formy dwugniazdowej z paska narzędzi (rys. 3) należy wybrać rozwijalne menu *Cavity Duplication Wizard*, a następnie odpowiednie ułożenie gniazd na płaszczyźnie (*Columns* lub *Rows*) i ich liczbę (np.: 2), po czym podać odległości pomiędzy gniazdami (*Column spacing* i *Row spacing*). W przypadku zadowalającego ułożenia gniazd, co jest uwidocznione na podglądzie (*Preview*), można zaakceptować to rozwiązanie wybierając polecenie *Zakończ*.

Kolejnym etapem modelowania jest zbudowanie układu wlewowego przez wybranie polecenia *Runner System Wizard* (rys. 22.3) i zastosowanie domyślnej ich geometrii. Po zadeklarowaniu położenia kanału wtryskowego (*Sprue position*), płaszczyzny podziału formy (*Parting plane Z [1]: Top* – u góry kształtki, *Bottom* – u dołu kształtki, *Gate Plane* – w płaszczyźnie przewężki lub podać je w mm), rodzaju kanału dopływowego (*Hot* lub *Cold runner*) i odpowiednich wymiarów wszystkich elementów układu wlewowego (*Sprue*, *Runners*, *Gates*) następuje jego wygenerowanie. Układ wlewowy można zbudować także „ręcznie” korzystając z narzędzi dostępnych w menu *Modeling*.



Rys. 22.3. Rozwijalne menu projektowania geometrii analizowanej formy wtryskowej. Wykorzystywane ono jest do: przesuwania, obracania elementów składowych form wtryskowych: kształtek, kanałów wlewowych i chłodzących itp. (*Move/Copy*); uzyskiwania formy wielogniazdowej przez kopiowanie pojedynczej wypraski i ustawianie ich w pożądanym sposobie (*Cavity Duplication Wizard*); umieszczania kanałów wlewowych (*Runner System Wizard*); wstawiania kanałów chłodzących (*Cooling Circuit Wizard*); tworzenia obudowy gniazd formujących (*Mold Surface Wizard*)

Standardowy układ chłodzący dobudowuje się wykorzystując polecenie *Cooling Circuit Wizard* umieszczonego w menu *Modeling* (rys. 22.3.). W otwartym wówczas oknie modelowania należy wybrać średnicę kanałów chłodzących, ich odległość od powierzchni analizowanej kształtki, ułożenie ich w kierunku osi X lub Y. Potem należy określić liczbę kanałów i odległość pomiędzy nimi, a także o ile ich długość będzie większa od odpowiadającego jej wymiaru kształtki. Po kliknięciu polecenia *Preview* pojawi się podgląd geometrii układu chłodzącego, a po jej zaakceptowaniu (*Zakończ*) nastąpi wygenerowanie kanałów w projektowanej formie.

Ostatnim etapem prac przygotowawczych jest wygenerowanie metalowej obudowy gniazd formujących za pomocą polecenia *Mold Surface Wizard* (rys. 22.3). Można tu zadeklarować wymiary bloku formy kolejno wzdłuż osi: X, Y i Z. System pozwala także na wybranie materiału (*Select Mold material*), z którego jest wykonany blok formy. Materiały zgrupowane są w bazie programu i obejmują stale narzędziowe, zwykłe, metale kolorowe i stopy.

Po wykonaniu tych czynności wstępnych można przejść do kolejnych analiz, dostępnych w programie AMI.

#### 7. Wykonanie analizy wyznaczenia zakresu optymalnych parametrów wtryskiwania

Włączyć okno analiz przez opcję *Analysis Wizard* i wybrać analizę *Molding Window* (*okno parametrów wtrysku*) i klikamy na przycisk *Dalej*. Następnym krokiem jest wybranie kryterium jakości (wyglądu) powierzchni wypraski. Mamy tu trzy opcje do wyboru:

- *High gloss* (wysoki połysk),
- *Gloss* (zwykły połysk),
- *Low gloss* (mały połysk).

Po wybraniu odpowiedniej opcji klikamy na przycisk *Zakończ*.

Gdy program zakończy analizę wyświetla okno z ewentualnymi uwagami. Należy również skorzystać z opcji *Display Molding Window*, która pozwala na obejrzenie (zapoznanie) się z diagramem: czasu wtrysku – temperatura wtrysku (stopu), dla określonej temperaturze formy, którą można zmienić. Wartości te można wybierać dowolnie, pamiętając jednak by przecięcie się obu linii znajdowało się na obszarze zaznaczonym zielonym kolorem. Możemy również skorzystać z pomocy programu i wybrać optymalny punkt klikając na przycisk *Optimum Point*. Po wybraniu odpowiednich warunków zatwierdzamy je klikając na przycisk *Use Conditions*. Po wybraniu, zgodnie z zasugerowanym obszarem warunków wtrysku (symulacji wtrysku) tj. temperaturą wtrysku i formy, czasem wtrysku przejść do kolejnych analiz.

8. Wykonanie analizy wypełniania gniazda formującego, chłodzenia wypraski i paczenia  
Wykonać analizę dla pierwszego wybranego tworzywa polimerowego (np. dobrze płynny ABS – Terluran GP35)

#### 9. Wykonanie II analizy wypełniania gniazda formującego, chłodzenia wypraski i paczenia

Po zapoznaniu się z wynikami I analizy i ich zinterpretowaniu należy powtórzyć analizę dla znalezionych w bazie materiałowej systemu AMI kolejnych typów nienapełnionego ABS o nieco mniejszej (1) i znacznie mniejszej płynności (2), tj.:

- (1) np.: tworzywa o nazwie handlowej ABS HI-121, o MFR=20 g/10 min
- (2) np.: tworzywa o nazwie handlowej Techno ABS 540, firmy Techno Polymer o MFR=5 g/10 min

10. Analiza i interpretacja wyników wykonanych symulacji wtryskiwania dla wybranych tworzyw.