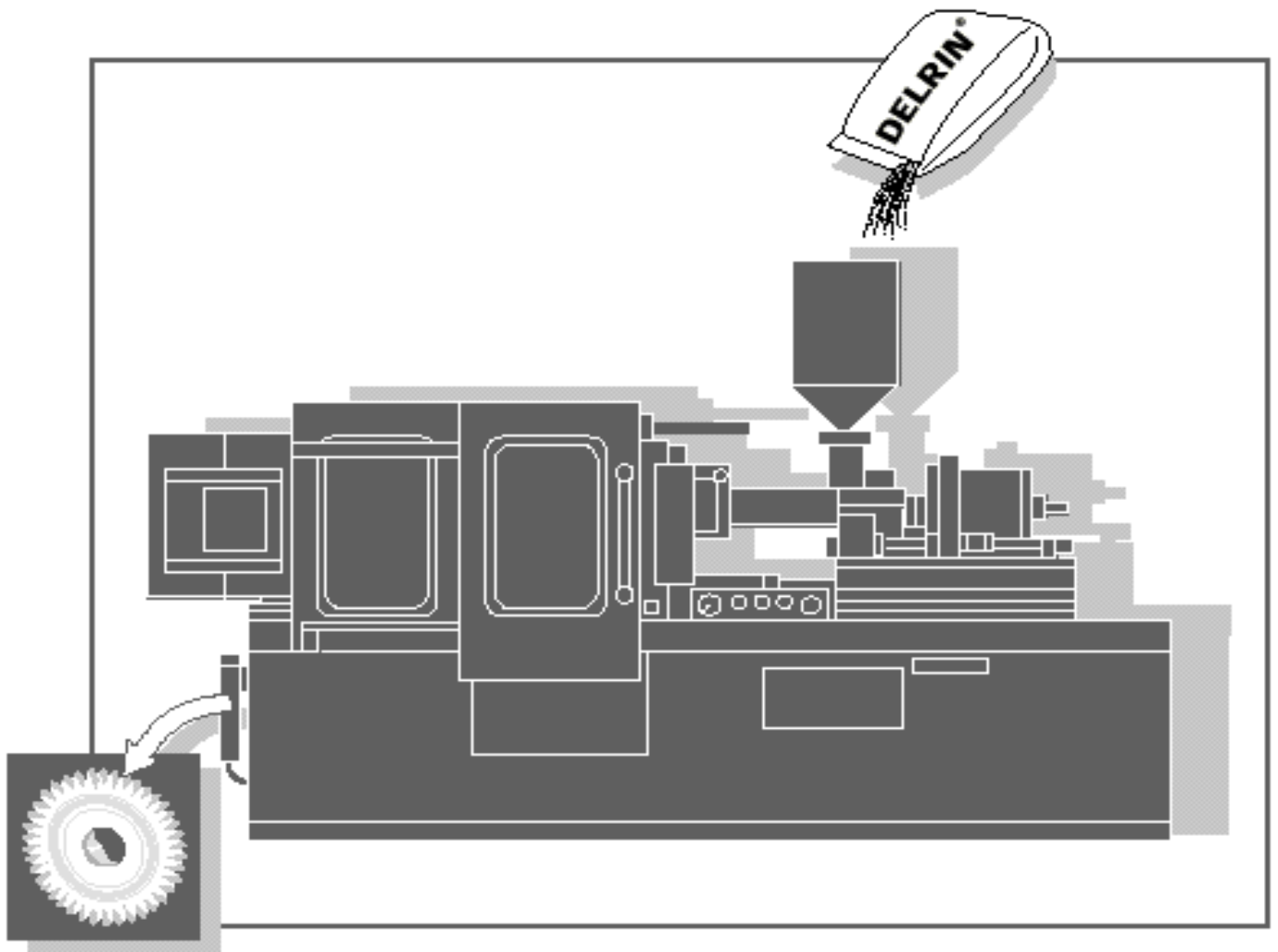




# Delrin®

Tworzywa acetalowe

## Poradnik przetwórstwa wtryskowego



Zacznij  
z DuPont

# Poradnik przetwórstwa wtryskowego dla tworzywa acetalowego DELRIN<sup>®</sup> firmy DuPont

## Spis Treści

<b>1. Informacje podstawowe.....</b>	<b>1</b>	<b>6. Uwarunkowania wymiarowe.....</b>	<b>29</b>
Opis.....	1	Skurcz pierwotny.....	29
Gatunki tworzywa DELRIN <sup>®</sup> .....	1	Czynniki wpływające na skurcz pierwotny.....	29
Środki ostrożności.....	2	Skurcz dla tworzyw z wypełniaczami.....	31
Pakowanie.....	3	Wpływ pigmentów.....	31
Recykling opakowań.....	3	Skurcz wtórny.....	32
<b>2. Budowa polimeru oraz przebieg procesu przetwórstwa.....</b>	<b>4</b>	Formowanie wyprasek z zapraskami.....	32
Zeszklenie i topnienie.....	4	Odprężanie.....	33
Wykresy PVT (ciśnienie – objętość - temperatura).....	4	Zmiany środowiskowe.....	33
Zjawiska podczas ogrzewania-chłodzenia.....	6	Tolerancje wymiarów.....	33
Lepkość i właściwości reologiczne.....	6	<b>7. Czynności dodatkowe.....</b>	<b>34</b>
<b>3. Wtryskarka .....</b>	<b>8</b>	Przechowywanie tworzywa.....	34
Konstrukcja ślimaka.....	9	Suszenie.....	34
Kontrola temperatury cylindra.....	9	Wykorzystanie przemiatu.....	35
Adapter cylindra .....	10	Barwienie.....	35
Zawór zwrotny.....	10	Odpady.....	35
Dysza .....	10	<b>8. Rozwiązywanie problemów przetwórstwa.....</b>	<b>36</b>
Ocena jakości stopionego tworzywa .....	11	<b>9. Warunki przetwórstwa tworzywa DELRIN<sup>®</sup> Część II</b>	
<b>4. Forma.....</b>	<b>12</b>		
Zdolność wypełniania.....	12		
Przewężki.....	13		
System kanałów doprowadzających.....	15		
Dysza i wlew.....	16		
Formy z grzanymi kanałami dla tworzyw krystalicznych.....	17		
Odpowietrzanie.....	18		
Podcięcia .....	19		
Ostre krawędzie.....	19		
Konstrukcja żeber.....	19		
Linie zgrzewu.....	20		
Konserwacja formy.....	20		
Czyszczenie formy.....	20		
<b>5. Proces przetwórstwa.....</b>	<b>21</b>		
Procedury rozruchu i zakończenia pracy.....	21		
Warunki przetwórstwa tworzywa DELRIN <sup>®</sup> - ustawienie temperatury.....	21		
Warunki przetwórstwa tworzywa DELRIN <sup>®</sup> - cykl formowania.....	24		
Wtrysk z optymalną wydajnością.....	26		
Standardowe warunki przetwórstwa dla próbek testowych wg ISO.....	27		
Załącznik : Czas docisku określony poprzez pomiar ciśnienia w gnieździe.....	29		

# 1. Informacje podstawowe

## Wstęp

Niniejszy poradnik przedstawia obszerny opis procesu wtrysku dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup>. Celem tego poradnika jest lepsze zrozumienie tego, co zachodzi w trakcie procesu formowania "polimeru krystalicznego" oraz przedstawienie wskazówek dotyczących przetwórstwa.

Oprócz informacji zawartych w poradniku przetwórstwa, DuPont opracował własny system ekspercki pod nazwą Optymalizacja Diagnostyki Formowania Wspomagana Komputerowo (Computer Aided Moulding Diagnostic Optimization - CAMDO). Pod przewodnictwem przedstawiciela firmy DuPont istnieje możliwość optymalizacji całego procesu formowania w sposób interaktywny. W celu uzyskania szerszych informacji na ten temat, prosimy o skonsultowanie się z przedstawicielem firmy DuPont.

## Opis

Tworzywa acetalowe DELRIN<sup>®</sup> są polimerami termoplastycznymi uzyskiwanymi przez polimeryzację formaldehydu. Tworzywa te cieszą się szerokim uznaniem z uwagi na swoją niezawodność w tysiącach zastosowań inżynierskich na całym świecie. Od czasu wprowadzenia na rynek, które miało miejsce w roku 1960, tworzywo DELRIN<sup>®</sup> jest między innymi wykorzystywane dla potrzeb przemysłu samochodowego, maszynowego, przemysłu budowlanego, w obudowach do różnego rodzaju urządzeń, w przemyśle elektronicznym, w artykułach gospodarstwa domowego.

DELRIN<sup>®</sup> jest ceniony za:

- udarność przy niskich temperaturach (do -40°C)
- dużą wytrzymałość mechaniczną i sztywność
- wytrzymałość zmęczeniową nie spotykaną w innych tworzywach sztucznych
- dużą odporność na zmienne obciążenia udarowościowe
- wyjątkową odporność na wilgoć, benzynę, rozpuszczalniki oraz wiele innych neutralnych związków chemicznych
- znakomitą stabilność wymiarową
- naturalną smarowność
- sprężystość
- dobre właściwości izolatora elektrycznego
- łatwość przetwórstwa
- szeroki zakres użytecznych temperatur pracy (od -50°C do +90°C, okresowo do 140°C).

Tworzywa acetalowe DELRIN<sup>®</sup> są dostępne w różnych gatunkach odpowiadających różnym zastosowaniom końcowym oraz wymaganiom procesu przetwórstwa.

## Gatunki tworzywa DELRIN

Główne dostępne gatunki tworzywa DELRIN<sup>®</sup> można sklasyfikować następująco :

- standardowe
- o podwyższonej udarności
- o niskim stopniu zużycia / o niskim współczynniku tarcia
- z włóknem szklanym

Gatunki standardowe sferują szeroki zakres wskaźnika płynięcia. Tworzywa charakteryzujące się wyższym wskaźnikiem płynięcia, DELRIN<sup>®</sup> 900P oraz 1700P, są zwykle wybierane do wtrysku z wykorzystaniem form trudnych do wypełnienia. Tworzywo DELRIN<sup>®</sup> 500, charakteryzujące się średnim wskaźnikiem płynięcia, jest stosowane do wtrysku ogólnego zastosowania. Natomiast tworzywo o najniższym wskaźniku płynięcia, DELRIN<sup>®</sup> 100, jest najczęściej stosowane wtedy, gdy wymagana jest maksymalna wytrzymałość.

Podsumowanie głównych gatunków tworzywa DELRIN<sup>®</sup> zostało przedstawione w Tabeli 1.01.

### Tabela 1.01 Główne gatunki tworzyw acetalowych DELRIN<sup>®</sup>

#### Gatunki o wysokim wskaźniku płynięcia

DELRIN<sup>®</sup> 900 P

Homopolimer POM.

Charakterystyka: wysoki wskaźnik płynięcia; tworzywo do szybkiego wypełniania formy.

Typowe zastosowanie: formy wielogniazdowe i detale posiadające cienkie fragmenty, np. elementy elektroniki, zamki błyskawiczne.

DELRIN<sup>®</sup> 911 P

Charakterystyka: gatunek DELRIN<sup>®</sup> 900 P o podwyższonej krystalizacji; lepsza odporność na pełzanie oraz wytrzymałość zmęczeniowa niż DELRIN<sup>®</sup> 900 P; znakomita odporność na benzynę, smary, rozpuszczalniki oraz wiele neutralnych związków chemicznych.

Typowe zastosowanie: formy wielogniazdowe i detale posiadające cienkie fragmenty, np. elementy elektroniki, zamki błyskawiczne.

DELRIN<sup>®</sup> 1700 P

Homopolimer POM.

Charakterystyka: najlepszy wskaźnik płynięcia; łatwość wypełniania formy.

Typowe zastosowanie: formy wielogniazdowe i detale posiadające cienkie fragmenty, które wymagają najlepszych właściwości przepływu.

---

#### Gatunki o średnim wskaźniku płynięcia

DELRIN<sup>®</sup> 500

Homopolimer POM.

Tworzywo do wyprasek ogólnego przeznaczenia charakteryzujące się średnim wskaźnikiem płynięcia.

Zastosowanie: elementy mechaniczne ogólnego stosowania.

DELRIN<sup>®</sup> 500 P

Taka sama charakterystyka i zastosowanie jak DELRIN<sup>®</sup> 500, a ponadto najlepsza stabilność przetwórstwa w wymagających warunkach procesu przetwarzania (np. formy z grzanymi kanałami).

DELRIN<sup>®</sup> 507

Taka sama charakterystyka jak w przypadku DELRIN<sup>®</sup> 500, plus stabilizacja UV.

Zastosowanie: części mechaniczne takie jak pedały do rowerów; elementy i osprzęt budowlany wymagający dobrych właściwości mechanicznych oraz odporności na promieniowanie ultrafioletowe.

DELRIN<sup>®</sup> 527 UV

Charakterystyka: te same właściwości co tworzywo DELRIN<sup>®</sup> 500 P z maksymalnym zabezpieczeniem UV.

Typowe zastosowanie: części do samochodów wymagające maksymalnego zabezpieczenia UV.

DELRIN<sup>®</sup> 511 P

Charakterystyka: te same właściwości co tworzywo DELRIN<sup>®</sup> 500 P z podwyższoną krystalicznością.

Typowe zastosowanie: elementy systemu paliwowego, koła zębate, elementy mocujące.

---

#### Gatunki o niskim wskaźniku płynięcia

DELRIN<sup>®</sup> 100

Homopolimer POM.

Tworzywo do formowania o niskim wskaźniku płynięcia.

Znakomita wytrzymałość na rozciąganie oraz odporność na pełzanie w szerokim zakresie temperatur, nawet w warunkach dużej wilgotności. Wysoka wytrzymałość zmęczeniowa oraz odporność udarowościowa.

Zastosowanie: detale takie jak koła zębate pracujące pod dużym obciążeniem, łożyska ślizgowe oraz zatraskowe elementy łącznikowe.

## **Tabela 1.01      Główne gatunki tworzyw acetalowych**

### **DELTRIN® (ciąg dalszy)**

#### **DELTRIN® 100 P**

Ta sama charakterystyka oraz zastosowanie jak w przypadku tworzywa DELTRIN® 100, plus najlepsze parametry stabilności termicznej do celów formowania w wymagających warunkach przetwarzania (np. formy z grzanymi kanałami).

#### **DELTRIN® 111 P**

Charakterystyka: DELTRIN® 100 P z podwyższoną krystalicznością.  
Odporność na pełzanie; wytrzymałość zmęczeniowa jeszcze lepsza niż w przypadku tworzywa DELTRIN® 100 P.  
Typowe zastosowania: koła zębate pracujące pod dużym obciążeniem, łożyska, zatrzaskowe elementy łącznikowe.

#### **DELTRIN® 107**

Taka sama charakterystyka i zastosowania jak w przypadku tworzywa DELTRIN® 100, plus stabilizacja UV.

#### **DELTRIN® 127 UV N-10**

Charakterystyka: DELTRIN® 100 P z maksymalnym zabezpieczeniem UV.  
Zastosowanie: elementy do samochodów wymagające maksymalnego zabezpieczenia UV.

## **Gatunki o podwyższonych własnościach mechanicznych**

#### **DELTRIN® 100 ST**

Homopolimer POM o bardzo wysokiej wytrzymałości.  
Duży współczynnik lepkości, bardzo odporne tworzywo przeznaczone do wtrysku, wytłaczania i rozdmuchu.  
Idealna kombinacja odporności na obciążenia dynamiczne, odporności zmęczeniowej, odporności na ścieranie, odporności na pęknięcia naprężeniowe, odporności na działanie rozpuszczalników oraz duże wydłużenie przy rozciąganiu w niskiej temperaturze.  
Zastosowanie: Tworzywo jest wykorzystywane przede wszystkim do produkcji detali wymagających odporności na powtarzające się obciążenia i ściskanie, takich jak elementy mocujące stosowane w przemyśle samochodowym, kaski, węże i przewody ciśnieniowe.

#### **DELTRIN® 100 T**

Charakterystyka: Wzmocnione tworzywo o dużym współczynniku płynięcia; tworzywo uzupełniające o niskim współczynniku tarcia dla gatunku DELTRIN® 100/500 przy zastosowaniu na koła zębate.  
Zastosowanie: elementy łącznikowe, systemy napinania pasów bezpieczeństwa, koła zębate

#### **DELTRIN® 500 T**

Homopolimer POM, o podwyższonej samosmarowności.  
Tworzywo o średnim współczynniku lepkości przeznaczone do wtrysku, wytłaczania i rozdmuchu.  
Znakomita odporność zmęczeniowa (nawet w przypadku karbu, podwyższona odporność zmęczeniowa).  
Zastosowanie: Tworzywo jest stosowane głównie do produkcji detali wymagających odporności na powtarzające się zmienne obciążenia udarowe, takie jak elementy mocujące stosowane w przemyśle samochodowym, kaski, węże i przewody.

## **Gatunki o niskim współczynniku zużycia/niskim współczynniku tarcia**

#### **DELTRIN® 500 AF**

Homopolimer POM; z wypełniaczem PTFE (polichloroetylen).  
Tworzywo o średnim współczynniku lepkości zawierające włókna teflonowe PTFE przeznaczone do wtrysku i wytłaczania.  
Bardzo niski współczynnik tarcia, duża odporność na abrazję i ścieranie.  
Zastosowanie: wszędzie tam, gdzie wymagany jest niski współczynnik tarcia oraz duża odporność na abrazję i ścieranie, na przykład w łożyskach.

#### **DELTRIN® 500 CL**

Homopolimer POM; smarowany chemicznie.  
Tworzywo o średnim współczynniku lepkości zawierające chemiczny środek poślizgowy, przeznaczone do wtrysku i wytłaczania.  
Zastosowanie: wszędzie tam, gdzie wymagana jest lepsza odporność na abrazję niż w przypadku tworzywa DELTRIN® 500 NC-10 oraz taka sama odporność mechaniczna, na przykład łożyska pracujące pod dużym obciążeniem.

## **Gatunki z włóknem szklanym**

#### **DELTRIN® 570**

Homopolimer POM z 20% zawartością włókna szklanego.  
Tworzywo do formowania charakteryzujące się średnim współczynnikiem lepkości, z domieszką włókna szklanego.  
Zastosowanie: w warunkach, gdy wymagana jest najwyższa sztywność oraz odporność na pełzanie.

## **Środki ostrożności przy przetwórstwie tworzyw acetalowych DELTRIN®**

Tworzywo DELTRIN® podobnie jak inne tworzywa termoplastyczne ulega rozkładowi na produkty gazowe w warunkach długotrwałego ogrzewania. Jeżeli gazowe produkty rozkładu znajdują się w przestrzeni zamkniętej, mogą spowodować znaczny wzrost ciśnienia. Jeżeli tworzywo nie może wydostać się z cylindra przez dyszę, wówczas może dojść do zwrotnego wydmuchu przez lej.

W przypadku rozkładu tworzywa acetalowego DELTRIN® mamy do czynienia niemalże z całkowitą jego dekompozycją na produkty gazowe, w związku z czym wzrost ciśnienia może być błyskawiczny. Produktem rozkładu jest w tym wypadku formaldehyd.

Przy przetwórstwie tworzywa DELTRIN® bardzo ważne jest, aby operator znał wszystkie czynniki, które mogą doprowadzić do rozkładu, aby znał sygnały, które mogą ostrzec go przed tym oraz by wiedział jakie kroki należy podjąć, aby temu zapobiec. Informacje te powinny być skrótozo zebrane na tabliczce znajdującej się przy wtryskarce.

Informacje przedstawione poniżej są oparte na naszym doświadczeniu. Mogą one nie odzwierciedlać wszystkich możliwych sytuacji i nie mogą one w żadnym wypadku zastąpić umiejętności i baczności operatora.

### **Przestrzegaj właściwych procedur rozruchu, pracy i jej zakończenia opisanych w niniejszym poradniku (rozdział 5).**

### **Bądź świadomy czynników powodujących kłopoty - doprowadzających do rozkładu tworzywa**

- Wysoka temperatura – niewłaściwie działający regulator temperatury, nieprawidłowe połączenie termopary, niewłaściwy odczyt temperatury, uszkodzony element grzejny cylindra lub element grzejny przegrzany miejscowo lub nadmiernie rozgrzany przy rozruchu.
- Nadmiernie wydłużony cykl przetwórstwa tworzywa.
- Strefy zalegania tworzyw - w cylindrze, łączniku, dyszy, na końcu ślimaka, w grzanych kanałach oraz w układzie zaworu zwrotnego.
- Zapchana dysza - z powodu fragmentów złomu, zalegania tworzywa charakteryzującego się wyższą temperaturą topnienia lub z powodu zamkniętego zaworu dyszy.
- Ciała obce.

Dodatki uszlachetniające, wypełniacze lub barwniki, które nie są zalecane do wykorzystania z tworzywem DELTRIN®.

Zanieczyszczenia (szczególnie takie, które zawierają chlorki lub generują powstawanie kwasów), takie jak tworzywa PCV lub środki uniepalniające.

Miedź, mosiądz, brąz lub inne stopy miedzi stykające się z rozpuszczonym tworzywem DELTRIN® (z wyjątkiem form, gdzie tworzywo twardnieje po każdym cyklu).

Środki poślizgowe oparte na miedzi lub smary do gwintów.

Zanieczyszczone tworzywo wtórne - szczególnie te tworzywa pochodzące z odpadów, których źródło jest nieznanne lub odpady pochodzące z zewnątrz.

## Sygnaly świadczące o niebezpieczeństwie

- Spienione tworzywo wydostające się z dyszy.
- Tworzywo nierównomiernie wydostające się z dyszy przy opróżnianiu cylindra.
- Silny odór.
- Odbarwione tworzywo - brązowe lub czarne plamki.
- Wady jakościowe powierzchni wypraski - białawy osad na detalach lub na formie.
- Cofanie ślimaka spowodowane ciśnieniem gazu.

## Co należy zrobić po pojawieniu się jakiegokolwiek sygnału świadczącego o zbliżającym się niebezpieczeństwie

- **NIE ZBLIŻAJ SIĘ DO NIEBEZPIECZNYCH STREF MASZINY** - Jeżeli zauważysz SYGNAŁ ŚWIADCZĄCY O ZBLIŻAJĄCYM SIĘ NIEBEZPIECZEŃSTWIE, NIE zaglądać do zasobnika i NIE pracuj w pobliżu dyszy, ponieważ może nastąpić gwałtowny wytrysk stopionego tworzywa.
- **ZMINIMALIZUJ KONTAKT Z GAZAMI POCHODZĄCYMI Z ROZKŁADU** poprzez wykorzystanie systemów wentylacji lokalnej i ogólnej. Jeżeli zajdzie taka konieczność, opuść strefę maszyny do czasu, aż wentylacja zredukuje koncentrację formaldehydu do akceptowalnego poziomu. Osoby uczulone na formaldehyd lub cierpiące na dolegliwości płucne nie powinny brać udziału przy przetwórstwie tworzywa DELRIN®.
- **USUŃ ZATYCZKĘ Z DYSZY** poprzez podgrzanie jej z zewnątrz np. gorącym powietrzem. Jeżeli ten sposób zawiedzie, należy wówczas schłodzić cylinder, upewnić się, czy ZREDUKOWANE ZOSTAŁO CIŚNIENIE i OSTROŻNIE ZDJĄĆ DYSZĘ do czyszczenia.
- **WYKONAJ KILKA WTRYSKÓW SAMEGO POWIETRZA**, aby schłodzić tworzywo - **USUŃ TWORZYWO PRZY POMOCY POLISTYRENU**. WRZUĆ CAŁE STOPIONE TWORZYWO DELRIN® DO WODY, aby zredukować poziom odoru.
- Wyłącz elementy grzejne cylindra.
- Sprawdź instrumenty regulacji temperatury.
- Przerwij automatyczną pracę maszyny i kontynuuj pracę w cyklu sterowanym ręcznie do momentu, aż wszystko będzie przebiegało bez zakłóceń.
- Zapewnij odpowiedni sposób odpowietrzania mechanizmu zasilającego w przypadku wstecznego przepływu gazów.
- Wykorzystaj system wentylacji w celu zredukowania odoru pochodzącego z formaldehydu.

Aby uzyskać więcej informacji dotyczących BHP, zapoznaj się z aktualnym opracowaniem danych na ten temat – Karta Bezpieczeństwa Wyrobu (Material Safety Data Sheet - MSDS). W celu uzyskania aktualnego MSDS, skontaktuj się ze swoim przedstawicielem firmy DuPont.

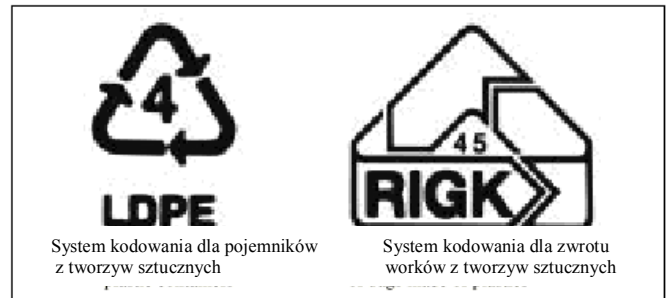
## Pakowanie

Tworzywa acetalowe DELRIN® są dostarczane w formie sferycznego lub cylindrycznego granulatu o rozmiarze około 3mm. Tworzywo jest pakowane luzem w pojemnikach o pojemności 1000 kg netto lub w zabezpieczonych przed wilgocią 25-kilogramowych workach z polietylenu odpornego na rozerwanie. Gęstość nasypowa tworzywa bez wypełniaczy wynosi około 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

## Recykling opakowań

### • 25-kilogramowe worki z polietylenu :

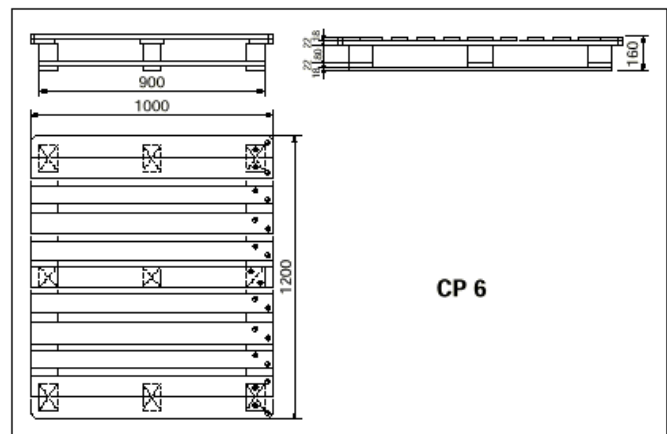
Jeżeli worki polietylenowe zostaną całkowicie opróżnione, można je poddawać procesowi recyklingu. Worki posiadają odpowiednie symbole informujące o możliwościach recyklingu (Rys. 1.01).



Rys. 1.01 Systemy kodów

### • Standardowe palety CP6 :

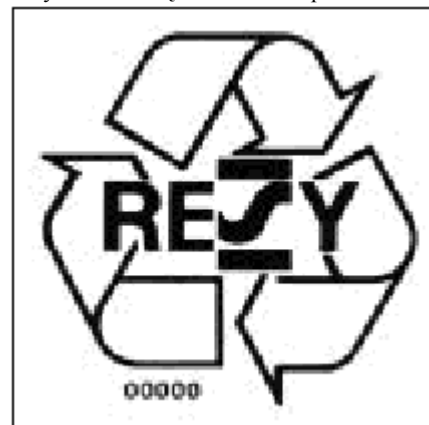
Organizacje VCI oraz APME (Europejskie Stowarzyszenie Producentów Tworzyw Sztucznych) zatwierdziły stosowanie palet CP6 (1000 x 1200 x 160 mm); patrz Rys. 1.02. W Niemczech istnieje osobna firma zajmująca się zbieraniem tych palet i poddawaniem ich procesowi odnawiania. Podobne porozumienie może zostać wkrótce wprowadzone w pozostałych krajach europejskich.



Rys. 1.02 Paleta CP6

### • Kartony i rozciągliwa folia z polietylenu :

Kartony oraz rozciągliwa folia z polietylenu mogą być również odzyskiwane i są oznaczone odpowiednimi symbolami (Rys. 1.03).



Rys. 1.03 Kod do recyklingu „Resy”

## 2. Budowa polimeru oraz przebieg procesu przetwórstwa

Zachowanie się tworzywa w trakcie procesu przetwarzania oraz zachowanie się uformowanego detalu podczas całego okresu jego eksploatacji jako produktu końcowego są mocno uzależnione od typu budowy tworzywa, do którego dąży ono podczas krzepnięcia.

Niektóre polimery charakteryzują się mniej więcej tym samym układem cząsteczek w stanie stałym co w stanie roztopionym, tzn. jest to chaotyczna masa związanych ze sobą molekuł bez żadnego porządku. Takie polimery nazywane są "polimerami amorficznymi". Zaliczyć do nich można ABS, poliwęglan i polistyren.

Inne polimery wykazują tendencję do krzepnięcia w uporządkowany sposób: cząsteczki tworzą formy krystaliczne (warstwy, sferolity). Z uwagi na długość makrocząsteczek, niektóre z nich nie mogą należeć do kryształów (z powodu braku miejsca i ruchliwości) i tworzą amorficzną strefę międzykrystaliczną. Takie polimery są nazywane "częściowo krystalicznymi" lub "semikrystalicznymi". Dla uproszczenia w niniejszym tekście polimery te będziemy zaliczać do "krystalicznych" (w przeciwieństwie do grupy polimerów "amorficznych").

Typowymi tworzywami krystalicznymi są DELRIN<sup>®</sup> (tworzywa acetalowe), ZYTEL<sup>®</sup> (poliamidy), RYNITE<sup>®</sup> PET oraz CRASTIN<sup>®</sup> PBT (poliester termoplastyczny), polietylen i polipropylen.

W tabeli 2.01 zestawione zostały pewne fundamentalne różnice pomiędzy polimerami amorficznymi i krystalicznymi. Zestawione w tabeli punkty zostały opisane bardziej szczegółowo w kolejnych akapitach tekstu. Te informacje są niezbędne do zrozumienia, dlaczego optymalizacja procesu formowania różni się znacznie dla tych dwóch kategorii polimerów.

**Tabela 2.01 Porównanie polimerów amorficznych i krystalicznych**

Typ polimeru	Amorficzne	Krystaliczne
<b>Własności</b>		
Parametry termiczne	Tg	Tg, Tm
Maksymalna T użycia*	Poniżej Tg	Poniżej Tm
Obj. właściwa a T	Ciągła	Brak ciągłości w Tm
Lepkość topnienia a T	Silna zależność	Słaba zależność
<b>Przetwórstwo</b>		
Krzepnięcie	Oziębienie poniżej Tg	Krystalizacja poniżej Tm
Ciśnienie docisku	Słabsze przy oziębieniu	Stałe w trakcie krystalizacji
Przepływ przez przewężki	Wstrzymany po dynam. napelnianiu	Ciągły aż do końca Krystalizacji
Defekty przy złym przetwarzaniu	Przeladowanie, pęknięcia naprężeniowe, ślady zagłębień	Luki, deformacje, ślady Zagłębień

\* W typowych zastosowaniach inżynierskich

## Zeszklenie i topnienie

### Polimery amorficzne

Ogólne zachowanie polimerów amorficznych jest w dużym stopniu uzależnione od ich temperatury zeszklenia Tg.

Poniżej tej temperatury cząsteczki są w zasadzie zablokowane w stanie stałym. Tworzywo charakteryzuje się sztywnością i dużą odpornością na pelzanie, ale jednocześnie wykazuje tendencje do kruchości i wrażliwości na zmęczenie.

Po podwyższeniu temperatury powyżej wartości temperatury zeszklenia Tg, cząsteczki uzyskują pewną swobodę ruchu poprzez obrót wokół wiązań chemicznych. Sztywność stopniowo maleje, a tworzywo zaczyna wykazywać właściwości elastomeru,

umożliwiając takie jego obrabianie jak termoforming, rozdmuch oraz wtrysk (w temperaturach 120-150°C powyżej temperatury Tg).

Polimery amorficzne wykorzystywane w zastosowaniach inżynierskich mają temperaturę Tg wyższą od temperatury otoczenia a maksymalna temperatura pracy wyrobu powinna być niższa niż Tg. Na przykład polistyren ma temperaturę Tg = 90-100°C i jest wtryskiwany w temperaturze od 210 do 250°C.

### Polimery krystaliczne

W przypadku polimerów krystalicznych początek ruchu cząsteczek w tworzywie jest również określony przez temperaturę zeszklenia Tg.

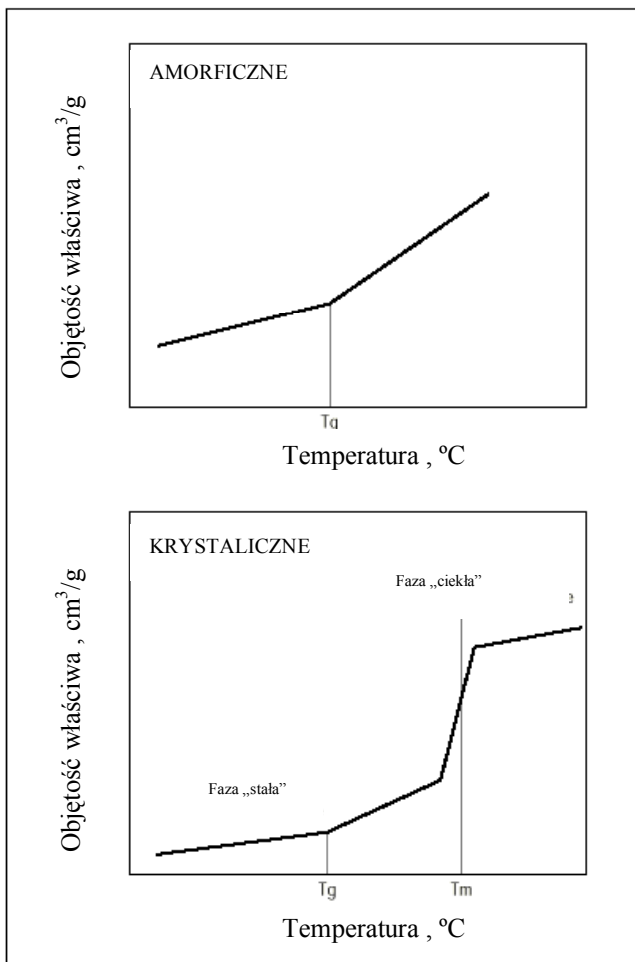
Po podwyższeniu temperatury powyżej Tg, polimery krystaliczne utrzymują sztywność odpowiednią do wykorzystania ich w zastosowaniach inżynierskich (na przykład elementy wykonane z tworzywa DELRIN<sup>®</sup> mogą bez problemu wytrzymać temperatury 150°C powyżej Tg).

Dalsze ogrzewanie tworzywa prowadzi do osiągnięcia temperatury topnienia Tm, gdzie kohezja domen krystalicznych ulega zniszczeniu. W zakresie kilku stopni dochodzi do znaczących zmian właściwości mechanicznych z ciała stałego na ciekłe. Powyżej temperatury topnienia Tm polimery krystaliczne zachowują się jak ciecz o dużej lepkości i mogą być formowane w procesie wtrysku, na ogół w temperaturach 40-60°C wyższych niż ich temperatura topnienia. W konsekwencji zakres temperatur umożliwiający wykorzystanie polimerów krystalicznych nie jest ograniczony temperaturą zeszklenia Tg, lecz temperaturą topnienia Tm. W przypadku tworzywa DELRIN<sup>®</sup>, Tg = -60°C\*, Tm = 175°C, a typowy zakres przetwórstwa to 210-230°C.

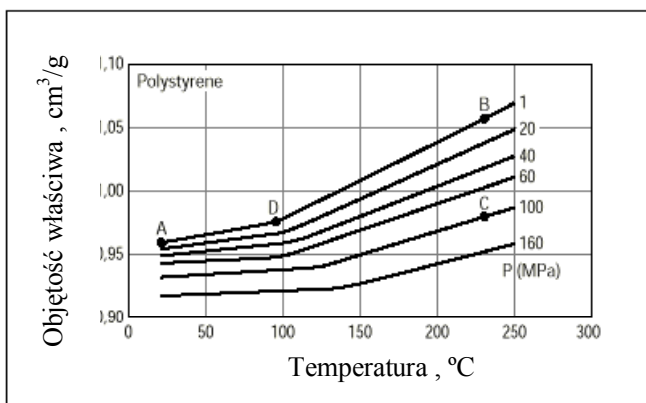
## Wykresy PVT (ciśnienie-objętość-temperatura)

Wykres PVT jest skondensowaną prezentacją wzajemnych zależności trzech zmiennych, które mają wpływ na przetwórstwo polimeru: ciśnienie, objętość i temperatura.

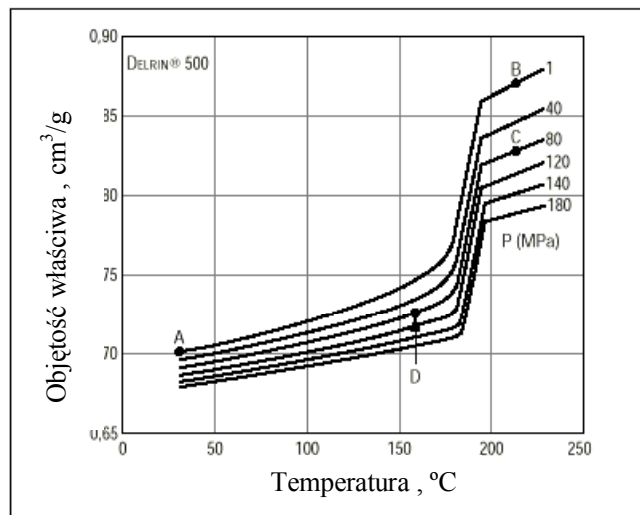
Wpływ temperatury (T) oraz objętości (V) został zilustrowany na Rys. 2.01 zarówno dla polimerów amorficznych jak i krystalicznych. Wraz ze wzrostem temperatury tworzywa rośnie również jego objętość właściwa (odwrotność gęstości) z uwagi na ekspansję termiczną. Tempo tego wzrostu jest szybsze w temperaturze zeszklenia, ponieważ cząsteczki mają większą swobodę do poruszania się i zajmują większą przestrzeń. Tę zmianę nachylenia można zaobserwować zarówno w przypadku polimerów amorficznych jak i krystalicznych.



Rys. 2.01 Objętość właściwa jako funkcja temperatury dla polimerów amorficznych i krystalicznych



Rys. 2.02 Wykres PVT dla polistyrenu. Punkty A, B, C, i D odnoszą się do różnych faz procesu przetwórstwa (patrz opis w tekście)



Rys. 2.03 Wykres PVT dla tworzywa DELRIN® 500. Punkty A, B, C, i D odnoszą się do różnych faz procesu przetwórstwa (patrz opis w tekście)

Wykres PVT jest po prostu prezentacją serii krzywych uzyskanych w trakcie kolejnych pomiarów objętości właściwej w zależności od temperatury dla różnych wartości ciśnienia. Wykres PVT dla typowego polimeru amorficznego (polistyren) przedstawia Rys. 2.02, a wykres PVT dla tworzywa DELRIN® jest pokazany na Rys. 2.03.

Proces formowania może być zilustrowany cyklem przemian na wykresie PVT. Dla uproszczenia w poniższym opisie przyjęto, że ogrzewanie zachodzi przy stałym ciśnieniu ("wzdłuż linii izobar") oraz że zastosowanie ciśnienia jest izotermiczne (linie pionowe).

W przypadku tworzywa amorficznego cykl formowania wygląda następująco (patrz Rys. 2.02):

- Rozpoczynając od temperatury pokojowej i ciśnienia 1 bara (punkt A) tworzywo jest ogrzewane w cylindrze. Objętość właściwa rośnie wzdłuż izobary dla ciśnienia 1 bara aż do osiągnięcia temperatury formowania (punkt B).
- Następuje wtrysk tworzywa do gniazda i zwiększenie ciśnienia. Proces ten jest w zasadzie izotermiczny (do punktu C), a objętość właściwa zmniejsza się do wartości zbliżonej do tej przy ciśnieniu 1 bara i temperatury Tg.
- Tworzywo jest schładzane w formie, a w tym samym czasie ciśnienie docisku jest zmniejszane wzdłuż poziomej linii na wykresie PVT, osiągając punkt D, w którym detal może być usunięty z formy, gdy znajduje się pod ciśnieniem 1 bara i poniżej temperatury Tg. W idealnym układzie w trakcie tej fazy schładzania przez przewężki nie powinno przepływać tworzywo, co umożliwi otrzymanie detali pozbawionych naprężeń.

W wyższej temperaturze, topnienie polimerów krystalicznych jest zaznaczone nagłym wzrostem objętości właściwej, kiedy dobrze uporządkowane i sztywne domeny krystaliczne zaczynają być zorientowane zupełnie przypadkowo i mogą się swobodnie poruszać. Dlatego też objętość właściwa jest oznaką zmian struktury polimeru jako funkcja temperatury.

W przypadku tworzywa krystalicznego sytuacja wygląda zupełnie inaczej (patrz Rys. 2.03):

- Tworzywo jest ogrzewane przy ciśnieniu 1 bara od temperatury pokojowej (punkt A) do temperatury przetwarzania (punkt B). W rezultacie powoduje to olbrzymią zmianę objętości (prawie 25% w przypadku tworzywa DELRIN®).
- Następuje wtrysk tworzywa i jego sprężenie w gnieździe. Objętość właściwa zmniejsza się do punktu C, w którym jej wartość jest wciąż znacznie większa niż przy ciśnieniu 1 bara i w temperaturze 23°C.
- Pod stałym ciśnieniem docisku w formie przebiega proces krystalizacji. W trakcie tworzenia się kryształów począwszy od fazy ciekłej ma miejsce duża różnica objętości, która musi być skompensowana przez wtrysk dodatkowego tworzywa w stanie ciekłym przez przewężkę (w przeciwnym razie w obrębie detalu powstaną puste przestrzenie).
- Na koniec procesu krystalizacji (punkt D), formowany element w stanie stałym może być natychmiast usunięty z formy. Skurcz wtryskowy jest różnicą pomiędzy objętością właściwą w temperaturze krystalizacji (punkt D) i objętością właściwą w temperaturze pokojowej (punkt A).

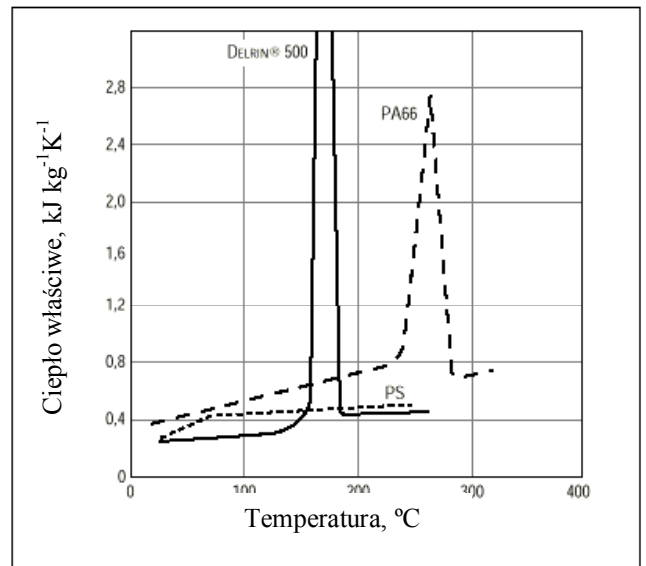
Ta różnica w zachowaniu ma istotne implikacje dla wtrysku. W trakcie procesu krzepnięcia (po napełnieniu dynamicznym):

- ciśnienie docisku zmniejsza się z upływem czasu w przypadku polimerów amorficznych, podczas gdy dla polimerów krystalicznych jest ono utrzymywane na stałym poziomie;
- przepływ przez przewężkę jest wstrzymany w przypadku polimerów amorficznych, podczas gdy dla polimerów krystalicznych przepływ trwa aż do końca procesu krystalizacji. Oznacza to, że w przypadku polimerów krystalicznych konstrukcja detalu, przewężek, grzanych kanałów oraz wlewków powinna być wykonana zgodnie ze specjalnymi zasadami, które zostały opisane w rozdziale 4.

## Zjawiska podczas ogrzewania-chłodzenia

Energia potrzebna do zwiększenia temperatury 1 g tworzywa o 1°C jest określana jako ciepło właściwe tego tworzywa. Wartość tę określa się przy pomocy kalometrii - rezultaty dla tworzywa DELRIN®, poliamidu 6-6 i polistyrenu zostały pokazane na Rys. 2.04. Wykresy dla obydwu polimerów krystalicznych, tj. tworzywa DELRIN® oraz poliamidu 6-6, charakteryzują się olbrzymimi wartościami szczytowymi, które wynikają z dodatkowego ciepła koniecznego do stopienia fazy krystalicznej. Na wykresie dla polimeru amorficznego nie ma takiej wartości szczytowej, a jedynie zmiana nachylenia w temperaturze zeszczenia  $T_g$ .

Całkowita energia potrzebna do doprowadzenia każdego tworzywa do jego temperatury topnienia jest wyrażona powierzchnią pola znajdującego się pod krzywą. Z Rys. 2.04 wyraźnie wynika, że polimery krystaliczne potrzebują więcej energii niż polimery amorficzne. Wyjaśnia to, dlaczego konstrukcja ślimaka w przypadku polimerów krystalicznych takich jak DELRIN® powinna być inna (i zwykle bardziej krytyczna) niż w przypadku polimerów amorficznych.



Rys. 2.04 Zależność ciepła właściwego od temperatury dla tworzywa DELRIN® 500, PA66 oraz polistyrenu

## Lepkość i właściwości reologiczne

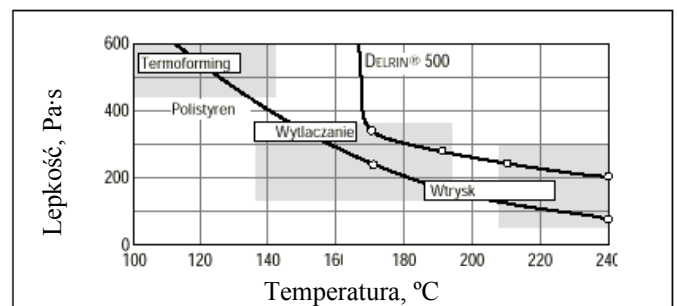
Lepkość stopionego tworzywa określa w dużej mierze zdolność do wypełnienia gniazd formy. Duża lepkość oznacza trudny przepływ przez wąskie sekcje i wymagane wyższe ciśnienia wtrysku.

Temperatura i stopień ścinania są zasadniczymi parametrami przy uwzględnianiu lepkości stopionych polimerów i powinny być one zawsze określane wraz z wartością lepkości.

W przypadku polimerów składających się z cząsteczek liniowych, takich jak tworzywo DELRIN®, lepkość zależy także bezpośrednio od średniego ciężaru cząsteczkowego.

### Wpływ temperatury

Ogólna zasada, że ciecze stają się mniej lepkie wraz ze wzrostem ich temperatury jest także prawdziwa dla stopionych tworzyw termoplastycznych. Jednak polimery krystaliczne i amorficzne zachowują się inaczej, co zostało pokazane na Rys. 2.05. Krzywe dla tworzywa DELRIN® i polistyrenu zostały uzyskane poprzez stopniowe zmniejszanie temperatury tworzywa z 230 do 100°C. Warto zwrócić uwagę na dwie różnice. Po pierwsze, przy temperaturach przekraczających 180°C, zależność lepkości od temperatury jest bardziej podkreślona w przypadku polimerów amorficznych niż w przypadku tworzywa DELRIN®, w związku z czym zwiększanie temperatury stopu dla tworzywa DELRIN® niewiele poprawi jego zdolności przepływu przez przewężki w formie.



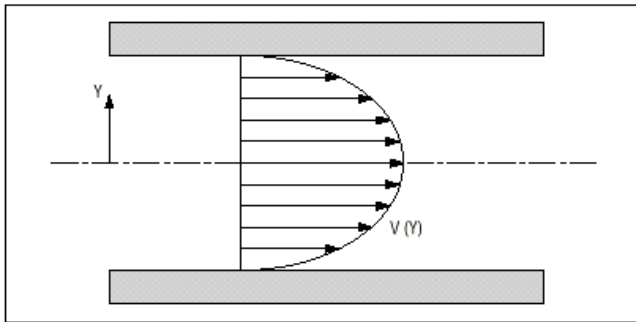
Rys. 2.05 Krzywe zależności lepkości od temperatury dla tworzywa DELRIN® 500 i polistyrenu przy stałym stopniu ścinania 1000 s<sup>-1</sup> (temperatura zredukowana z 230 do 100°C)

Po drugie, przy temperaturach poniżej 170°C, lepkość tworzywa DELRIN® wzrasta bardzo gwałtownie, ponieważ materiał krystalizuje w zakresie kilku stopni.



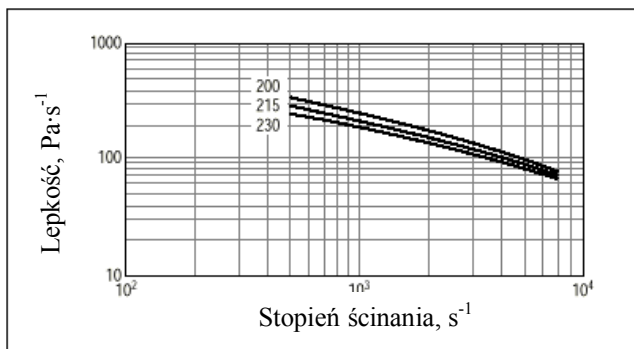
## Wpływ stopnia ścinania

Stopień ścinania charakteryzuje stopień deformacji tworzywa i jest zdefiniowany jako pochodna prędkości w kierunku prostopadłym do przepływu (patrz Rys. 2.06). Innymi słowy, stopień ścinania jest proporcjonalny do zmiany prędkości w obrębie grubości detalu. Zależy on zatem od prędkości przepływu i geometrii kanałów przepływu.

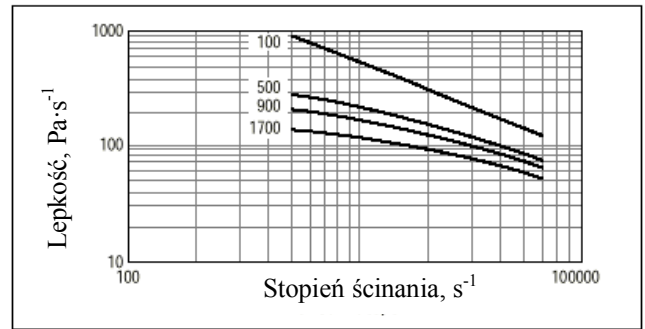


Rys. 2.06 Przybliżony kształt rozkładu prędkości pomiędzy dwiema równoległymi płytkami. Stopień ścinania jest pochodną  $dv(y)/dy$ .

W przypadku tworzywa DELRIN<sup>®</sup>, lepkość znacznie maleje wraz ze wzrostem stopnia ścinania, co zostało pokazane na Rys. 2.07. Efekt ten ma większe znaczenie niż różnice wynikające ze zmian temperatury topnienia w obrębie okna (zakresu) procesu przetwórstwa dla formowania wtryskowego.



Rys. 2.07 Zależność lepkości od stopnia ścinania dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> 500 NC-10 dla trzech wartości temperatury



Rys. 2.08 Zależność lepkości od stopnia ścinania dla różnych gatunków tworzyw DELRIN<sup>®</sup> przy stałej temperaturze 215°C

## Wpływ ciężaru cząsteczkowego

DELRIN<sup>®</sup> jest dostępny w czterech gatunkach różniących się między sobą ciężarem cząsteczkowym. Każdemu gatunkowi przypisany jest kod charakteryzujący zdolność tworzywa do płynięcia określony przez wartość MFR (patrz tabela 2.02). Duża wartość oznacza łatwość płynięcia i wypełniania cienkich przestrzeni formy, podczas gdy mała wartość oznacza dużą lepkość, duży ciężar cząsteczkowy oraz dużą odporność na obciążenia dynamiczne.

MFR jest pomiarem wykonywanym przy niskim stopniu ścinania, ale względne różnice pomiędzy poszczególnymi gatunkami są zachowane przy dużym stopniu ścinania, co zostało zilustrowane na Rys. 2.08.

Bardziej bezpośrednie porównanie możliwości wypełniania formy można uzyskać przez zastosowanie formy z otwartym kanałem spiralnym. Wyniki uzyskane dla różnych gatunków tworzywa DELRIN<sup>®</sup> zostały przedstawione w rozdziale 4.

Tabela 2.02 Lepkość, zdolność do płynięcia oraz ciężar cząsteczkowy (Mw) dla różnych gatunków tworzywa DELRIN<sup>®</sup>

Gatunek	MFR (190°C/2,16 kg)	Zdolność do płynięcia	Mw, ciężar cząsteczkowy	Spiralna długość przepływu (215°C/100 MPa/2 mm) Temp. formy 90°C
100	2,2	Najniższa	Najwyższa	170 mm
500	14			295 mm
900	25			350 mm
1700	37	Najwyższa	Najniższa	400 mm

### 3. Wtryskarka

Tworzywa acetalowe DELRIN<sup>®</sup> są wykorzystywane na całym świecie do przetwórstwa przy zastosowaniu różnych typów i konstrukcji wtryskarek i wylączarek.

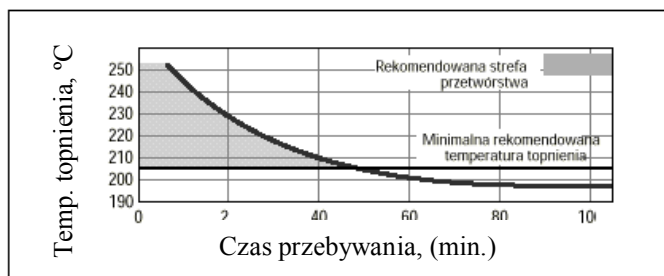
Podstawowym zadaniem wtryskarki do przetwórstwa tworzywa krystalicznego jest dostarczenie do formy żądanej ilości jednorodnej stopionej mieszanki (bez żadnych fragmentów nie stopionego lub zdegradowanego tworzywa). Zasady konstrukcji wtryskarek są zatem uzależnione od wymagań stawianych przez przetwarzane tworzywo w zakresie zachowania termicznego i wymaganego ciepła. Pierwszą sprawą, jaką należy wziąć pod uwagę przy przetwórstwie tworzywa krystalicznego, aby uniknąć jego degradacji, jest stabilność termiczna w temperaturze topnienia. Ślimak, dysza, zawór zwrotny, adapter powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby zapewnić wydajne stopienie tworzywa krystalicznego i dostarczenie go do formy.

Pod koniec niniejszego rozdziału zostaną przedstawione dwie metody oceny obecności nie stopionego lub zdegradowanego tworzywa.

#### Stabilność termiczna w trakcie procesu przetwórstwa

W poprzednim rozdziale została opisana jedna z różnic pomiędzy polimerami amorficznymi i krystalicznymi, tzn. zachowanie się polimeru podczas topnienia. Polimery amorficzne zaczynają mięknąć zaraz po przekroczeniu temperatury T<sub>g</sub> i charakteryzują się prawie stałą zmianą lepkości. Daje to bardzo duży zakres temperatur, które można stosować w procesie przetwórstwa tworzywa (ale również dużą zmianę lepkości wraz z temperaturą). Natomiast polimery krystaliczne pozostają w stanie stałym aż do osiągnięcia punktu topnienia, po czym natychmiast przechodzą w stan ciekły przy podwyższeniu temperatury. Ogranicza to **zakres temperatur**, które można stosować do przetwarzania tworzywa pomiędzy fazą tworzywa nie stopionego a jego rozkładem termicznym (szczególnie w przypadku tworzywa DELRIN<sup>®</sup> od 190°C do 250°C).

Drugim czynnikiem różnicującym jest **czas**, podczas którego tworzywo pozostaje w temperaturze przetwarzania. W przypadku wszystkich polimerów, molekuly mogą wytrzymać pewien czas w określonej temperaturze zanim rozpocznie się proces degradacji. Oczywiście ten dopuszczalny limit czasowy staje się krótszy wraz ze wzrostem temperatury. Typowe zachowanie tworzywa DELRIN<sup>®</sup> zostało przedstawione na Rys. 3.01. Rozkład tworzywa DELRIN<sup>®</sup> powoduje powstawanie gazów, które są przyczyną tworzenia się pęcherzyków w roztopionym tworzywie, deformacji detali, powstawanie osadu na formie oraz żółtych i brązowych śladów na produkowanych detalach.



Rys. 3.01 Wpływ temperatury na czas HUT dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup>

Średni czas przebywania tworzywa we wtryskarce (HUT - Hold Up Time) jest związany z ilością polimeru w cylindrze, gramaturą wtrysku oraz czasem cyklu i może być obliczony w następujący sposób:

$$\text{Średni czas HUT} = \frac{\text{masa tworzywa w cylindrze}}{\text{masa wtrysku}} \times \text{czas cyklu}$$

Szybkie obliczenie wartości przybliżonej można wykonać w następujący sposób:

$$\text{Średni czas HUT} = \frac{\text{maksymalny skok ślimaka} \times 2}{\text{efektywny skok ślimaka}^*} \times \text{czas cyklu}$$

\*Efektywny skok ślimaka - odległość, jaką ślimak pokonuje wyłącznie w trakcie obrotu

Przy skoku ślimaka wynoszącym 1 średnicę (niewielki wtrysk) i czasie cyklu trwającym 1 minutę (bardzo długi cykl), średni czas HUT wynosi 8 minut. Zgodnie z krzywą rozkładu przedstawioną na Rys. 3.01, tworzywo DELRIN<sup>®</sup> powinno zachować wystarczającą stabilność przy wtrysku dla powyższego czasu przebywania w temperaturze 240°C. Niektórzy przetwórcy wykonywali udane formowanie tworzywa DELRIN<sup>®</sup> w wyżej wymienionej temperaturze.

Przy zalecanej temperaturze stopu wynoszącej 215°C, maksymalny czas przebywania HUT wynosi ponad 30 minut i tworzywo DELRIN<sup>®</sup> (gatunki standardowe) zachowuje termiczną stabilność nawet przy takich ekstremalnych warunkach.

Istnieją 3 główne potencjalne przyczyny rozkładu:

- *Tworzywo uwięzione w strefach zalegania.* W przypadku wtryskarek, uwięzione roztopione tworzywo może zalegać przez bardzo długi okres czasu i będzie podlegało procesowi rozkładu. W związku z tym cała wtryskarka (ślimak, zawór zwrotny, adapter, dysza oraz grzane kanały) powinna być skonstruowana w sposób umożliwiający wyeliminowanie miejsc zalegania tworzywa (patrz kolejne rozdziały).
- *Tworzywo przyklejające się do rozgrzanej stali.* Z uwagi na dużą lepkość polimerów, prędkość ich przepływu w pobliżu stałych elementów wtryskarki (ślimak, zawór zwrotny, adapter, dysza oraz grzane kanały) jest równa prawie zero, a czas zalegania tworzywa wydłuża się prawie do nieskończoności (wszyscy przetwórcy dobrze wiedzą ile zajmuje wymiana kolorów we wtryskarce). Podczas gdy wewnątrz cylindra roztopione tworzywo jest usuwane przez ślimak i zawór, w obrębie pozostałych miejsc tworzywo będzie przylegać do ścianek w tych obszarach. Aby wytrzymać bardzo długi czas zalegania, stal stykająca się z tworzywem powinna być utrzymywana w temperaturze niższej niż 190°C (patrz Rys. 3.01).
- *Rozkład chemiczny.* Zanieczyszczenia (np. PCV, tworzywa zawierające środki uniepalniające, tworzywa wydzielające kwasy), niekompatybilne systemy barwiące (kwasy lub pigmenty podstawowe), kontakt z miedzią (z samą miedzią, jej stopami i substancjami poślizgowymi) powodują przyspieszenie rozkładu stopionego tworzywa DELRIN<sup>®</sup> we wtryskarce. Należy zauważyć, że składniki form z miedzi lub stopów miedzi (takich jak miedź/beryl), nie powodują żadnego rozkładu i są stosowane bez żadnego problemu od wielu lat.

## Konstrukcja ślimaka

Konstrukcja ślimaka jest kluczowym czynnikiem związanym z wydajnością, ponieważ w przypadku tworzyw krystalicznych czas obrotu ślimaka jest elementem czasu cyklu.

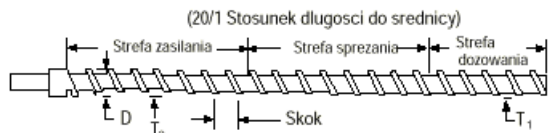
Jak to zostało nadmienione powyżej, konstrukcja ślimaka powinna uwzględniać zachowanie się tworzywa krystalicznego podczas jego topnienia, tzn. przejścia od stanu stałego do punktu topnienia, dużą ilość ciepła wymaganego przy topnieniu oraz małą lepkość stopionego tworzywa.

Mimo, że ślimaki o konstrukcji standartowej stosowane są do przetwórstwa tworzywa DELRIN<sup>®</sup>, to jednak osiągnięcie optymalnej wydajności wymaga zastosowania ślimaków o specjalnej konstrukcji.

Przekroczenie wydajności niewłaściwie skonstruowanego ślimaka spowoduje szerokie wahania temperatury oraz występowanie nie stopionych cząsteczek (niejednokrotnie obserwowano w tym samym czasie tworzywo nie stopione oraz rozłożone). Prowadzi to w konsekwencji do utraty odporności na obciążenia dynamiczne, zmiennej kurczliwości i zmiennych wymiarów, wypaczania, uszkodzeń powierzchniowych wyprasek i zatykania przewęzek (a to z kolei daje niewystarczające wypełnienie formy) oraz do innych problemów związanych z przetwórstwem tworzywa.

Z uwagi na specyfikę procesu topnienia polimerów krystalicznych, konstrukcja ślimaka przeznaczonego do przetwórstwa tworzywa DELRIN<sup>®</sup> powinna charakteryzować się płytkim zgarniakiem w strefie dozowania oraz nieco większym sprężeniem niż w przypadku ślimaków przeznaczonych do ogólnego stosowania. W tabeli 3.01 przedstawione zostały konkretne sugestie odnoszące się do różnych średnic ślimaków oraz gatunków tworzywa DELRIN<sup>®</sup>.

**Tabela 3.01 Budowa ślimaka do tworzywa DELRIN<sup>®</sup>**



DELRIN <sup>®</sup> 500, 900, 500 T, 1700 (włącznie z gatunkami DELRIN <sup>®</sup> P)		
Nominal. śred. mm	Głęb. sekcji podawania (T2) Mm	Głęb. Sekcji doz. (T1) Mm
30	5,4	2,0
45	6,8	2,4
60	8,11	2,8
90	10,8	3,5
120	13,5	4,2

DELRIN <sup>®</sup> 100, 100 ST		
Nominal. śred. mm	Głęb. sekcji podawania (T2) Mm	Głęb. Sekcji doz. (T1) Mm
30	5,2	2,6
45	6,5	2,8
60	7,5	3,0
90	8,7	3,6

Stopień sprężania jest stosunkiem objętości jednego zwoju ślimaka w strefie zasilania tworzywa do objętości w strefie dozowania (można go zaokrąglić do stosunku głębokości tych dwóch stref).

Długość ślimaka również ma wpływ na jakość topnienia tworzywa (ze względu na izolujące właściwości tworzywo potrzebuje pewnego czasu do pobrania przekazywanej energii termicznej nawet wtedy, gdy ścinanie wspomaga proces ogrzewania). Preferowana długość jest równa około 20 średnicom ślimaka lub 20 obrotom, gdy skok i średnica ślimaka są równe. Ślimak powinien być podzielony w następujący sposób: 30-40% (6-8 zwojów) - strefa zasilania, 45-35% (7-9 zwojów) - strefa sprężania oraz 25% (5 zwojów) - strefa dozowania. Ślimaki 20-obrotowe są na ogół podzielone na 7 zwojów zasilających, 8 zwojów sprężania oraz 5 zwojów dozowania. W ślimakach o długości mniejszej niż 16 średnic może zająć konieczność zredukowania skoku, aby uzyskać 20 obrotów.

Zdecydowanie jednak, strefa zasilania nigdy nie powinna być krótsza niż 6 zwojów.

Ślimaki o stosunkowo dużym stopniu sprężania zalecane dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> mają służyć powstawaniu ciepła poprzez tarcie mechaniczne o powierzchnię ślimaka i cylindra. Z uwagi na fakt, że energia wymagana do tego zwiększenia pochodzi z silnika ślimaka, należy zapewnić jej moc, jeżeli ma być zrealizowana lepsza wydajność uplastyczniana.

## Rozmiar ślimaka

Idealny rozmiar ślimaka jest określony przez wielkość wtrysku. Optymalna wydajność zostanie osiągnięta wtedy, gdy wielkość wtrysku wymaga skoku ślimaka podczas uplastyczniana równego lub mniejszego niż 50% objętości wtryskarki. W przeciwnym razie prędkość obrotowa ślimaka będzie musiała być zmniejszona pod koniec jego ruchu w celu zapewnienia jednorodnego roztopienia tworzywa, a to spowoduje w konsekwencji spadek wydajności. W praktyce optymalną wydajność osiąga się wtedy, gdy ślimak przemieszcza się o odległość równą od 1 do 2 średnic ślimaka.

Ustawienie parametrów termicznych wtryskarki będzie zależęć od czasu przebywania tworzywa we wtryskarce (HUT), czyli od czasu cyklu. Zasady zostaną przedstawione w rozdziale 5.

## Budowa ślimaka do zastosowania koncentratów barwiących

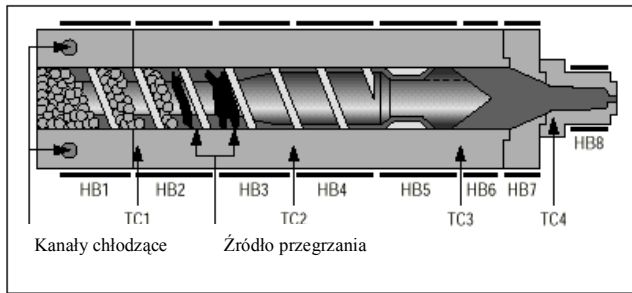
Analiza przepływu wykazuje, że większa część przepływu w ślimaku ma charakter laminarny, po czym następuje zmiana kierunku przepływu w zaworze zwrotnym, dalej w adapterze, dyszy, wlewk, etc. przepływ jest ponownie laminarny. W celu otrzymania optymalnej jakości stopionego tworzywa oraz w celu prawidłowego wymieszania pigmentów i koncentratów barwiących, zalecane jest zastosowanie głowicy mieszającej. Zadaniem właściwie skonstruowanej głowicy mieszającej nie jest wymieszanie tworzywa poprzez turbulencję (przepływ turbulentny nie jest możliwy w przypadku roztopionych polimerów charakteryzujących się dużą lepkością), lecz spowodowanie zmian w kierunku przepływu. Szczegóły dotyczące budowy takiego urządzenia mieszającego można uzyskać u przedstawiciela firmy DuPont.

## Kontrola temperatury cylindra

Sposób kontroli temperatury jest określony przez producenta wtryskarki, ale należy tutaj wspomnieć o dwóch czynnikach.

- Regulacja temperatury powinna być podzielona na co najmniej trzy strefy, a w pobliżu środka każdej strefy powinna znajdować się termopara. Regulatory temperatury nie zawsze mogą natychmiast wykazać uszkodzoną jedną lub więcej opaskę elementu grzejnego, w związku z czym niektórzy przetwórcy stosują amperomierze umieszczone w każdej strefie w celu wykrycia awarii opasek elementu grzejnego.

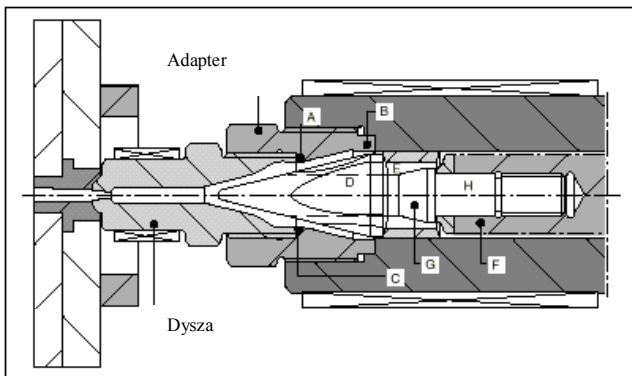
- Na ogół w przypadku tworzywa DELRIN<sup>®</sup> nie ma potrzeby chłodzenia gardzieli podającej, ale gdy zajdzie taka potrzeba, wówczas przepływ wody powinien być ograniczony do minimum. Przechłodzenie gardzieli podającej jest jedną z główniejszych przyczyn zanieczyszczenia czarnymi wtrąceniami. Powstają one w cylindrze pomiędzy pierwszą i drugą strefą ogrzewania w następujący sposób (patrz Rys. 3.02). Na termoparę TC1 oddziaływyje niska temperatura z uwagi na nadmierne schłodzenie, w związku z czym system reaguje włączeniem (ON) opasek grzewczych HB1 i HB2. Nie powoduje to żadnych problemów w okolicy opaski grzewczej HB1, ale doprowadza do przegrzania i rozkładu tworzywa w strefie poniżej opaski grzewczej HB2. W celu zredukowania ryzyka powstawania czarnych wtrąceń należy uwzględnić następujące zalecenia: a) chłodzenie gardzieli podającej powinno być ograniczone do temperatury 80-90 °C; b) opaska grzewcza HB2 powinna być sterowana poprzez TC2, lub TC1 należy umieścić w środku HB2, lub opaska grzewcza HB2 powinna mieć połowę mocy opaski HB1.



Rys. 3.02 Ryzyko zanieczyszczenia czarnymi plamkami wynikające z obecności systemu chłodzenia gardzieli podającej

## Adapter cylindra

Adapter pokazany na Rys. 3.03 jest przeznaczony do wyeliminowania stref zalegania tworzywa i ograniczeń jego przepływu, które są głównymi przyczynami rozkładu oraz problemów związanych z tą strefą. Należy zauważyć, że zastosowane rozwiązanie jest takie same dla adapterów wkręcanych, takich jak ten przedstawiony na Rys. 3.03 (wykorzystywanych z małymi ślimakami  $<\phi 40$  mm), jak również dla adapterów przykręcanych (wykorzystywanych do większych ślimaków). Adaptery posiadają krótkie sekcje cylindryczne (A i B), w obszarze w którym dochodzi do połączenia dyszy i cylindra z zachowaniem



Rys. 3.03 Konstrukcja adaptera i zaworu zwrotnego

dokładnego dopasowania ich średnic nawet wtedy, gdy zachodzi konieczność przeszlifowania powierzchni styku. Powierzchnie styku (C) powinny być na tyle wąskie, by zagwarantować dobre uszczelnienie, gdy dokręcany jest adapter lub dysza, a jednocześnie na tyle szerokie, by uniknąć deformacji. Oprócz swojej mechanicznej funkcji, jaka jest redukcja średnicy, adapter działa również jako termiczny izolator dyszy zabezpieczając ją od frontowej strony cylindra, umożliwiając w ten sposób lepszą regulację temperatury dyszy. Osobny adapter wykonany z miększej stali niż adapter wykorzystywany z cylindrem jest łatwiejszy i tańszy do naprawy lub wymiany niż cylinder. Zabezpiecza również cylinder przed zniszczeniem z uwagi na częste zmiany dyszy. Przy stosowaniu adapterów przykręcanych należy zwrócić szczególną uwagę przy ich montażu, aby zapewnić równomierne dokręcenie wszystkich śrub (nie wolno zbyt mocno dokręcać śrub tylko z jednej strony).

## Zawór zwrotny

Zawór zwrotny lub pierścień ograniczający przedstawiony na Rys. 3.03 zapobiega możliwości wstecznego przepływu tworzywa w trakcie wtrysku. Ten element jest często niewłaściwie zaprojektowany, pod względem eliminacji zalegania tworzywa i ograniczenie jego przepływu. Częstość przypadkiem jest niewłaściwe działanie w postaci wstecznego przepływu tworzywa, co wynika z błędnej konstrukcji lub nieodpowiedniej konserwacji. Przepuszczający zawór zwrotny prowadzi do wydłużenia czasu wycofywania ślimaka, co z kolei przyczyni się do wydłużenia czasu cyklu, jak również do słabej kontroli nad tolerancjami wymiarowymi.

Zawór zwrotny musi spełniać następujące wymogi:

- Brak stref zalegania tworzywa
- Brak ograniczeń przepływu
- Dobre uszczelnienie
- Kontrolę zużycia

Wszystkie wyżej wymienione wymagania są spełnione przez zawór zwrotny przedstawiony na Rys. 3.03.

Szczeliny lub rowki (D) w końcówce ślimaka mają odpowiedni przekrój, a przestrzeń (E) pomiędzy pierścieniem ograniczającym a końcówką ślimaka jest wystarczająca dla zapewnienia przepływu tworzywa.

Uszczelnienie przymocowanego pierścienia jest cylindryczne w miejscu, w którym łączy on koniec ślimaka (F) z końcówką ślimaka (G), aby umożliwić idealne dopasowanie tych średnic i nie dopuścić do zalegania tworzywa.

Gwint końcówki ślimaka posiada cylindryczną sekcję (H) znajdującą się przed gwintem. Sekcja ta idealnie pasuje do otworu z pogłębieniem cylindrycznym, zapewniając w ten sposób oparcie i wyosiowanie końcówki ślimaka i pierścienia ograniczającego.

Końcówka ślimaka oraz gniazdo pierścienia ograniczającego powinny być twardsze (około 52 RC) niż pierścień pływający (44 RC), ponieważ wymiana pierścienia pływającego po jego zużyciu jest tańsza.

Końcówka ślimaka powinna być wykonana ze stali odpornej na korozję. Podstawową sprawą jest odpowiednie dopasowanie średnic cylindrycznych, aby uniknąć miejsc zalegania tworzywa.

## Dysza

Podobnie jak w przypadku innych polimerów semikrystalicznych, DELRIN<sup>®</sup> może wyciekać z dyszy pomiędzy kolejnymi wtryskami, jeżeli dysza jest zbyt rozgrzana, lub może krzepnąć, gdy zbyt duże ilości ciepła zostały pobrane przez tulejkę wlewka.

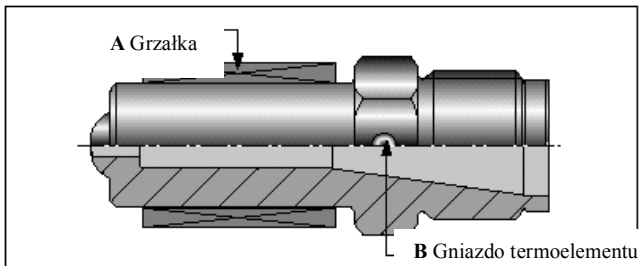
Konstrukcja dyszy przedstawiona na rys. 3.04 może rozwiązać te problemy. Należy przy tym uwzględnić następujące zagadnienia:

1. Opaska grzewcza (A) powinna sięgać jak najbliżej wylotu dyszy oraz powinna pokrywać na tyle dużą powierzchnię, na ile będzie to możliwe. Taki układ będzie zapobiegał wszelkim stratom ciepła, a przede wszystkim nadmiernemu ubytkowi ciepła na tulejkę wlewową.
2. Bardzo istotne jest usytuowanie termoelementu. Na rysunku 3.04 pokazano prawidłową lokalizację (B).
3. Wymagane jest równomierne utrzymanie odpowiedniej temperatury, co pozwoli uniknąć lokalnego przegrzania lub przedwczesnego zakrzepnięcia tworzywa.
4. Aby zapobiec degradacji tworzywa, temperatura stali nie powinna przekraczać 190°C.
5. Grzejnik dyszy powinien posiadać swój własny niezależny regulator temperatury.

W celu eliminacji wyciekania tworzywa z otwartych dysz, często wykorzystuje się dekompresję lub "zasysanie wsteczne". Takie rozwiązanie dostępne jest w przypadku większości wtryskarek.

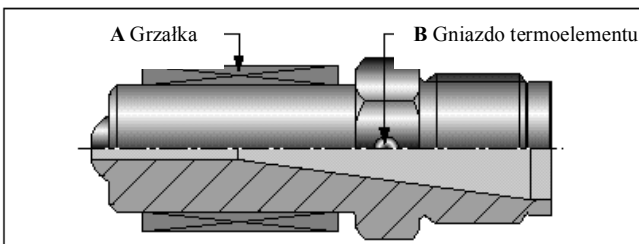
Jeżeli jednak wtryskarka nie posiada takiego rozwiązania, wówczas należy zastosować konstrukcję dyszy, która została przedstawiona na rysunku 3.05.

Pomimo pozytywnego wykorzystania dysz z zaworem odcinającym w niektórych przypadkach przetwórstwa tworzywa DELRIN® wykazują one tendencje do zalegania tworzywa, co doprowadza następnie do smużenia lub wydzielania się gazu, szczególnie wtedy, gdy niektóre ruchome części dyszy są już zużyte. Tego rodzaju dysze nie są zalecane do stosowania przy przetwórstwie tworzywa DELRIN®, chociażby tylko ze względów bezpieczeństwa.



Rys. 3.04 Odwrotna dysza stożkowa

**Uwaga:** W przypadku długich dysz, gniazdo termoelementu B powinno być usytuowane pośrodku dyszy, a nie na jej końcu.



Rys. 3.05 Dysza z przewierconym otworem, tylko do wtryskarek bez dekompresji

## Ocena jakości stopionego tworzywa

Poniżej przedstawione zostały dwa "szybkie i proste" testy umożliwiające dokonanie oceny jakości mieszanki dostarczonej przez wtryskarkę. Chociaż wynik testu jest powiązany z temperaturą ustawioną na wtryskarce, jest on także bardzo mocno uzależniony od konstrukcji samej wtryskarki.

### Test spieniania

Test spieniania jest zalecany do określenia jakości mieszanki po jej stopieniu we wtryskarce, tzn. do określenia jakości mieszanki, jak również jakości wtryskarki.

#### Procedura:

1. Przy cyklicznej pracy wtryskarki, zatrzymaj wtryskarkę po wycofaniu się ślimaka na 3 minuty w przypadku zastosowania barwionego tworzywa DELRIN® (10 minut w przypadku tworzywa bezbarwnego).
2. Przy małej prędkości (aby uniknąć gorących rozprysków) usuń mieszankę do pojemnika i obserwuj roztopiony materiał przez jedną lub dwie minuty. Następnie włóż roztopiony materiał do wiadra z wodą.
3. Następnie ponownie dopełnij ślimak i odczekaj kolejne dwie minuty (10 minut w przypadku tworzywa bezbarwnego).
4. Powtórz krok nr 2.

Niestabilny stop zacznie rosnąć (pnieć się) w trakcie obserwacji i będzie pływać w wiadrze z wodą. Natomiast mieszanka stabilna zachowa połysk i tendencję do kurczenia się w trakcie obserwacji i zatonie w wiadrze z wodą. Mieszanka dająca efekt spieniania spowoduje szybkie nagromadzenie się osadu w formie oraz przyspieszy gromadzenie się osadu na ślimaku, co z kolei może prowadzić do zanieczyszczeń w postaci czarnych wtrąceń.

Opisana powyżej technika jest przydatna do oceny systemów barwiących pochodzących od innych dostawców niż DuPont (masterbachi barwiące, barwniki ciekłe). Test spieniania może być również użyteczny do wykrycia niewłaściwej jakości pracy wtryskarki (na przykład problemy z chłodzeniem gardzieli i w konsekwencji przegrzewanie, nadmierna temperatura dyszy, miejsca zalegania mieszanki, itp.).

### Test braku roztopiania

Test braku roztopiania jest zalecany do oceny jednorodności mieszanki:

- Gdy wtryskarka jest w trakcie wykonywania cyklu, zatrzymaj ją na końcu cyklu i usuń mieszankę odpowiadającą jednemu wtryskowi.
- Natychmiast dopełnij ślimak ilością odpowiadającą jednemu wtryskowi i ponownie usuń ją z maszyny.
- Powtórz czynność aż do wykrycia grudek lub nieregularności w mieszance usuwanej z dyszy.

Jeżeli takie grudki lub nieregularności pojawią się po mniej niż trzech porcjach usuniętej mieszanki, wówczas ryzyko nieprawidłowego roztopienia mieszanki jest bardzo duże. Należy wtedy zwiększyć temperaturę cylindra, zmniejszyć obroty ślimaka i zwiększyć ciśnienie zwrotne. Jeżeli wykonanie takich zmian doprowadzi do zbyt znacznego wydłużenia czasu cyklu, należy zastosować bardziej odpowiedni ślimak (patrz tabela 3.01).

Jeżeli grudki lub nieregularności pojawią się po więcej niż trzech, ale mniej niż sześciu porcjach usuniętej mieszanki, sytuacja taka może być zaakceptowana, ale należy zauważyć, że margines bezpieczeństwa jest stosunkowo niewielki. Pojawienie się grudek/nieregularności po sześciu porcjach oznacza, że ryzyko wystąpienia mieszanki nie roztopionej jest bardzo niskie.

## 4. Forma

Z uwagi na fakt, że tworzywa acetalowe DELRIN<sup>®</sup> były stosowane w wielu typach form, przetwórcy posiadają dużą wiedzę dotyczącą konstrukcji form przeznaczonych do tworzywa DELRIN<sup>®</sup>. W zasadzie formy do tworzywa DELRIN<sup>®</sup> są takie same jak formy stosowane do pozostałych tworzyw termoplastycznych. Elementy typowej formy zostały przedstawione na Rys. 4.01.

W tej części skoncentrujemy się na tych elementach konstrukcji formy, które wymagają szczególnego uwzględnienia pod kątem wykorzystania ich do przetwarzania tworzywa DELRIN<sup>®</sup> i które mogą doprowadzić do zwiększenia wydajności pracy i zmniejszenia kosztów dla przetwórców. Są to następujące zagadnienia:

- Zdolność wypełniania
- Przewężki
- Kanały doprowadzające
- Odpowietrzanie
- Podcięcia
- Formy bezodpadowe
- Konserwacja formy

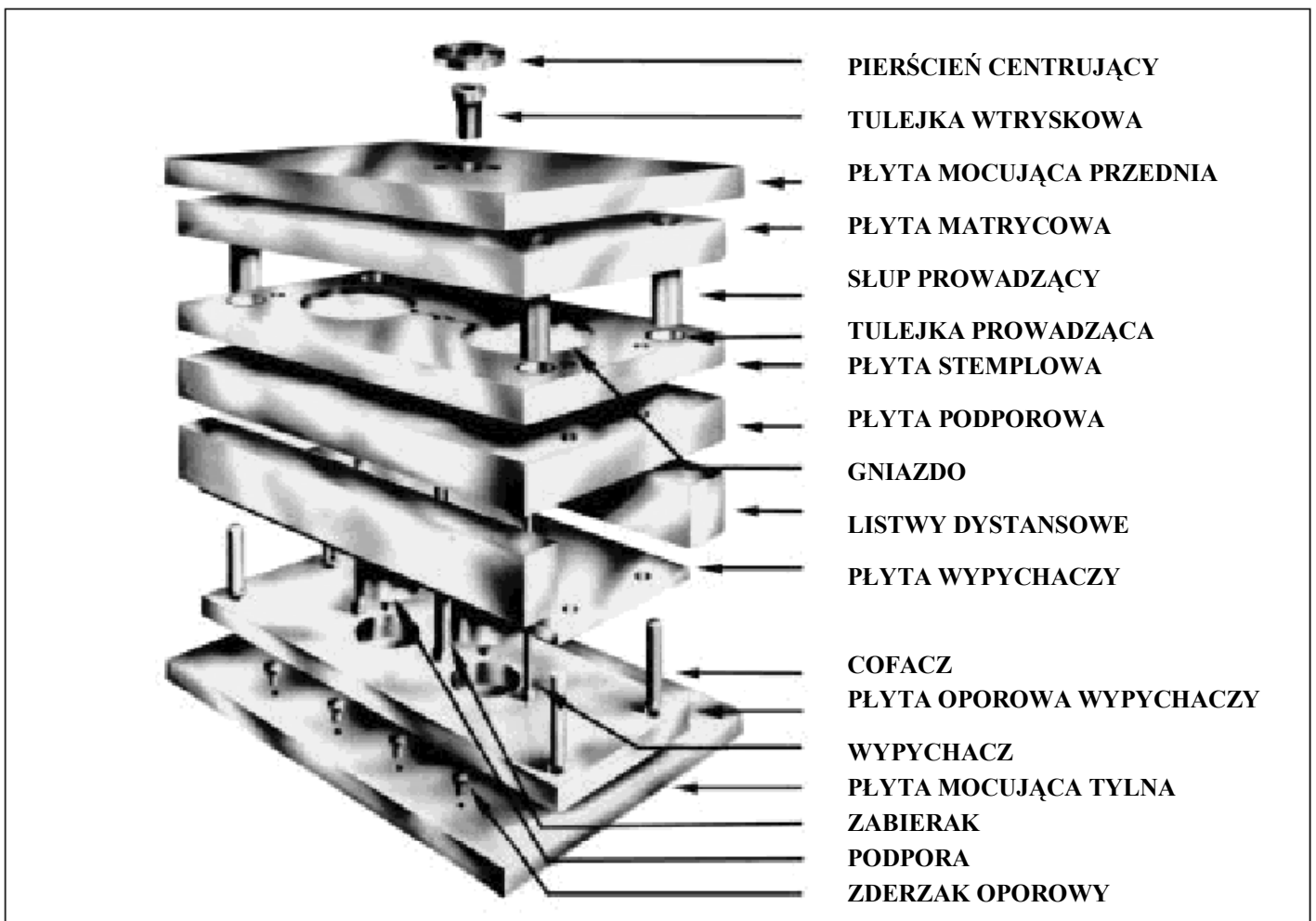
Skurcz wtryskowy oraz pozostałe aspekty dotyczące wymiarowania formy zostały omówione w Rozdziale 6: "Uwarunkowania wymiarowe".

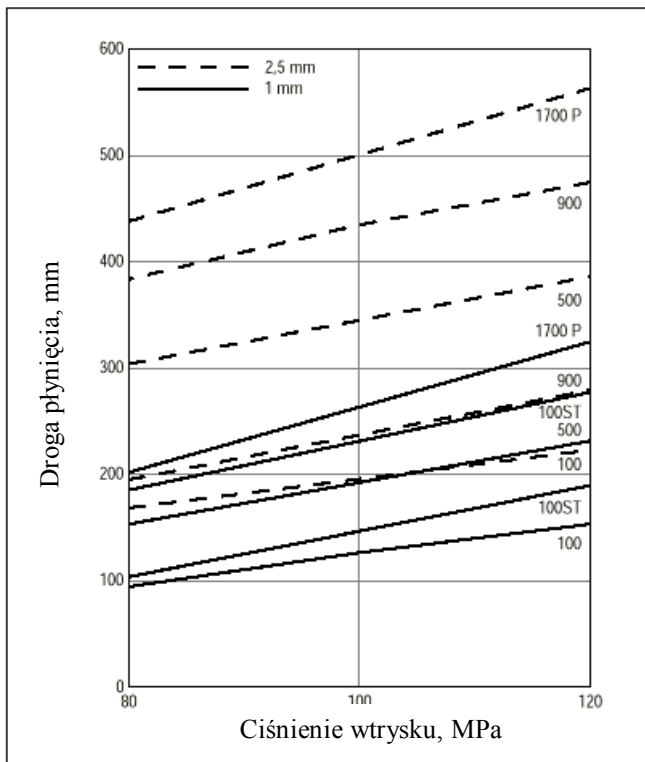
## Zdolność wypełniania

Zdolność tworzywa do wypełnienia formy jest w znacznym stopniu uzależniona od lepkości roztopionego tworzywa. Tworzywa acetalowe DELRIN<sup>®</sup> charakteryzują się szerokim zakresem lepkości, od gatunku DELRIN<sup>®</sup> 1700, który ma najmniejszy współczynnik lepkości (jest najbardziej płynny), do gatunku DELRIN<sup>®</sup> 100 o najwyższej lepkości. Lepkość tworzywa DELRIN<sup>®</sup> nie spada gwałtownie wraz ze wzrostem temperatury topnienia, w przeciwieństwie do amorficznych tworzyw termoplastycznych, takich jak tworzywa akrylowe. W związku z tym zwiększenie temperatury topnienia nie poprawi znacząco zdolności tworzywa DELRIN<sup>®</sup> do wypełniania cienkich przekrojów.

Oprócz właściwości samego tworzywa również warunki przetwórstwa oraz grubość ścian gniazd określają długość płynięcia. Na Rys. 4.02 przedstawiono maksymalne długości płynięcia, których można oczekiwać dla dwóch grubości gniazd dla tworzyw acetalowych DELRIN<sup>®</sup> w funkcji ciśnienia wtrysku. Porównanie zostało przeprowadzone z wykorzystaniem formy o spiralnym przepływie otwartym dla końcem bez żadnych ograniczeń przewężek. Przeszkody występujące na drodze przepływu, takie jak nagła zmiana kierunku przepływu lub obecność kołków formujących otwór w wyprasce, mogą w znacznym stopniu zredukować długość płynięcia.

Rys. 4.01 Widok rozłożonej formy





Rys. 4.02 Maksymalne drogi płynięcia tworzywa DELRIN®

## Przewężki

Przewężki odgrywają główną rolę w tym, czy proces przetwórstwa zakończy się sukcesem czy porażką. Umieszczenie, konstrukcja oraz wielkość przewężki są kluczowymi czynnikami umożliwiającymi optymalne wypełnienie formy. Oczywiście konstrukcja przewężek będzie inna niż konstrukcja przewężek wykorzystywanych do przetwórstwa tworzyw amorficznych, w przypadku których przepływ powinien być zatrzymany natychmiast po wypełnieniu gniazda w celu uniknięcia przepakowania (przetrysku) oraz śladów zapadnięć w okolicy przewężki (przepływ wsteczny). W przypadku tworzyw krystalicznych, lokalizacja, kształt i rozmiar przewężek powinien być taki, by umożliwić ciągły przepływ w trakcie WSZYSTKICH faz wypełniania (czas utrzymania docisku ciśnienia - patrz rozdział 5).

### Lokalizacja przewężek

Jako zasadę należy przyjąć, że dla detali nie posiadających jednakowej grubości ścianek, przewężka musi być umiejscowiona w najgrubszym przekroju. Zachowanie tej podstawowej zasady odgrywa zasadniczą rolę w uzyskaniu optymalnego wypełnienia, a w konsekwencji najlepszych właściwości mechanicznych, stabilności wymiarowej oraz wykończenia powierzchniowego. Oczywiście należy unikać wszelkich przewężeń (zredukowanego przekroju wzdłuż ścieżki przepływu roztopionego tworzywa) pomiędzy przewężką a wszystkimi strefami formowanego detalu.

W strefie detalu, która podlegać będzie ścisaniu lub zginaniu nie powinno się umieszczać przewężki, ponieważ okolica przewężki może posiadać naprężenia szczątkowe, a ponadto może być osłabiona, gdyż pracuje jako karb. Podobnie, przewężka nie powinna powodować linii zgrzewu, która mogłaby wystąpić w krytycznej strefie.

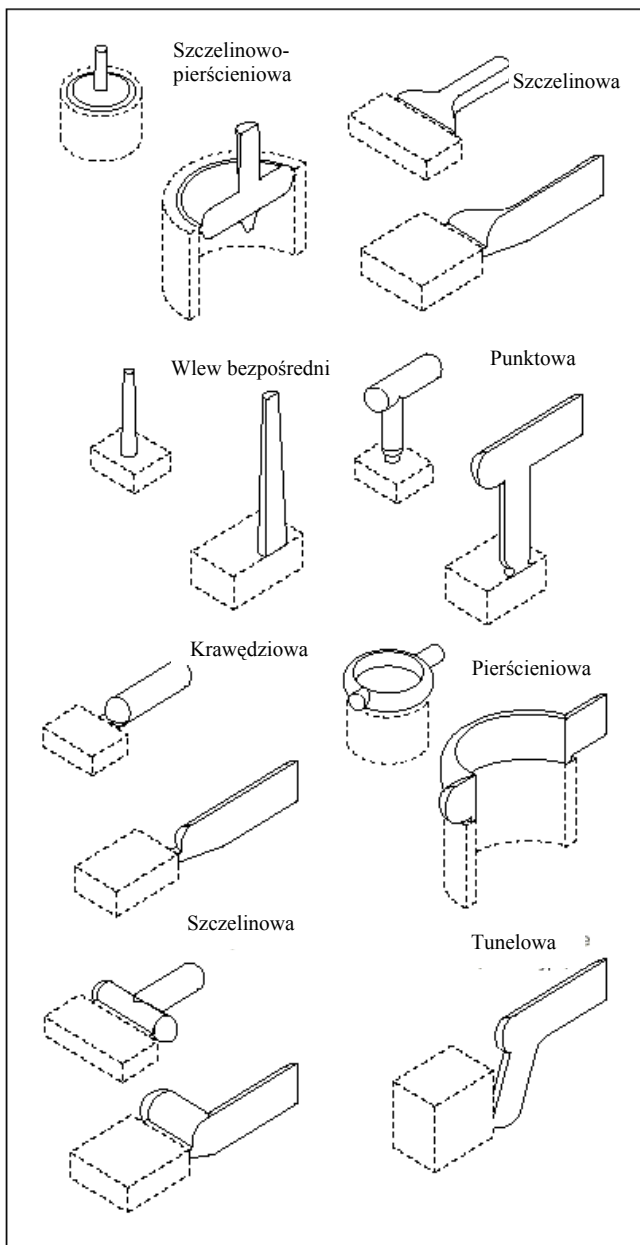
Przewężka powinna być usytuowana w taki sposób, aby powietrze było wydmuchiwane w kierunku linii podziału lub wypychacza - gdzie można umieścić konwencjonalne otwory odpowietrzające. Na przykład, detal z zamkniętą na końcu rurką, jak nasadka długopisu, powinien mieć przewężkę usytuowaną w środku zamkniętej części, dzięki czemu powietrze mogłoby uchodzić na linii podziału. Przewężka umieszczona na krawędzi spowoduje uwieszenie powietrza po przeciwnej stronie w pobliżu zamkniętej części. W przypadku, gdy w żaden sposób nie można uniknąć linii zgrzewu, na przykład wokół rdzenia, należy zapewnić ujście dla przewężki w celu uniknięcia poważnego osłabienia oraz widocznych skaz. Szczegółowe zalecenia dotyczące odpowietrzania zostały przedstawione w dalszej części tego rozdziału.

Kolejną sprawą, która powinna być uwzględniona przy wyborze lokalizacji przewężki dla tworzywa DELRIN® jest wygląd powierzchni. Rozmazywanie przy przewężce, jak również wypłukiwanie, mogą być zminimalizowane poprzez usytuowanie przewężki w taki sposób, aby roztopione tworzywo wchodzące do gniazda uderzało o ściankę lub kołek rdzenia.

Centralne umiejscowienie przewężki jest w wielu przypadkach konieczne dla zapewnienia okrągłości np. kół zębatych lub innych krytycznych detali pierścieniowych. Dość powszechnie stosuje się wielokrotne przewężki, zwykle dwie do czterech, szczególnie wtedy, gdy mamy do czynienia z centralnym wlewem co pozwala na uniknięcie trudnego do usunięcia układu membranowego.

### Konstrukcja przewężki

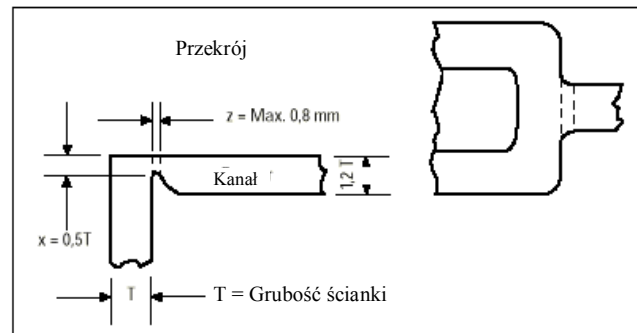
Jak wspomniano powyżej, w przypadku tworzyw krystalicznych, takich jak DELRIN®, grubość przewężki lub jej średnica (dla przewężek punktowych lub przewężek tunelowych) decyduje o czasie bez krzepnięcia, a tym samym określa czy wypełnienie gniazda jest możliwe (w celu skompensowania redukcji objętości wynikającej z krystalizacji) i utrzymania ciśnienia podczas krzepnięcia. Przewężka powinna być otwarta tak długo, aż detal osiągnie maksymalną gęstość dla konkretnego tworzywa. Grubość (lub średnica) przewężki powinna wynosić około 50-60% grubości ścianki przy przewężce. Szerokość przewężki powinna być zawsze równa lub większa niż grubość przewężki. Długość przewężki powinna być jak najkrótsza i nigdy nie powinna przekraczać 0,8 mm. Strefa detalu znajdująca się w pobliżu przewężki nie powinna być poddawana naprężeniom zginającym w trakcie rzeczywistego wykorzystywania tego detalu. Szczególnie naprężenia udarowe mogą spowodować wystąpienie wad w strefie przewężki.



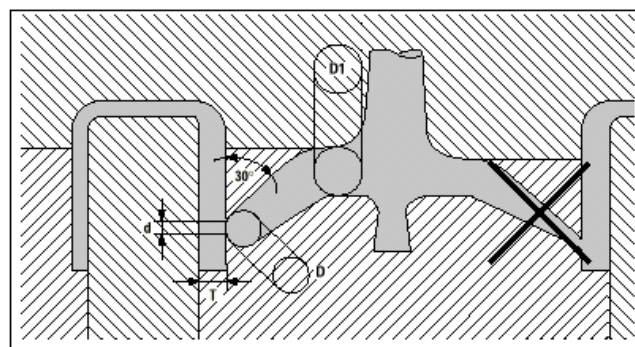
Rys. 4.03 Schematyczny widok najczęściej stosowanych przewęzek

Najczęściej stosowane przewęzek zostały przedstawione na Rys. 4.03.

- PRZEWĘŻKA SZCZELINOWO PIERŚCIENIOWA MEMBRANOWA: Przewężka wykorzystywana do napełniania pojedynczego gniazda symetrycznego. Zaletą takiej przewężki jest redukcja linii zgrzewu oraz lepsze tempo wypełniania. Jednak detal musi być przymocowany w celu usunięcia przewężki.
- WLEW BEZPOŚREDNI: Wlew wtryskowy wchodzi bezpośrednio w gniazdo formy bez konieczności stosowania kanałów doprowadzających. Taka konstrukcja przewężki może często prowadzić do defektów powierzchni detali pochodzących z dyszy (zbrzydlenie, marszczenie, uwięzione powietrze...).
- PRZEWĘŻKA KRAWĘDZIOWA: Typowy rodzaj przewęzek dla form dwupłytkowych. Wlewk nie jest usuwany samoczynnie.



Rys. 4.04 Szczegóły typowej przewężki odpowiedniej dla tworzywa DELRIN®



Rys. 4.05 Szczegóły przewężki tunelowej odpowiedniej dla tworzywa DELRIN® (lewa strona). Otwór pokazany z prawej strony nie nadaje się do tworzyw krystalicznych i mógłby powodować problemy z tworzywem DELRIN®.

- PRZEWĘŻKA SZCZELINOWA: Taką przewężkę stosuje się do celu zwiększenia frontu przepływu. Zwykle prowadzi to do zmniejszenia koncentracji naprężeń w rejonie przewężki. Dzięki wykorzystaniu tego typu przewęzek można oczekiwać mniejszych wypaczeń powierzchni.
- PRZEWĘŻKA PUNKTOWA: Jest to przewężka stosowana w formach trójplytkowych. Wlewk jest usuwany samoczynnie.
- PRZEWĘŻKA PIERŚCIENIOWA: Patrz PRZEWĘŻKA SZCZELINOWO PIERŚCIENIOWA -MEMBRANOWA.
- PRZEWĘŻKA TUNELOWA: Rodzaj przewężki krawędziowej, w której ujście kanału doprowadzającego nie znajduje się na linii podziału formy. Takie przewężki stosuje się do oddzielania wlewka od detalu w przypadku form dwupłytkowych (samoczynne usuwanie wlewka).

Szczegóły dotyczące typowych przewęzek krawędziowych odpowiednich dla tworzywa DELRIN® zostały przedstawione na Rys. 4.04.

Rys. 4.05 przedstawia szczegóły przewężki tunelowo punktowej odpowiedniej dla tworzywa DELRIN® (lewa strona) w porównaniu do podobnej przewężki, która nie jest zalecana dla tworzyw krystalicznych (prawa strona).

*Kryteria konstrukcyjne:*

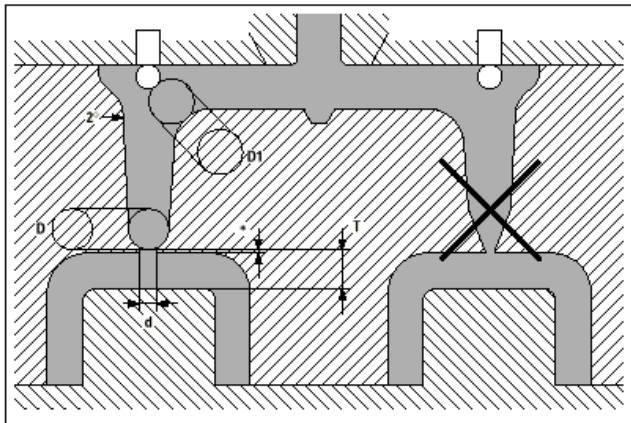
- Przewężka powinna zawsze znajdować się w najgrubszej części detalu.
- Średnica przewężki "d" musi być równa co najmniej połowie grubości detalu. Długość przewężki musi być mniejsza niż 0,8 mm, aby zapobiec przedwczesnemu krzepnięciu tworzywa w przewężce podczas wypełniania.
- Wewnętrzna średnica "D" tunelu obok przewężki musi być równa co najmniej 1,2 grubości detalu "T".



Przewężka przedstawiona po prawej stronie Rys. 4.05 nie jest zalecana do tworzyw krystalicznych, takich jak DELRIN<sup>®</sup>, ponieważ takie stożkowe sekcje przewężki krystalizują przed całkowitym wypełnieniem. W rezultacie prowadzi to do osłabienia własności mechanicznych oraz do niekontrolowanej kureczliwości.

Rys. 4.06 przedstawia szczegóły "trójpłytywowej" konstrukcji przewężki odpowiedniej dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> (lewa strona), w porównaniu z podobną przewężką, która nie jest zalecana dla tworzyw krystalicznych. Kryteria konstrukcyjne przedstawione powyżej mają również zastosowanie do przewężek tego typu.

**Uwaga:** Ograniczenia wokół zabieraków wlewków doprowadzających do niecałkowitego wypełnienia detalu. W związku z tym średnica "D1" na Rys. 4.06 powinna być co najmniej równa średnicy "D".



Rys. 4.06 Szczegóły "trójpłytywowej" konstrukcji przewężki odpowiedniej dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> (lewa strona). Przewężka znajdująca się w prawej części rysunku nie jest odpowiednia dla tworzyw krystalicznych i może być przyczyną problemów w przypadku stosowania jej dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup>. \*Długość przewężki powinna być mniejsza niż 0,8 mm.

## System kanałów doprowadzających

### Wytyczne

Poniżej zestawiono kluczowe wytyczne przy projektowaniu systemu kanałów doprowadzających:

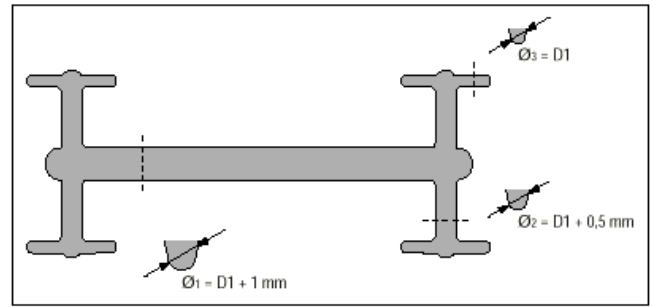
- Kanały doprowadzające powinny pozostawać drożne tak długo, aż wszystkie gniazda zostaną właściwie wypełnione i upakowane.
- Kanały powinny być na tyle duże, aby zapewnić właściwy przepływ, minimalny spadek ciśnienia oraz zapobiegać przegrzaniu.
- Przekrój i długość kanałów doprowadzających powinny być utrzymane na poziomie minimalnym zgodnie z poprzednimi wytycznymi.

Każdy z wyżej wymienionych czynników może mieć wpływ na jakość i końcowy koszt formowanego detalu. Czynniki (a) należy uznać za najbardziej krytyczny.

Przekrój kanałów doprowadzających ma najczęściej kształt trapezoidalny, co odzwierciedla praktycznie optymalny kompromis w odniesieniu do przekrojów całkowicie okrągłych. Efektywny przekrój kanału doprowadzającego jest w takim przypadku średnicą pełnego okręgu, który można w niego wpisać.

Aby detale wytwarzane z tworzywa DELRIN<sup>®</sup> miały najlepsze właściwości fizyczne, kanały doprowadzające znajdujące się w pobliżu otworu wtryskowego muszą mieć średnicę wewnętrzną równą co najmniej 1,2 grubości detalu "T".

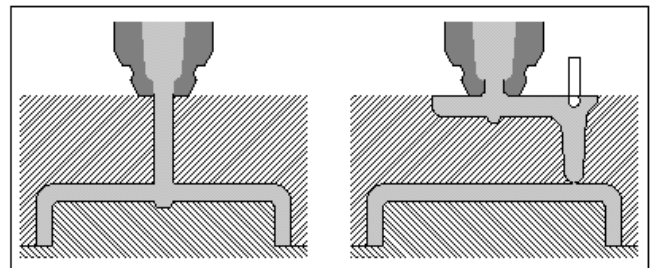
Przy produkcji detali bardzo cienkich, kanał doprowadzający nie może być cieńszy niż 1,5 mm. Grubość kanałów doprowadzających zwiększa się na ogół w każdym z pierwszych dwóch zakrętów od gniazda, co zostało zilustrowane na przykładzie Rys. 4.07.



Rys. 4.07 Prawidłowe przekroje kanałów doprowadzających dla formy ośmiogniazdowej

### Formy jednogniazdowe

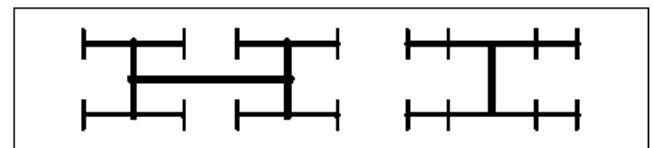
Najprostszym układem kanału doprowadzającego dla formy jednogniazdowej byłby wtrysk bezpośredni (patrz Rys. 4.08, lewa strona). Jednak w takim przypadku koniecznością byłoby zastosowanie zabieraka do usuwania zimnych wlewków bezpośrednio na detalu, a to z kolei wiąże się z towarzyszącymi takiej sytuacji problemami powierzchniowymi oraz słabszymi właściwościami mechanicznymi w tej strefie. Lepszym rozwiązaniem jest "przerwanie przepływu", co zostało zilustrowane na Rys. 4.08, prawa strona.



Rys. 4.08 Wtrysk bezpośredni (strona lewa) oraz wtrysk pośredni z "przerwaniem przepływu" (strona prawa) w formie jednogniazdowej

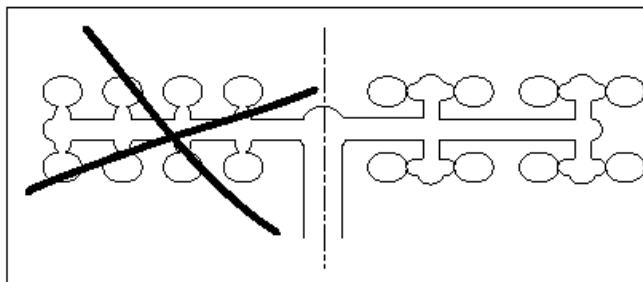
### Układ kanałów doprowadzających

Idealnie zrównoważony układ (z równymi odległościami przepływu od wlewka do każdego gniazda) można osiągnąć wówczas, gdy liczba gniazd jest potęgą liczby 2, tj. 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128... Rys. 4.09 przedstawia przykład 16-gniazdowej formy z właściwie zrównoważonym układem (strona lewa) oraz z układem niewłaściwie zrównoważonym. Idealnie zrównoważony układ może być niepraktyczny i drogi.



Rys. 4.09 Zrównoważony (strona lewa) i niezrównoważony system kanałów doprowadzających dla formy 16-gniazdowej

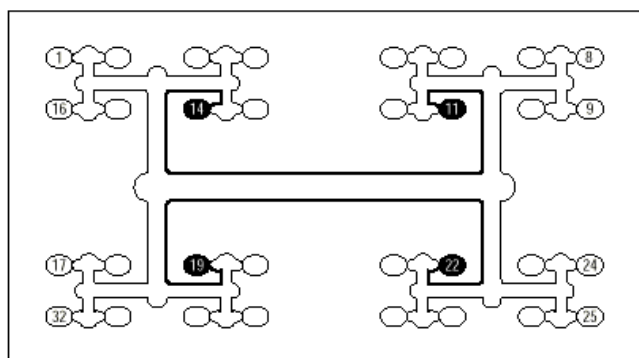
Jeżeli zostanie wybrany niezrównoważony system kanałów doprowadzających, wówczas układ przedstawiony po prawej stronie Rys. 4.10 będzie bardziej ryzykowny pod kątem jakości detalu. Przepływ będzie charakteryzował się tendencją do zatrzymywania się przy każdej kolejnej przewężce z uwagi na ograniczenia przepływu i tworzywo zacznie krystalizować. Jednak kanały doprowadzające będą w dalszym ciągu napelniane, co doprowadzi do wzrostu ciśnienia, które zacznie wypychać tworzące się zbrzydlenia do gniazd formy.



Rys. 4.10 Przykłady nierównoważonych form 16-gniazdowych. Rozwiązanie widoczne po prawej stronie posiada gniazda przelewowe przeznaczone do przechwytywania zbryleń.

Aby zredukować takie ryzyko, zaleca się stosowanie rozwiązania przedstawionego po prawej stronie Rys. 4.10. W przedstawionym układzie zbrylenia będą przechwytywane przez każde gniazdo przelewowe.

W przypadku form wielogniazdowych (16 gniazd i więcej) możemy mieć do czynienia z tzw. "efektem spirali", który może powstawać w "wewnętrznych" gniazdach układu (patrz przykład na Rys. 4.11). Efekt ten powstaje z uwagi na przegrzanie tworzywa w kanałach doprowadzających spowodowane miejscowym ścinaniem. W celu zminimalizowania takich negatywnych efektów, jak rozpryski lub osadzanie, należy zredukować ścinanie poprzez zastosowanie kanałów doprowadzających o odpowiednich rozmiarach.



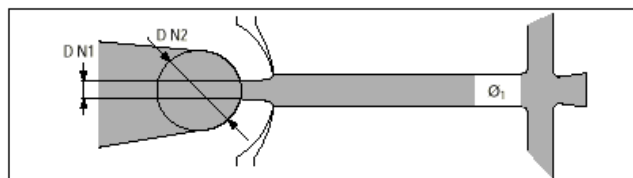
Rys. 4.11 Przykłady "efektu spirali" w formie 32-gniazdowej. Gniazda 11, 14, 19 i 22 zostaną wypełnione jako pierwsze i w związku z tym mogą pojawić się w nich rozpryski i osady.

W przypadku form wielogniazdowych wykorzystywanych do produkcji detali o niewielkiej grubości (poniżej 1 mm), konstrukcja kanałów doprowadzających powinna być sprawdzona przez szczegółową analizę przepływu.

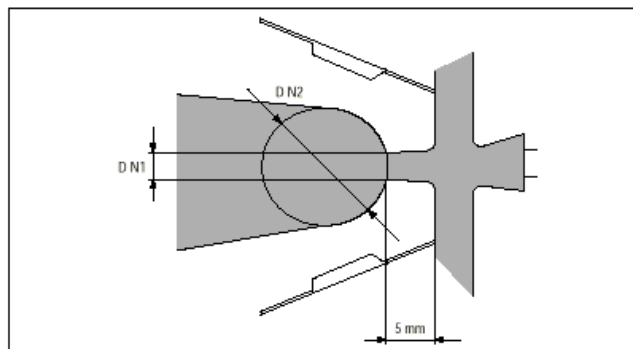
## Dysza i wlew

Średnice dyszy i wlewu są bezpośrednio związane z wymiarami detalu oraz z wymiarami kanałów doprowadzających. Projektant w pierwszej kolejności powinien zdecydować czy konieczne jest zastosowanie wlewu. Jeżeli tak, wówczas można zastosować konstrukcję przedstawioną na Rys. 4.12. Taki układ okazał się wielokrotnie być najbardziej efektywnym rozwiązaniem dla tworzyw krystalicznych takich jak DELRIN®. Z uwagi na swój równoległy i cylindryczny kształt jest on łatwy do obróbki i polerowania, umożliwia zastosowanie dyszy o dużej średnicy oraz dzięki dużej kurczliwości jest łatwy do usunięcia. Należy uwzględnić następujące wytyczne dotyczące wymiarowania:

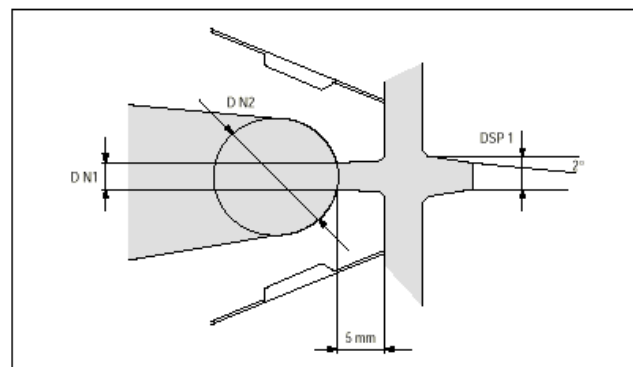
- średnica wlewu  $\varnothing_1$  powinna być co najmniej równa średnicy wpisanej głównego kanału doprowadzającego;
- średnica dyszy "DN1" powinna być równa średnicy  $\varnothing_1$  pomniejszona o 1 mm.



Rys. 4.12 Konstrukcja wlewu i dyszy często wykorzystywane z tworzywem DELRIN®. Ich wymiary są związane z wymiarami detalu i kanałów doprowadzających.



Rys. 4.13 Przykład konstrukcji dyszy bez wlewu zastosowanej do formy dwupłytywowej. Należy pamiętać, że temperatura dyszy dla tworzywa DELRIN® nie może przekraczać 190 °C.



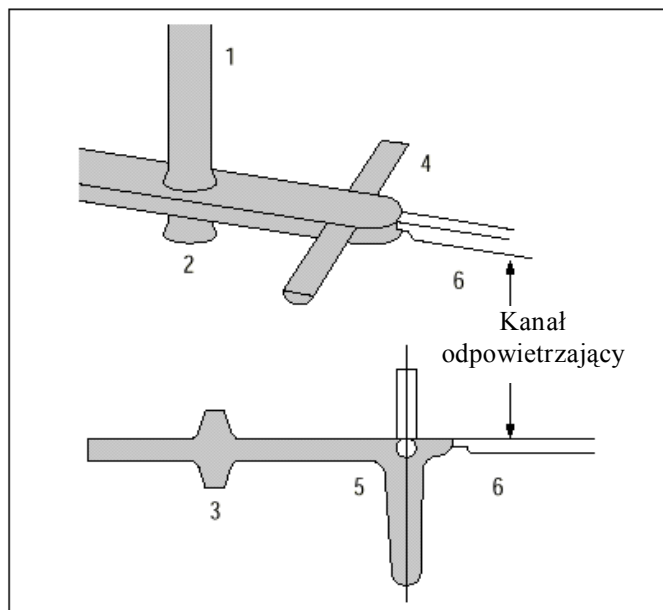
Rys. 4.14 Przykład konstrukcji dyszy bez wlewu zastosowanej do formy trójpłytywowej. Należy pamiętać, że temperatura dyszy dla tworzywa DELRIN® nie może przekraczać 190 °C.

W przypadku, gdy konstruktor wybierze rozwiązanie bez wlewu, konieczne może być zastosowanie długiej dyszy, jak to zostało pokazane na Rys. 4.13 dla formy 2-płytywowej oraz na Rys. 4.14 dla formy 3-płytywowej. Przypominamy: wymiary są związane z wymiarami detalu i kanałów doprowadzających (wytyczne: średnica dyszy "DN1" równa wpisanej średnicy głównego kanału minus 1 mm).

Poniżej przedstawiono listę kluczowych zaleceń związanych z systemem wlewu i kanałów doprowadzających. Można ją stosować w celu szybkiego sprawdzenia ich konstrukcji.

1. Zalecany jest równoległy i cylindryczny kształt wlewu: patrz Rys. 4.12 oraz Rys. 4.15-1.
2. Zabierak wlewków dla form 2-płytywowych: patrz Rys. 4.15-2.
3. Studzienki do zbryleń dla form 3-płytywowych: patrz Rys. 4.15-3.
4. Prostopadłe dzielniki przepływu ze studzienkami do zbryleń na każdym dzielniku: patrz Rys. 4.15-4.
5. Brak jakichkolwiek ograniczeń przepływu spowodowanych przez zabierak wlewu w formie 3-płytywowej: patrz Rys. 4.15-5.
6. Wymiarowanie kanałów doprowadzających:
  - dla detali grubszych niż 1,5 mm należy stosować zasady odnoszące się do tworzyw krystalicznych (Rys. 4.07);
  - dla detali o mniejszej grubości oraz dla form wielogniazdowych, konieczne może być wykonanie analizy przepływu w celu takiego dobrania wymiarów, aby uniknąć nadmiernego ścinania.
7. Kanały doprowadzające powinny posiadać odpowiednie odpowietrzenia: patrz Rys. 4.15 oraz 4.17.
8. Zaleca się stosowanie kanałów zrównoważonych: patrz Rys. 4.11.

9. W przypadku detali o niewielkiej grubości oraz w przypadku form wielogniazdowych można zastosować niezrównoważony układ kanałów doprowadzających, jednak nigdy nie można umieszczać przewężek bezpośrednio na głównym kanale doprowadzającym: patrz Rys. 4.10.



Rys. 4.15 Podstawowe zasady przy konstruowaniu wlewka oraz kanałów doprowadzających dla formy 2-plytowej (górną) oraz dla formy 3-plytowej (dół).

## Formy z grzanymi kanałami dla tworzyw krystalicznych

### Komentarz wstępny

W tym rozdziale opisane zostały grzane kanały, gorące dysze oraz formy bezkanałowe. Intencją przedstawionych informacji nie jest promowanie któregoś z znaków towarowych lub systemu, lecz przedstawienie zachowania się i wymogów tworzyw krystalicznych w wyżej wymienionym oprzyrządowaniu.

Najczęściej stawiane pytanie dotyczy kiedy należy zastosować formy z grzanymi kanałami dla tworzyw krystalicznych takich jak DELRIN®. Jest to bardzo kontrowersyjna sprawa. Wybór jest uzależniony od wielu czynników, a w szczególności od żądanej jakości, tj. właściwości mechanicznych, aspektów związanych z wykończeniem powierzchni, procentowej ilości odpadów.

### Opis sytuacji

Wszystkie formy tego typu mają oczywiste zalety w postaci mniejszej ilości uplastycznianego tworzywa, żadnych (lub minimalne ilości) odpadów oraz krótsze cykle. Z drugiej jednak strony formy z grzanymi kanałami są droższe i cięższe, wymagają więcej konserwacji i lepiej przeszkolonego personelu obsługi niż formy tradycyjne. Ponadto, jeżeli ich konstrukcja nie jest właściwa, wówczas ciepło wymagane do ich pracy może rozchodzić się na wszystkie części formy i w zasadzie może nawet wydłużyć czas cyklu.

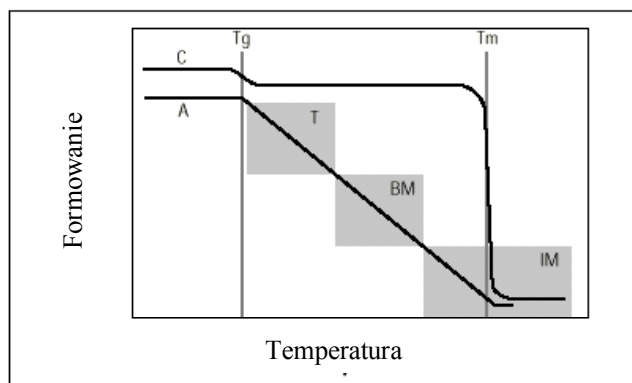
Jednym ze sposobów podjęcia właściwej decyzji jest oszacowanie wielkości oczekiwanego zwiększenia produktywności w stosunku do formy tradycyjnej. Jeżeli oczekiwany wzrost jest niższy niż 25%, lepiej pozostać przy tradycyjnej formie 3-plytowej, która jest tańsza do wykonania, uruchomienia i pracy.

Kryterium wzrostu produktywności o 25% odnosi się tylko do pełnych systemów z grzanymi kanałami. W przypadku pozostałych rodzajów form (z grzaną dyszą, dodatkowymi zimnymi kanałami) wyżej wymieniony próg jest znacznie niższy.

## Wtrysk bezpośredni w porównaniu z dodatkowymi zimnymi kanałami dla tworzyw krystalicznych

Przy projektowaniu form z grzanymi kanałami do zastosowania z tworzywami krystalicznymi, należy pamiętać, że wtrysk bezpośredni poprzez grzane kanały jest bardziej skomplikowany dla tworzyw krystalicznych niż dla tworzyw amorficznych. Różnica polega na sposobie mięknięcia lub topienia tych dwóch typów polimerów.

Tworzywa amorficzne charakteryzują się stopniowym topieniem powyżej temperatury  $T_g$  od stanu stałego do stanu ciekłego, co w rezultacie daje szerszy zakres przetwarzania w zakresie temperatury i lepkości. W rzeczywistości, wzrost temperatury tworzywa amorficznego powyżej  $T_g$  (patrz Rys. 4.16, krzywa "A") pozwala na zastosowanie go najpierw w procesie termoformingu ("T"), następnie w procesie formowania rozdmuchowego ("BM") i ostatecznie w procesie formowania wtryskowego ("IM").



Rys. 4.16 Sposób mięknięcia/topnienia polimerów amorficznych i krystalicznych

Sytuacja wygląda zupełnie inaczej w przypadku polimerów krystalicznych. Tutaj temperatura  $T_g$  ma ograniczony lub nawet do pominięcia wpływ na strukturę tworzywa, które pozostaje w stanie stałym powyżej temperatury  $T_g$ . W temperaturze  $T_m$  polimery krystaliczne ulegają gwałtownemu stopnieniu i przechodzą w stan ciekły (krzywa "C").

Takie zachowanie się tworzyw krystalicznych stwarza następujące zagrożenia:

- Wyciekanie wokół otworu wtryskowego i w konsekwencji problemy z wadliwym wykończeniem powierzchni oraz deformacje;
- Zatykanie przewężek przez zastygłe tworzywo. Wepchnięte w gniazda czopy prowadzą do wadliwego wykończenia powierzchni i słabszych właściwości mechanicznych. Najlepszym sposobem uniknięcia tego typu problemów jest zastosowanie DODATKOWYCH ZIMNYCH KANAŁÓW.

### Regulacja termiczna form z grzanymi kanałami

Kontrola termiczna oraz laminarny przepływ są bardzo istotne dla form z grzanymi kanałami. Należy zaznaczyć, że ustawienie stosunkowo niskiej temperatury (poniżej 190 °C) jest wystarczające do uzyskania swobodnego przepływu bez jakichkolwiek miejsc gromadzenia się tworzywa.

Przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt, że dzięki lepkości tworzywa, jego przepływ jest zawsze laminarny. Oznacza to, że tworzywo będzie zalegać przy stalowych ściankach grzanych kanałów i jego czas zalegania będzie bardzo długi. W przypadku tworzywa DELRIN®, aby uniknąć jego degradacji termicznej przy wydłużonym czasie zalegania, temperatura stali nigdy nie powinna przekraczać 190 °C. Jeżeli system grzanych kanałów ulega krzepnięciu w tej temperaturze, wówczas system taki należy zmodyfikować, aby poprawić jego izolację termiczną i rozkład ciepła, umożliwiające usunięcie zimnych miejsc. Rozkład tworzywa prowadzi do rozprysków, nieprzyjemnego zapachu, czarnych plam oraz gromadzeniu się osadu na formie.

## Wnioski

W przypadku tworzyw krystalicznych takich jak DELRIN<sup>®</sup> zaleca się co następujące:

- Zanim zostanie uwzględniona możliwość zastosowania grzanych kanałów, należy oczekiwać minimum 25% teoretycznego obniżenia kosztów produkcji.
- Należy przygotować dobrze przeszkolony personel techniczny obsługujący i konserwujący formy.
- Stosować dodatkowe zimne kanały, a nigdy bezpośredni wtrysk wprost na detal.
- Stosować gatunki tworzywa DELRIN<sup>®</sup> P.
- Wszystkie temperatury w systemie grzanych kanałów nie mogą przekraczać 190 °C.
- Należy unikać stosowania form z grzаныmi kanałami, jeżeli defekty powierzchniowe są nie do przyjęcia i wymagane są dobre właściwości mechaniczne detali.
- Należy unikać stosowania grzanych kanałów dla tworzyw wzmocnionych.

## Odpowietrzanie

Odpowietrzanie form przy stosowaniu tworzywa DELRIN<sup>®</sup> jest szczególnie istotne, w związku z czym temu zagadnieniu należy poświęcić specjalną uwagę zarówno przy projektowaniu formy, jak również przy jej rozruchu. Zachowanie tej uwagi jest konieczne, ponieważ przypalanie detali spowodowane niewłaściwym odpowietrzaniem jest trudne do zaobserwowania w przypadku tworzywa DELRIN<sup>®</sup>. W przypadku innych żywic nieodpowiednie odpowietrzanie powoduje zaczernianie i przypalanie detali. Natomiast DELRIN<sup>®</sup> daje niewidoczne skazy lub niezauważalne białe ślady na formie.

Problemy z odpowietrzaniem w przypadku zastosowania tworzywa acetalowego DELRIN<sup>®</sup> staną się bardziej widoczne po spryskaniu formy rozpylaczem opartym na węglowodorze lub nafcie tuż przed wtryskiem. Jeżeli odpowietrzanie jest nieodpowiednie, wówczas węglowódor spowoduje czarne plamki wszędzie tam, gdzie zostanie uwięzione powietrze. Ta technika jest szczególnie użyteczna przy wykrywaniu słabej wentylacji w formach wielogniazdowych. Wygodnym źródłem węglowodoru jest spryskiwacz antykorozyjny.

Kanały odpowietrzające powinny być ulokowane w:

1. końcu każdego kanału doprowadzającego;
2. każdym skrzyżowaniu przepływu, gdzie może być uwięzione powietrze i w związku z tym powstają linie zgrzewu. Umieszczenie linii zgrzewu można określić przez niepełny wtrysk.

Tylko BRAK odpowietrzania w połączeniu z nadmiernie szybkim wtryskiem powodują korozję formy na liniach zgrzewu przy przetwarzaniu tworzywa DELRIN<sup>®</sup> (efekt diesla). Niewłaściwe odpowietrzanie formy z tworzywem DELRIN<sup>®</sup> może być przyczyną stopniowego gromadzenia się osadu, gdzie powinny być umiejscowione otwory wentylacyjne oraz w szczelinach formy, przez które zachodzi ograniczone odpowietrzanie. Powstający osad składa się z białego materiału utworzonego ze śladów gazu wydobywającego się przy normalnym wtrysku. Właściwe odpowietrzanie formy umożliwia ucieczkę tego gazu wraz z powietrzem z gniazda formy.

Słabe odpowietrzanie może być też przyczyną redukcji właściwości fizycznych na liniach zgrzewu.

Problemy z odpowietrzaniem są jeszcze bardziej uwidocznione przez wysoką temperaturę topnienia, długi okres przebywania lub w miejscach zalegania w cylindrze wtryskowym, co generuje większe niż zwykle ilości gazu. Szybki wtrysk również przyczynia się do przyspieszenia wyżej wymienionych problemów. Sposoby zapobiegania tworzeniu się osadu na formie zostały wymienione w rozdział "Usuwanie niedomagań".

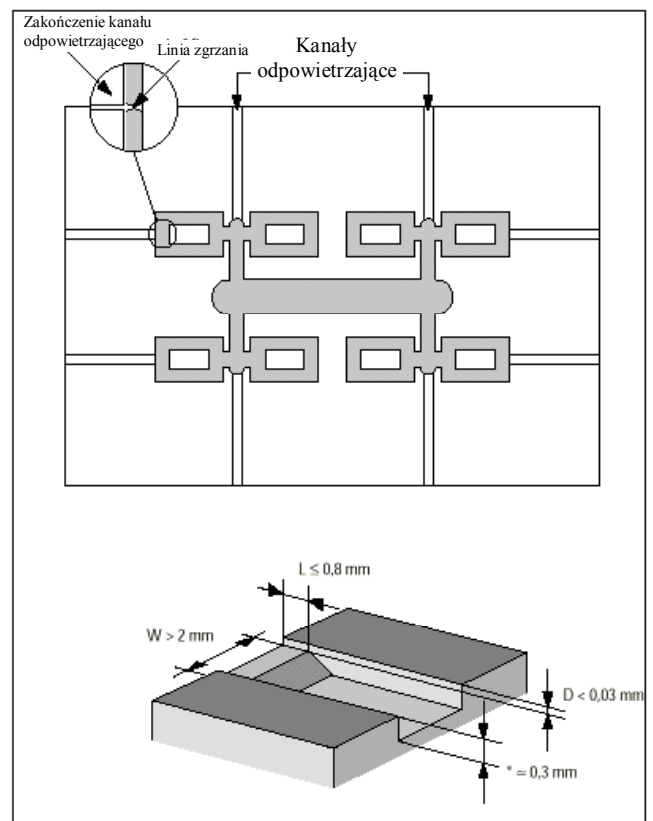
Odpowietrzanie zwykle odbywa się na linii podziału formy i jest zapewnione przez wykonanie kanałów w płycie gniazdowej oraz we wkładkach.

W niektórych przypadkach odpowietrzanie może być zapewnione wokół wypychacza. Wypychacze, które nie poruszają się z systemem wypychania mają tendencję do zapychania się i w związku z tym po krótkim czasie nie mogą zapewnić odpowiedniego odpowietrzania.

Odpowietrzanie systemu kanałów doprowadzających jest bardzo pomocne w zredukowaniu ilości powietrza, które musi być usunięte przez gniazda formy. Ponieważ przetryski w kanałach doprowadzających nie mają wpływu na jakość gotowej wypraski, odpowietrzania te mogą być nieznacznie głębsze niż odpowietrzania gniazd, na przykład 0,06 mm.

Szkice przedstawione na Rys. 4.17 pokazują zalecane wymiary odpowietrzeń w gniazdach form dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup>.

**Uwaga:** W trakcie konserwacji formy, głębokość odpowietrzeń i wgłębień powinny być dokładnie sprawdzone. Jeżeli głębokość odpowietrzeń jest mniejsza niż 0,01-0,015 mm, należy je zmodyfikować.

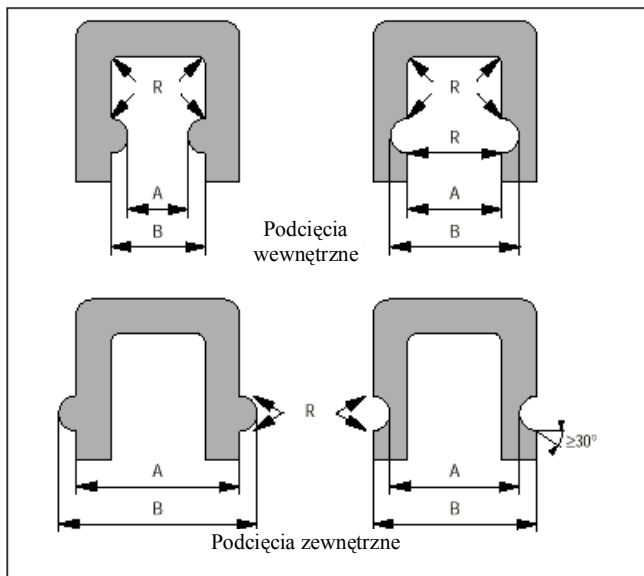


Rys. 4.17 Zalecane odpowietrzanie gniazda oraz systemu kanałów doprowadzających

## Podcięcia

Poniżej przedstawione zostały ogólne uwagi dotyczące uwalniania wyprasek z podcięciami formowanymi z tworzyw acetalowych DELRIN®:

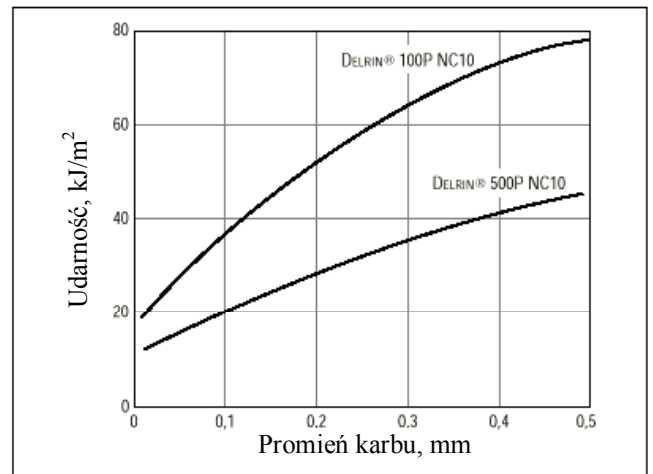
- Element z podcięciem musi mieć swobodę do rozciągania i ściskania, tzn. ścianka elementu znajdująca się na przeciwko podcięciu musi zostać usunięta z formy lub rdzenia zanim rozpocznie się wypychanie.
- Podcięcie powinno być zaokrąglone i dobrze wyprofilowane, aby umożliwić swobodny poślizg elementu z tworzywa po metalu oraz aby zminimalizować koncentrację naprężeń w trakcie usuwania.
- Należy zapewnić odpowiednią powierzchnię styku pomiędzy wypychaczem a detalem z tworzywa, aby uniemożliwić chaotyczne poruszanie się detalu lub zgniecenie cienkościennej sekcji w trakcie usuwania.
- W optymalny sposób należy dobrać długość cyklu formowania, a przede wszystkim czasu docisku (HPT), co pozwoli uniknąć nadmiernej kurczliwości podcięć wewnętrznych. Detal powinien posiadać wystarczającą sztywność, która nie spowoduje uwężnienia z uwagi na nadmierny skurcz wokół stempli kształtujących wewnętrzne podcięcie. Wypychanie detali z podcięciami na średnicy zewnętrznej będzie ułatwione z uwagi na skurcz.
- Wyższa temperatura formy, która powoduje, że detal jest cieplejszy i bardziej elastyczny po otwarciu formy, może być pomocna przy usuwaniu go z podcięć.
- Detale wykonywane z tworzywa DELRIN® można formować z maksymalnie 5% podcięciami. Obliczanie dopuszczalnych podcięć zostało zilustrowane na Rys. 4.18. Dopuszczalne podcięcie zależy w pewnym stopniu od grubości ścianki i średnicy.



Rys. 4.18 Obliczanie % podcięcia  $(B-A)/B \leq 5\%$

## Ostre krawędzie

Jedną z głównych przyczyn wad występujących w detalach z tworzyw sztucznych są wewnętrzne ostre krawędzie. Ostra krawędź w detalu działa jak karb i inicjuje pęknięcia przy bardzo niewielkiej energii. Przedstawiony na Rys. 4.19 wykres pokazuje wpływ promienia karbu na udamność próbek testowych wykonanych z dwóch różnych gatunków tworzywa DELRIN®. Należy zwrócić uwagę, że karby zostały uformowane (symulacja warunków rzeczywistych), a nie obrobione, co jest wymagane przy standardowym teście Izoda.



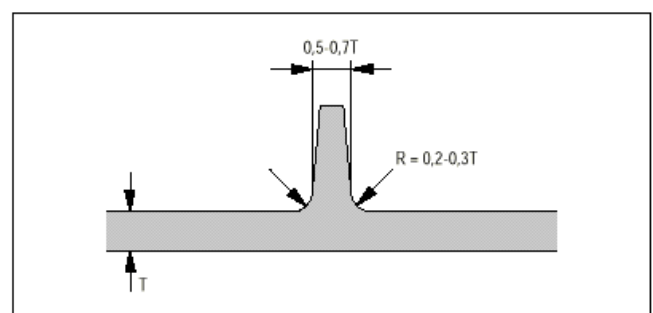
Rys. 4.19 Odporność na uderzenia jako funkcja promienia uformowanego karbu

Z powyższego wykresu widać, że zwiększenie wewnętrznego promienia z 0,01 mm (prawie ostra krawędź) do 0,2 mm dwukrotnie zwiększa odporność na uderzenia.

Również należy zwrócić uwagę, że ostre krawędzie są niepożądane w detalach z tworzyw sztucznych, ponieważ są one czynnikiem przyczyniającym się do powstawania naprężeń i wypaczania wyprasek.

## Konstrukcja żeber

Bardzo często detale żebrowane pracują znacznie lepiej, wykazują lepsze własności mechaniczne i odporność na wypaczanie niż bardzo grube, nieodpowiednio upakowane detale. Z ekonomicznego punktu widzenia nie można wypełnić sekcji grubszych niż 6-8 mm w trakcie całego czasu krystalizacji (krzepnięcia: patrz Rys. 5.05 dotyczący czasu docisku w zależności od grubości detalu). Z drugiej jednak strony, niewłaściwie zaprojektowane żebro również może powodować wady, takie jak zapady. Na Rys. 4.20 przedstawione zostało zalecane wymiarowanie żeber. Należy zauważyć, że promień przy podstawie żebra nie może być zbyt mały, aby zachować odpowiednią wytrzymałość mechaniczną detalu (patrz Rys. 4.19).



Rys. 4.20 Sugerowane wymiarowanie żebra w zależności od grubości ścianki

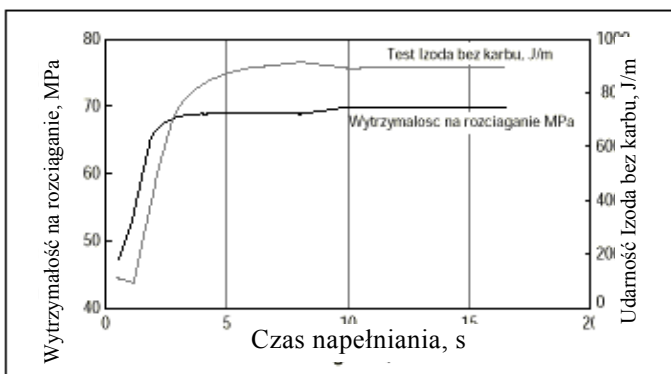
## Linie zgrzewu

Linie zgrzewu występują w miejscach, gdzie łączą się dwa przepływy roztopionego tworzywa. Umieszczenie linii zgrzewu można określić przy pomocy niepełnego wtrysku lub przy pomocy symulacji przepływu (jeżeli forma jeszcze nie istnieje). Jeżeli forma jest wyposażona we właściwe odpowietrzanie (patrz strona 19), wytrzymałość linii zgrzewu powinna wynosić co najmniej 80-90% nominalnej wytrzymałości tworzywa.

Do zoptymalizowania wytrzymałości linii zgrzewu potrzebne są dwa istotne parametry:

1. optymalny czas docisku, aby zapewnić zgrzanie frontów przepływów pod ciśnieniem (w celu ustalenia właściwego czasu docisku (HPT) patrz Rozdział 5);
2. optymalne tempo wypełniania, które zależy od grubości detalu (w przybliżeniu 1 sekunda na każdy milimetr grubości ścianki).

Rys. 4.21 pokazuje wytrzymałość linii zgrzewu dla próbki testowej o grubości 4 mm wykonanej z tworzywa DELRIN® 100 przy przewężkach umieszczonych na dwóch końcach próbki. Niewłaściwe tempo wypełniania ma poważny wpływ zarówno na wytrzymałość na rozciąganie, jak również na odporność na obciążenia dynamiczne.



Rys. 4.21 Wytrzymałość na rozciąganie (lewa skala) oraz wytrzymałość na uderzenia (Udarność Izoda bez karbu; prawa skala) dla próbki testowej o grubości 4 mm wykonanej z tworzywa DELRIN® 100, przy wtrysku z dwóch przewężek oraz przy różnych czasach napełniania.

## Konserwacja formy

Generalnie rzecz ujmując, formy do przetwórstwa tworzywa DELRIN® wymagają takiej samej troski jak formy przeznaczone do przetwórstwa innych tworzyw termoplastycznych. Przetarcie formy oraz zastosowanie roztworu antykorozyjnego po zakończeniu cyklu produkcyjnego są w zasadzie wystarczającym sposobem zabezpieczenia formy.

### Konserwacja odpowietrzeń

Z uwagi na krytyczny charakter odpowietrzeń, ich przekroje powinny być sprawdzane w trakcie każdej rutynowej konserwacji. Głębokość odpowietrzeń oraz wgłębienia (deformacje linii podziału po przeciwnej stronie odpowietrzeń) powinny być sprawdzane bardzo dokładnie. Odpowietrzania powinny być zmodyfikowane, jeżeli ich głębokość jest mniejsza niż 0,01-0,015 mm. Każda przeszkoda, która blokuje odpowietrzanie, powinna zostać usunięta.

## Czyszczenie formy

W zależności od rodzaju osadu, procedura czyszczenia formy może być następująca:

### • Biały osad

Biały osad jest znany jako "osad P", co jest związane z gromadzeniem się paraformaldehydu. Osad ten można usunąć przy pomocy alkoholu benzylowego lub przy pomocy izopropenylu. Częste czyszczenie formy przy pomocy tych rozpuszczalników w trakcie procesu produkcji pomoże zapobiec gromadzeniu się osadu P.

### • Osad przezroczysty lub barwiony

Ten osad znany jest jako "osad S". Można go zwykle zaobserwować w pobliżu przewężek (w przypadku nadmiernej siły ścinającej działającej na tworzywo), na wypychaczach oraz wokół gorących miejsc. Zastosowanie "ścinającej" przewężki (patrz zalecenia dotyczące konstrukcji przewężek) lub bardziej zrównoważonej temperatury formy powstrzyma lub w znacznym stopniu zmniejszy gromadzenie się tego osadu. Można go usuwać przy pomocy alkalicznych środków czyszczących. Wydajność środków czyszczących można zwiększyć przez zastosowanie kąpieli ultradźwiękowej.

## 5. Proces przetwórstwa

Przetwórstwo wtryskowe dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> jest podobne do przetwórstwa innych tworzyw termoplastycznych. Jednak inżynierskie zastosowania, do których wykorzystywane jest tworzywo DELRIN<sup>®</sup>, bardzo często wymagają precyzyjnych własności w zakresie wytrzymałości, wymiarów oraz stanu powierzchni, w związku z czym kontrola procesu przetwórstwa staje się bardzo ważnym czynnikiem.

Informacje przedstawione w tym rozdziale zawierają sugestie odnośnie następujących aspektów:

- Procedury rozruchu i zakończenia pracy oraz środki ostrożności przy obsłudze.
- Warunki przetwórstwa dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup>.
- Technologie zapewniające optymalną wydajność przetwórstwa.

### Procedury rozruchu i zakończenia pracy

#### Rozruch przy zmianie tworzywa

Celem sugerowanej procedury rozruchu dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> jest uniknięcie przegrzania tworzywa oraz zanieczyszczenia go we wtryskarce tworzywem wykorzystywanym w poprzedzającym cyklu produkcyjnym.

Aby uruchomić maszynę, w której znajduje się inne tworzywo, wtryskarka musi być najpierw przeczyszczana polistyrenem kryształ do momentu, aż cylinder i pozostałe strefy wysokiej temperatury będą czyste. Taką czynność można zwykle wykonać przy temperaturze cylindra w zakresie 210-250 °C, jeżeli taki zakres jest odpowiedni dla poprzedniego tworzywa. Dysza sprawia znacznie więcej kłopotów z czyszczeniem, ponieważ laminarny przepływ w tej strefie prowadzi do powstawania warstwy polimeru przylegającej do metalu (podobne zjawisko ma miejsce w przypadku grzanych kanałów). W związku z tym zaleca się wyłączenie grzałki dyszy, zdjęcie jej z maszyny w celu usunięcia wszystkich śladów poprzedniego tworzywa i ponowne jej zamontowanie. Następnie należy ustawić temperaturę cylindra na poziomie około 215 °C, a temperaturę dyszy na poziomie około 190 °C. Po osiągnięciu oczekiwanych temperatur w cylindrze i w dyszy można zasypać tworzywo DELRIN<sup>®</sup> do leja.

**Uwaga:** Polistyren jest chemicznie kompatybilny z tworzywem DELRIN<sup>®</sup>, w przeciwieństwie nawet do śladowych ilości polichlorku winylu (PCV). Zanieczyszczenie tworzywa DELRIN<sup>®</sup> takim materiałem (PCV) może spowodować wyczuwalny odór lub nawet gwałtowny przepływ wsteczny gazów.

#### Rozruch cylindra zawierającego tworzywo DELRIN<sup>®</sup>

Po wykonaniu właściwej procedury zakończenia pracy, ślimak i cylinder powinny być w zasadzie puste. W celu ponownego uruchomienia produkcji, temperatura dyszy i cylindra powinna być ustawiona do wartości 190 °C, aby podgrzać cylinder i znajdujące się w nim tworzywo. Po osiągnięciu przez cylinder zadanej temperatury należy sprawdzić czy dysza jest otwarta i zwiększyć ustawienia temperatur do normalnego zakresu pracy cylindra. Kiedy wszystkie temperatury osiągną zakres pracy, można napełnić lej i rozpocząć wtrysk po krótkim przeczyszczeniu maszyny tworzywem DELRIN<sup>®</sup>.

#### Zakończenie pracy, gdy planowany jest późniejszy rozruch z tworzywem DELRIN<sup>®</sup>

Zamknij podawanie tworzywa z leja i kontynuuj wtrysk do czasu, aż cylinder zostanie opróżniony. W przypadku większych wtryskarek (o średnicy ślimaka powyżej 40 mm) zaleca się przeczyszczenie cylindra polistyrenem kryształ, przesunięcie ślimaka całkowicie do przodu, a następnie wyłączenie opasek grzejnych. Przy małych wtryskarkach należy przesunąć ślimak całkowicie do przodu i wyłączyć opaski grzejne.

#### Zakończenie pracy, gdy planowany jest późniejszy rozruch z innym tworzywem

Zamknij podawanie tworzywa z leja i kontynuuj wtrysk do czasu, aż cylinder zostanie opróżniony. Przeczyszcz cylinder przy pomocy polistyrenu kryształ, ustaw ślimak w pozycji całkowicie do przodu, a następnie wyłącz opaski grzejne.

#### Czasowe przerwanie pracy

Wtryskarka, w której cylindrze znajduje się tworzywo DELRIN<sup>®</sup> w temperaturze przetwarzania, nie powinna stać beczynnie. W normalnych warunkach maksymalny zalecany czas przebywania tworzywa w cylindrze wynosi 10 minut dla tworzywa barwionego i 20 minut dla standardowego tworzywa naturalnego. Przedłużenie wyżej wymienionych czasów może spowodować rozkład tworzywa.

Jeżeli w trakcie czasowego przerwania pracy czas przebywania tworzywa w cylindrze osiągnie powyższy limit, należy zamknąć podajnik leja, opróżnić cylinder i pozostawić ślimak w pozycji maksymalnie do przodu. Temperatura cylindra powinna zostać obniżona do maksymalnie 150 °C (w tej temperaturze tworzywo DELRIN<sup>®</sup> zachowa swoją stabilność nawet w trakcie przerwania pracy na weekend).

#### Co należy zrobić, gdy awarii ulegnie opaska grzewcza dyszy

Odsuń układ plastyfikujący, zamknij lej i usuń go z drogi. Jeżeli dysza jest wciąż otwarta, należy wykonać procedurę normalnego zakończenia pracy. Jeżeli w dyszy znajduje się zakrzepłe tworzywo, przy pomocy palnika należy rozgrzać dyszę, aby roztopić materiał znajdujący się w dyszy, po czym należy go usunąć.

### Warunki przetwórstwa tworzywa DELRIN<sup>®</sup> - ustawienie temperatury

#### Wstęp

Podstawowym celem wtryskarki jest dostarczenie do formy żądanej ilości jednorodnie stopionego tworzywa (bez fragmentów nie roztopionych i bez fragmentów tworzywa zdegradowanego). Zasady budowy wtryskarki przeznaczonej do przetwórstwa tworzywa krystalicznego zostały przedstawione w Rozdziale 3, natomiast zasady dotyczące ustawień zostały omówione na następnej stronie.

**Uwaga:** Ogólne i jednocześnie praktyczne metody oceny obecności nie stopionego i zdegradowanego tworzywa zostały opisane pod koniec Rozdziału 3 i mogą być one również wykorzystane w tym miejscu.

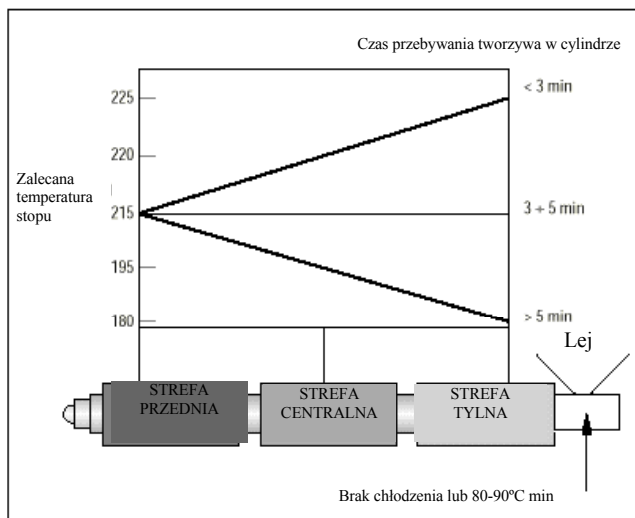
Tworzywo acetalowe DELRIN<sup>®</sup> jest polimerem krystalicznym z temperaturą topnienia 177 °C. Dla większości gatunków tworzywa DELRIN<sup>®</sup> zalecany zakres temperatury przetwórstwa wynosi 215 °C ± 5 °C\* (pomiaru dokonano pirometrem igłowym w roztopionym tworzywie). Niezbędna ilość ciepła do podgrzania i stopienia tworzywa DELRIN<sup>®</sup> będzie zapewniona przez ścinanie (poprzez obroty ślimaka) i oddziaływanie termiczne przez przewodzenie z rozgrzanego cylindra (transfer ciepła jest powolny z uwagi na izolacyjny charakter polimerów).

### Temperatura cylindra

Głównym parametrem mającym wpływ na rozkład temperatury w cylindrze jest czas przebywania (HUT) polimeru w układzie uplastyczniającym (aby obliczyć czas HUT, patrz strona 9).

Przy krótkim czasie HUT (poniżej 3 minut, przy krótkim czasie cyklu i wysokiej wydajności topnienia), może zająć konieczność wprowadzenia wyższych ustawień temperatur cylindra niż w normalnych warunkach. Przy długim czasie HUT (powyżej 5 minut, przy długim czasie cyklu i niskiej wydajności topnienia), można zastosować niższe ustawienia temperatur, szczególnie w tylnej strefie. W związku z tym, że uogólnienie nastawów temperatur cylindra jest skomplikowane, zaleca się rozpoczęcie pracy od płaskiego profilu i stopniowe wprowadzanie korekt w razie potrzeby. Wykres przedstawiony na Rys. 5.01 może być wykorzystany jako wskazówka do zadania początkowych nastawów temperatury.

\* Zalecana temperatura topnienia dla gatunków DELRIN<sup>®</sup> 100ST oraz DELRIN<sup>®</sup> 500T jest około 10 °C niższa.



Rys. 5.01 Profil temperatur stref cylindra w zależności od czasu przebywania tworzywa w cylindrze dla zalecanych temperatur topnienia. Zalecana temperatura dyszy dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> wynosi 190 °C.

### Uwagi:

1. Z uwagi na fakt, że zalecane temperatury topnienia dla tworzywa DELRIN<sup>®</sup> 100ST oraz DELRIN<sup>®</sup> 500T są o około 10 °C niższe, ustawienia temperatury dla poszczególnych stref powinny być niższe o 10 °C w stosunku do wartości pokazanych na Rys. 5.01.
2. W przypadku tworzywa DELRIN<sup>®</sup> nie ma potrzeby chłodzenia leja i w zasadzie nie powinno się tego stosować. Jak to zostało opisane w Rozdział 3, nadmierne schłodzenie tej strefy cylindra może być przyczyną powstawania osadu na ślimaku oraz czarnych plamek.
3. Dla małych wtryskarek oraz przy krótkim czasie przebywania tworzywa w cylindrze (HUT), wstępne ogrzanie granulatu (na przykład w podgrzewanym leju) może pomóc osiągnąć jednorodnie stopione tworzywo.

### Temperatura dyszy

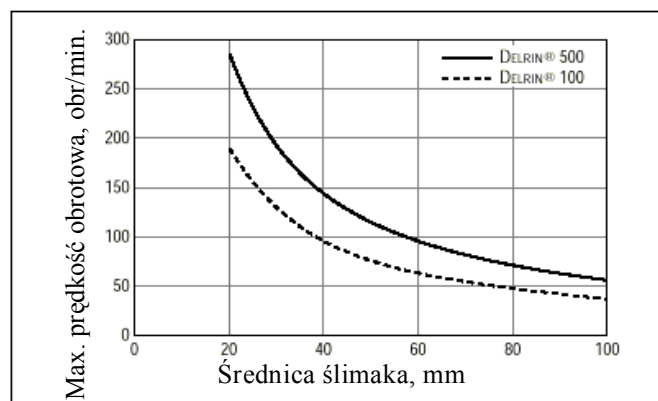
Temperatura dyszy jest dobierana w taki sposób, aby umożliwić kontrolę nad wyciekaniem i krzepnięciem tworzywa (patrz strona 12), ale jej wartość nigdy nie powinna przekraczać 190 °C, aby zapobiec rozkładowi tworzywa (przepływ laminarny oraz wysoka lepkość roztopionego polimeru powodują, że tworzywo styka się z metalem przez bardzo długi okres czasu). Jeżeli przy temperaturze 190 °C tworzywo w dyszy ulega krzepnięciu, należy wówczas poprawić izolację dyszy od tulei wtrysku lub zwiększyć jej średnicę wewnętrzną, jeżeli jest to możliwe do wykonania.

### Uwagi:

1. W praktyce najłatwiejszym sposobem ustawienia właściwej temperatury jest wykorzystanie zerwania wlewka. Po obrocie ślimaka układ uplastyczniania jest wycofywany do tyłu i wówczas dysza jest odizolowana od zimnej formy. Taki układ umożliwia ciepłu "przepływ" do końca dyszy bez konieczności ustawiania zbyt wysokiej temperatury, a tym samym zmniejsza ryzyko wyciekania z dyszy.
2. Gorący kanał. Tutaj można zastosować analogię. Gorący kanał jest dyszą przesyłającą roztopione tworzywo z układu uplastyczniania do gniazda detalu. Stąd zasady i zalecenia dotyczące dyszy mają również zastosowanie do gorących kanałów. W szczególności należy pamiętać, że laminarny przepływ oraz duża lepkość roztopionego polimeru powoduje w rezultacie bardzo długi czas kontaktu tworzywa z metalowymi ściankami, w związku z czym temperatura metalu w gorącym kanale nigdy nie może przekraczać 190 °C, aby zapobiec możliwości rozkładu polimeru.

### Prędkość obrotów ślimaka

Prędkość obrotów ślimaka odgrywa podobną rolę co ustawienia termiczne, ponieważ obrót ślimaka przyczynia się do ścinania tworzywa i tym samym dostarcza około połowy ciepła niezbędnego do stopienia i podgrzania tworzywa DELRIN<sup>®</sup> do zalecanego zakresu temperatury topnienia wynoszącego 215 °C ± 5 °C (205 °C ± 5 °C dla gatunków DELRIN<sup>®</sup> T oraz ST). Podobnie jak w przypadku wszystkich polimerów, tworzywo DELRIN<sup>®</sup> jest wrażliwe na ścinanie, w związku z czym zaleca się, aby maksymalna obwodowa prędkość ślimaka nie przekraczała 0,2-0,3 m/s. Na Rys. 5.02 pokazane zostały optymalne prędkości obrotów ślimaka dla gatunku tworzywa DELRIN<sup>®</sup> o dużym współczynniku lepkości (typ 100P) oraz dla gatunku tworzywa DELRIN<sup>®</sup> o niskim współczynniku lepkości (typy 500P oraz 1700P) w zależności od średnicy ślimaka.



Rys. 5.02 Maksymalna prędkość obrotów ślimaka jako funkcja średnicy ślimaka. Krzywa dla gatunku tworzywa DELRIN<sup>®</sup> 500 jest również ważna dla gatunków DELRIN<sup>®</sup> 900 i 1700.



## Ciśnienie spiętrzania

Ciśnienie spiętrzania jest również traktowane jako jedno z ustawień termicznych. Zwiększenie ciśnienia spiętrzania powoduje zwiększenie pracy wykonanej przez ślimak dla roztopienia tworzywa.

Zastosowanie ślimaka o odpowiedniej konstrukcji dla tworzyw krystalicznych, takich jak DELRIN<sup>®</sup>, powinno zapewnić energię konieczną do stopienia tworzywa DELRIN<sup>®</sup> i doprowadzenia go do zalecanej temperatury topnienia przy minimalnym ciśnieniu spiętrzania. Jedynie w przypadku konieczności stapiania tworzyw o wysokim współczynniku lepkości, jak na przykład DELRIN<sup>®</sup> 100, może być wymagane pewne ciśnienie spiętrzania w celu uniknięcia wstecznych obrotów ślimaka, co mogłoby doprowadzić do niestętej objętości wtrysku.

Zastosowanie ślimaka o niewłaściwej konstrukcji może wymagać dostarczenia pewnego ciśnienia spiętrzania, aby zwiększyć pracę ślimaka wykonywaną dla roztopienia tworzywa. Większe ciśnienie spiętrzania może być wykorzystane do wyeliminowania nie roztopionych cząstek oraz do poprawy wymieszania barwników przy stosowaniu koncentratów barwiących. Z drugiej jednak strony, zwiększanie ciśnienia spiętrzania wpływa na redukcję długości włókien szklanych oraz zmienia właściwości tworzyw z wypełniaczami, takich jak DELRIN<sup>®</sup> 570. Jeszcze bardziej istotny jest fakt, że zwiększenie ciśnienia spiętrzania zawsze prowadzi do zmniejszenia wydajności ślimaka, wydłużenia czasu cyklu, a tym samym do zmniejszenia wydajności pracy. Wzrost ciśnienia spiętrzania powoduje też zwiększenie ilości gromadzącego się na ślimaku osadu, a to z kolei prowadzi do zanieczyszczenia produkowanych detali i osłabienia ich parametrów.

W związku z powyższym ciśnieniem spiętrzania należy wykorzystywać tylko wtedy, gdy zwiększenie temperatury cylindra lub inne zmiany są nieskuteczne lub niemożliwe do wykonania.

W przypadku wszystkich tworzyw, zastosowanie ciśnienia spiętrzania wytwarza pewne ciśnienie na mieszanekę w przedniej części ślimaka. Aby zapewnić kontrolę nad wyciekaniem tworzywa na końcu obrotu ślimaka, wymagane jest pewne zasysanie wsteczne, którego wielkość powinna być utrzymywana na poziomie minimalnym.

## Temperatura formy

Najlepsza temperatura formy pod kątem długookresowych właściwości produkowanych detali, to temperatura nieznacznie niższa od temperatury krystalizacji tworzywa DELRIN<sup>®</sup>, na przykład 155°C. Taka temperatura umożliwi krystalizację polimeru w optymalnych warunkach oraz wyeliminuje wszelkie ryzyko związane z rekrytalizacją (skurczem poprodukcyjnym). Oczywiście ustawienie temperatury formy na takim poziomie jest niemożliwe z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ czas krystalizacji zostałby przedłużony prawie w nieskończoność w porównaniu z czasem cyklu.

W praktyce stosuje się niższą temperaturę formy, co prowadzi do krótszego czasu krystalizacji (HPT), a tym samym do krótszego czasu cyklu, mniejszego skurczu pierwotnego, ale większego skurczu wtórnego (szczególnie wtedy, gdy detal jest później wystawiony na działanie podwyższonej temperatury). Dlatego też trzeba znaleźć rozwiązanie kompromisowe w zależności od stosowanej temperatury form oraz wymaganej tolerancji wymiarowej produkowanego detalu pod kątem jego zarówno długo jak i krótkoterminowej eksploatacji.

W przypadku standardowych gatunków tworzyw DELRIN<sup>®</sup>, temperatura formy w zakresie 80-100°C jest dobrym kompromisem pod kątem normalnego zastosowania detali. Taka temperatura daje stosunkowo krótki czas krystalizacji, duży skurcz pierwotny i jednocześnie niewielki skurcz wtórny (patrz rozdział 7: „Uwarunkowania wymiarowe”). Wyższa temperatura formy prowadzi do większego skurczu pierwotnego, dłuższego czasu cyklu

, ale niższego skurczu wtórnego. Jest ona szczególnie zalecana przy produkcji detali o wysokiej precyzji, które są wykorzystywane w wysokiej temperaturze. Z kolei niższa temperatura formy prowadzi do osiągnięcia krótszych czasów cyklu, mniejszego skurczu pierwotnego, ale też do znacznie wyższego skurczu wtórnego, co jest przyczyną powstawania naprężeń i odkształceń.

Dla tworzyw wzmocnionych, takich jak DELRIN<sup>®</sup> 100ST oraz DELRIN<sup>®</sup> 500, dopuszczalne jest użycie niższej temperatury formy (50°C ± 10°C) bez zagrożenia osłabienia długoterminowych parametrów eksploatacyjnych detali.

**Uwaga 1:** Zawsze stosuje się określenia „temperatura formy”, ale ważnym parametrem jest temperatura powierzchni ścian gniazda. Przy operacjach szybkiego cyklu może zająć konieczność zastosowania chłodziwa formy o niższej temperaturze, aby utrzymać temperaturę powierzchni ścian gniazda formy w zalecanym zakresie. Dla bardzo krótkich cykli lub do chłodzenia kołków formujących otwory w wypradce, jak również do innych sekcji formy, które mają tendencję do nadmiernego rozgrzewania się, bardzo często stosuje się zimną wodę.

**Uwaga 2:** Chłodziwo: Najczęstszym typem stosowanym obecnie są zamknięte obwody chłodzące. Chłodziwa do obwodów zamkniętych muszą być odporne na zamarzanie, ciśnienie oraz podciśnienie. Nie mogą zostawiać osadu w obwodzie, ani też korodować kanałów chłodzących i rurek (rurki mogą być wykonane ze stali, miedzi, tworzywa sztucznego, gumy, itp.). Mamy tutaj do czynienia z sytuacją analogiczną do systemów chłodzenia silników samochodowych, stąd zaleca się wykorzystanie tych samych płynów (niskokrzepnących + inhibitor korozji), ale w mniejszym stężeniu. Początkowo wymiana cieplna jest mniej wydajna niż w przypadku zastosowania wody, co wynika z faktu, że płyn jest bardziej lepki z uwagi na lepkość glikolu (potrzebna jest większa energia do przepływu turbulentnego). Jednak przy dłuższym zastosowaniu płyn (podobny do tych stosowanych w samochodach) jest bardziej efektywnym rozwiązaniem (brak korozji, brak osadu, mniejsza korozja wynikająca z kawitacji).

W przypadku chłodziwa w otwartych kolumnach chłodzących trzeba zastosować obróbkę chemiczną, aby zapobiec rozwojowi organizmów mikrobiologicznych, które mogłyby powodować choroby oraz problemy z oddychaniem.

## Warunki przetwórstwa tworzyw DELRIN® - cykl formowania

### Wstęp

Jak zostało to już wspomniane w Rozdziale 2, fakt że tworzywo DELRIN® jest materiałem krystalicznym prowadzi do innego cyklu formowania niż w przypadku tworzyw amorficznych . Cykl przetwórstwa dla tworzywa DELRIN® składa się na ogół z następujących faz (Rys.503 ):

A = *Czas otwarcia formy* . Czas ten obejmuje czas otwarcia , czas wypychania wypraski oraz czas zamykania .

B = *Czas wypełniania lub czas wtrysku* . Roztopione tworzywo jest wprowadzone do formy w „dynamicznej fazie wypełniania” .

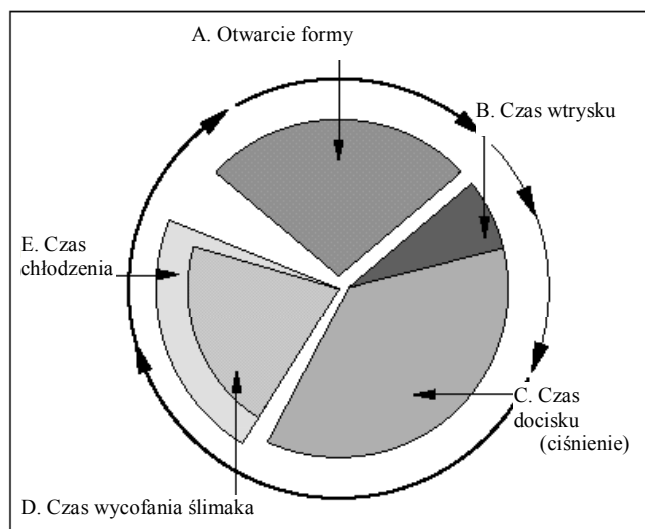
C = *Czas docisku* W trakcie tej fazy – „fazy upakowywania” tworzywo krzepnie pod ciśnieniem , podczas gdy w tym samym czasie do formy wprowadza się dodatkowe ilości tworzywa w celu zrekompensowania objętości skurczu zachodzącego w formie .

D= *Czas wycofania ślimaka* . Ślimak obracając się przygotowuje nową porcję roztopionego tworzywa do następnego wtrysku .

E = *Czas chłodzenia* . Z uwagi na fakt , że tworzywo ulega krystalizacji (jest zakrzepłe) i pod koniec czasu HPT jest gotowe do usunięcia z formy , nie ma potrzeby wprowadzania nadmiernego czasu chłodzenia ; stąd jedynym czasem chłodzenia jest czas wycofania ślimaka plus niewielki czasowy margines bezpieczeństwa .

Całkowity czas cyklu (OAC) dla tworzywa DELRIN® jest sumą poszczególnych czasów ustawionych dla danych czynności procesu przetwórstwa .

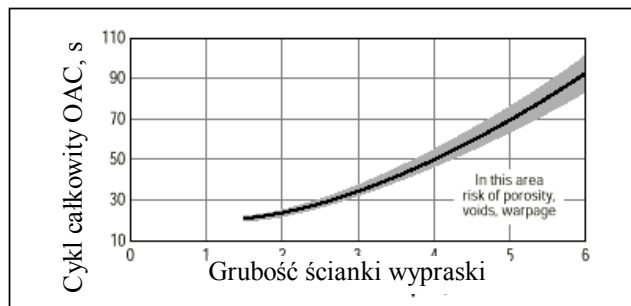
**Uwaga:** Powyższa klasyfikacja odzwierciedla terminologię przyjętą we Wspomaganej Komputerowo Optymalizacji Diagnostyki Formowania ( Computer Aided Moulding Diagnostic Optimization – CAMDO ) dla tworzywa DELRIN® . W wielu przypadkach suma czasu wypełniania (wtrysk) oraz czasu docisku (ciśnienie) jest określana jako SFT ( czas przesuwu ślimaka do przodu ) , co było często przytaczane w poprzednich materiałach dotyczących tworzywa DELRIN® .



Rys. 5.03 Cykl przetwórstwa dla tworzywa DELRIN® .

Wykres estymacji cyklu przedstawiony na Rys. 5.04 pokazuje zakres całkowitych czasów cykli , które zostały zastosowane do produkcji dobrych jakościowo wyprasek o różnej grubości z tworzywa DELRIN® . Jeżeli zastosowanym tworzywem jest zapewniający wysoką wydajność gatunek DELRIN® 1700 lub gdy wymagania

stawiane produktowi końcowemu są mniej drastyczne , wówczas rzeczywisty czas cyklu będzie zbliżony do dolnej granicy .



Rys. 5.04 Estymacja całkowitego czasu formowania dla wysokiej jakości detali z tworzywa DELRIN® .

### Faza napelniania

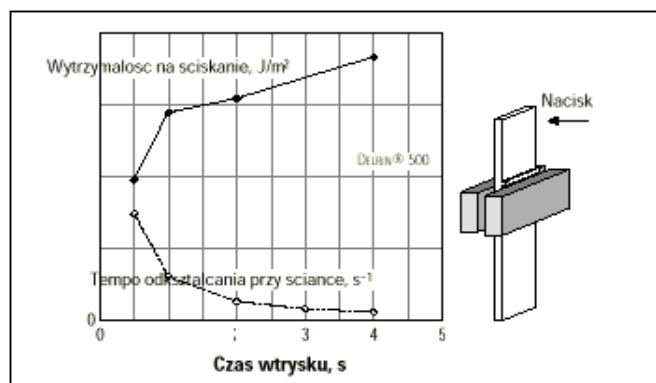
#### Czas wtrysku

Optymalne tempo wypełniania formy zależy od geometrii i grubości wypraski , przekroju kanałów doprowadzających oraz przekroju i lokalizacji przewęzek .

Jako ogólną zasadę można przyjąć , że tempo wypełniania równe 1 sekundzie na każdy mm grubości detalu jest dobrym punktem startowym do ustalenia właściwego tempa napelniania. Aspekty związane z wykończeniem powierzchni będą decydować o wprowadzeniu dalszych poprawek . Lepszy i bardziej jednorodny połysk powierzchni można osiągnąć poprzez zastosowanie wystarczająco szybkiego tempa wypełniania , które umożliwi wypełnianie gniazd zanim rozpocznie się krzepnięcie polimeru. Należy jednak zaznaczyć , że lokalne wady powierzchni, takie jak rozmazywanie lub wypłukiwanie , można bardzo często zredukować poprzez skrócenie początkowego tempa wypełniania .

Jeżeli dla konkretnego przypadku wymagana jest maksymalna wytrzymałość mechaniczna wypraski , należy właściwie sprawdzić ścinanie zastosowane na tworzywie , w kanałach doprowadzających oraz w wyprasce , aby zapewnić optymalne parametry przetwórstwa oraz charakterystykę wypraski .

Na Rys. 5.05 pokazano odporność na ściskanie wypraski o grubości 2 mm w zależności od ścinania w trakcie wypełniania formy . Jeżeli zachodzi taka konieczność , prosimy o skontaktowanie się z lokalnym przedstawicielem firmy DuPont i przeanalizowanie konkretnego przypadku .



Rys. 5.05 Tempo odkształcania przy ścinaniu na ścianie (1/s) oraz wytrzymałość na ściskanie ( $J/m^2$ ) jako funkcja tempa wypełniania . Dane uzyskano na bazie przedstawionej próbki o wymiarach 180x27mm o grubości 2 mm . Do zmierzenia wytrzymałości na uderzenie próbka została przymocowana poniżej żebra i była uderzana wahadłem .

**Uwaga:** Zminimalizowanie ścinania w przewężce może również odgrywać znaczącą rolę pod kątem osiągnięcia optymalnych własności wytrzymałościowych wypraski .

Przy nieodpowiednio dobranej konstrukcji przewężki (stożkowy , nadmiernie wydłużony ) ścinanie w przewężce może stać się ważnym czynnikiem ograniczającym parametry wytrzymałościowe detalu .

Przy optymalnie dobranej konstrukcji przewężki przedstawionej w rozdziale dotyczącym konstrukcji form (wymiary pozwalające na osiągnięcie optymalnego upakowania w trakcie krystalizacji , długość otworu wtryskowego <0,8 mm ) , w większości przypadków ścinanie w przewężce nie ma żadnego wpływu na własności wypraski . Analizę przepływu umożliwiającą sprawdzenie ścinania w przewężce powinno się przeprowadzać tylko w przypadku formowania detali o bardzo dużych wymiarach .

### Ciśnienie wtrysku

Powyższe określenie bardzo często prowadzi do nieporozumień.

Tak zwane „ciśnienie wtrysku” służy do poruszania ślimaka i wtrysnięcia tworzywa do gniazda formy . W trakcie tej dynamicznej fazy wypełniania , ciśnienie powstające w przedniej części ślimaka jest tylko równe spadkowi ciśnienia w formie na odcinku od dyszy do czoła przepływu . W samym czole przepływu nie ma żadnego ciśnienia w trakcie tej dynamicznej fazy wypełniania .

Zanim czoło przepływu osiągnie najdalszą przestrzeń gniazda (kiedy około 95% objętości formy jest wypełnionej) , wtryskarka powinna przełączyć się z napełniania dynamicznego (z regulowaną prędkością ) na napełnianie quasi-statyczne (regulowane przez ciśnienie docisku /„HOLD?”). Jest to punkt przełączenia V-P . Wówczas ciśnienie docisku będzie oddziaływać w całej formie w trakcie całej fazy upakowywania . W przypadku tworzyw krystalicznych należy uzupełnić tworzywo (około 14% dla tworzywa DELRIN®), aby zrekomensować krystalizację , co w efekcie powinno prowadzić do powolnego ruchu ślimaka do przodu w trakcie czasu docisku .

Przyjmując taką definicję ciśnienie wtrysku może być ustawione na dowolną wartość wymuszoną przez geometrię gniazda formy (włącznie z kanałami doprowadzającymi ) , pod warunkiem , że tempo wypełniania jest adekwatne dla parametrów detalu .

Jeżeli przełączanie V-P nie jest ustawione w sposób właściwy (brak przełączania lub przełączanie zbyt późne), inercja systemu spowoduje powstanie szczytowej wartości ciśnienia pod koniec wypełniania doprowadzając do naprężeń i wypływek . Z tego właśnie powodu w większości praktycznych przypadków , bezpieczniej jest ustawić punkt przełączania V-P w zależności od odległości niż w zależności od ciśnienia (co na ogół robi się w przypadku tworzyw amorficznych ) .

### Faza upakowywania

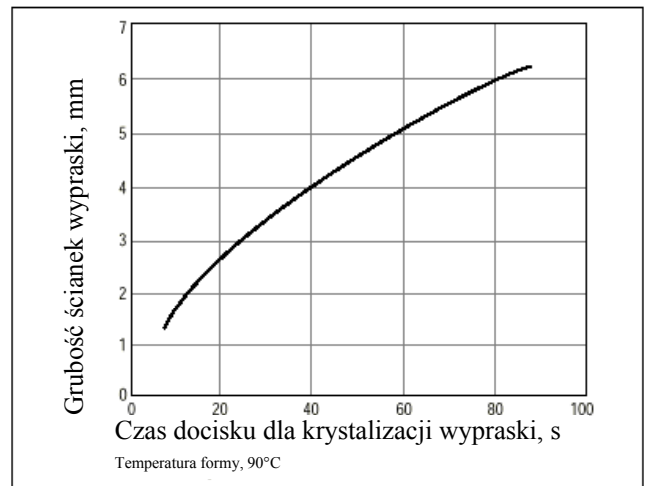
#### Czas czasu docisku(HPT)

Zalecany czas docisku dla tworzywa DELRIN® , to czas umożliwiający pełną krystalizację roztopionego polimeru w gniazdach formy .

W związku z tym , że proces krystalizacji (krzepnięcia) prowadzi do dużego spadku objętości (około 14% , patrz Rozdział 2 ) , w trakcie całego czasu docisku HPT należy wtrysnąć do gniazd odpowiednio więcej tworzywa . Prowadzi to do uwzględnienia specjalnych zasad przy konstruowaniu przewężek i kanałów doprowadzających w taki sposób , aby przewężka nie podlegała procesowi krzepnięcia zanim gniazdo nie zostanie właściwie wypełnione, co zostało szczegółowo omówione w Rozdziale 4.

Oczywiście czas docisku HPT jest funkcją grubości detalu .

Rys 5.06 pokazuje optymalny czas HPT dla tworzywa DELRIN®500 jako funkcja grubości detalu (dla zalecanego ciśnienia 85 MPa i zalecanej temperatury formy 90°C ) .



Rys 5.06 Czas docisku HPT w zależności od grubości ścianki wypraski z tworzywa DELRIN®500.

**Uwaga:** Dla tworzyw z serii X11, zwiększona krystalizacja prowadzi do skrócenia czasu HPT o 10%.

Aby sprawdzić efektywność czasu HPT pod kątem danej geometrii wypraski , stosowana tradycyjnie metoda polega na wykreśleniu masy wypraski w zależności od HPT. Maksymalna masa wypraski powinna odpowiadać optymalnemu czasowi HPT , który można odczytać z Rys. 5.06 dla grubości wypraski przy przewężce . W tym momencie wypraska jest już zakrzepła i nie można już dodać żadnej ilości tworzywa. Na Rys. 5.07 przedstawiono dla przykładu wpływ czasu docisku HPT na masę wypraski w postaci próbki testowej ISO o grubości 4 mm. Rys. 5.07 przedstawia także ewolucję skurcz detalu w zależności od HPT , co będzie szerzej omówione w następnym rozdziale dotyczącym „uwarunkowań wymiarowych” .



Rys. 5.07 Czas docisku HPT a masa wypraski i skurcz detalu dla tworzywa DELRIN®500.

Inna technika umożliwiająca określenie optymalnego czasu HPT została opisana w dodatku zamieszczonym na końcu niniejszego rozdziału .

Przy wszystkich powyższych rozważaniach dotyczących czasu docisku HPT oraz jego wpływu zakłada się , że zawór zwrotny działa poprawnie i stale utrzymuje warstwę roztopionego tworzywa przed ślimakiem , co zostało omówione w Rozdziale 3.

Zbyt krótki lub nieskuteczny czas docisku HPT prowadzi do większego niż zwykle skurczu. Poza tym należy liczyć się z możliwością wystąpienia dodatkowych efektów ubocznych w postaci pustych przestrzeni, porowatości, wypaczania, śladów zapadania (patrz rozdział dotyczący uwarunkowań wymiarowych).

### Ciśnienie docisku

Optymalny poziom ciśnienia docisku w celu osiągnięcia jednorodnej krystalizacji dla tworzywa DELRIN® mieści się w zakresie 60-110 MPa. Jeżeli z uwagi na szczególne uwarunkowania zostanie wykorzystane ciśnienie wyższe lub niższe od podanego, wówczas prowadzi to do obniżenia parametrów wytrzymałościowych produkowanego detalu. Poniższa tabela przedstawia zalecany zakres poziomu ciśnienia docisku dla różnych gatunków tworzywa DELRIN®.

Rodzaj tworzywa	Gatunek DELRIN®	Ciśnienie docisku
Duży współczynnik lepkości	100, 100P, 111P	90-110 MPa
Średni i mały współczynnik lepkości	500, 500P, 511P, 900P, 911P, 1700P	75-100 MPa
Modyfikowane	100 ST, 100T, 500T	60-80 MPa

Aby otrzymać jednorodną krystalizację, ciśnienie docisku powinno pozostać na niezmiennym poziomie do czasu, aż detal zostanie całkowicie upakowany (zakrzepły).

### Siła zamknięcia

Ten element nie przynależy w zasadzie do opisu cyklu formowania, ale z uwagi na fakt, że jest bezpośrednio związany z ciśnieniem docisku został omówiony w tej części.

Siła zamknięcia to siła wymagana do utrzymania formy w pozycji zamkniętej podczas fazy wypełniania oraz w trakcie czasu docisku. Siła ta jest iloczynem powierzchni gniazda (gniazd) łącznie z systemem kanałów doprowadzających oraz maksymalnego wewnętrznego ciśnienia docisku.

Powszechnie stosuje się ustawienie maksymalnej siły zamknięcia. Jednak w wielu przypadkach wykorzystywane maszyny mają o wiele większą siłę zamknięcia niż jest ona rzeczywiście potrzebna. W takim przypadku zaleca się zmniejszenie siły zamknięcia do rzeczywiście potrzebnego poziomu (patrz zamieszczony poniżej sposób obliczania). Dzięki temu zostanie wyeliminowane nadmierne ciśnienie na linii podziału (kompresja otworów wentylacyjnych, wgniecenia linii podziału, deformacja elementów formy), co prowadzi do przedłużenia żywotności formy i tańszej konserwacji formy.

Obliczenie maksymalnego ciśnienia wewnętrznego można przeprowadzić na podstawie analizy przepływu. Jednak dla detali o stosunku długości przepływu do grubości wynoszącym mniej niż 1000 do 1, zwykle ciśnienie wewnętrzne jest równe wartości ciśnienia docisku.

Do obliczenia można zastosować następujące wytyczne:

1. W przypadku detali wymagających optymalnych właściwości mechanicznych, właściwa siła zamknięcia musi być równa 1 Tona/cm<sup>2</sup> dla tworzywa DELRIN® 100 oraz 0,85 Tona/cm<sup>2</sup> dla pozostałych gatunków tworzywa DELRIN®.

Przykład obliczeń:

- Powierzchnia detalu (detali) łącznie z systemem kanałów doprowadzających = 115 cm<sup>2</sup>;
- Tworzywo = DELRIN® 500;
- Wymagana siła zamknięcia = 115 x 0,85- 98 Ton

2. W przypadku detali, które nie wymagają optymalnych właściwości mechanicznych, można produkować akceptowalne detale przy użyciu niższego rzeczywistego ciśnienia docisku (i mniejszej siły zamknięcia).

### Faza uplastyczniania

#### Czas powrotu ślimaka

Znając ustaloną ilość tworzyw do plastyfikacji przy kolejnym wtrysku, czas powrotu ślimaka zależy bezpośrednio od prędkości obrotowej ślimaka.

Kluczową sprawą jest sprawdzenie, czy przyjęta prędkość obrotów ślimaka jest na tyle mała, aby uniknąć nadmiernego ścinania tworzywa w cylindrze (co może prowadzić do rozkładu), ale z drugiej strony na tyle duża, aby zapewnić jednorodnie stopione tworzywo (bez obecności nie roztopionych cząsteczek). Sprawdzenia tego można dokonać przy pomocy dwóch praktycznych testów na wykrywanie obecności nie roztopionych i rozłożonych cząsteczek tworzywa, co zostało opisane na końcu Rozdziału 3.

**Uwaga:** Z uwagi na fakt, że tworzywo DELRIN® jest polimerem wysoce krystalicznym, jego wymagania termiczne różnią się od wymagań tworzyw amorficznych. Uzyskanie wydajnego tempa uplastyczniania wymaga zastosowania ślimaków o konstrukcji do stosowania z tworzywem DELRIN® oraz właściwej proporcji gramatury wtrysku do pojemności maszyny. Więcej szczegółów dotyczących wymiarowania ślimaków zostało przedstawionych w Rozdziale 3.

#### Czas chłodzenia

Czas chłodzenia jest istotnym parametrem przy wtrysku tworzyw amorficznych. Zupełnie inaczej wygląda sytuacja z tworzywami DELRIN® (patrz także Rozdział 2). Pod koniec właściwie dobranego czasu docisku HPT, detal z tworzywa DELRIN® jest skryształizowany i zakrzepły. Nie ma potrzeby stosowania jakiegokolwiek czasu chłodzenia a w zasadzie od razu można usunąć detal z formy. Czyli pod koniec czasu docisku HPT cykl może być zatrzymany, a detal natychmiast usunięty.

W praktyce detal jest usuwany z formy po czasie wycofania ślimaka, a więc czas chłodzenia (jak to zostało zdefiniowane na Rys.5.03) jest po prostu czasem wycofania ślimaka plus niewielki margines bezpieczeństwa. Wyjątkiem są przypadki wykorzystania wtryskarek z możliwością odcięcia dysz, w których usuwanie detalu może odbywać się w trakcie obrotów ślimaka. Teoretycznie daje to krótszy cykl, chociaż z drugiej strony mogą pojawić się pewne problemy natury praktycznej ograniczające wydajność (w celu uzyskania więcej szczegółów odnośnie odcinanych dysz, patrz Rozdział 3).

## Wtrysk z optymalną wydajnością

Uwarunkowania ekonomiczne wymuszają niższe koszty produkcji detali, co można osiągnąć poprzez wzrost jakości detali lub/i poprzez skrócenie całkowitego czasu cyklu. Zawarte poniżej informacje przedstawiają zalecenia dotyczące parametrów umożliwiających osiągnięcie optymalnych właściwości detali w perspektywie krótko i długoterminowej, a w efekcie do osiągnięcia optymalnego całkowitego czasu cyklu (OAC).

Jakakolwiek modyfikacja cyklu powinna być zawsze poprzedzona realistyczną oceną charakterystyki detalu w perspektywie krótko i długoterminowej. Zbytnie skrócenie czasu cyklu może doprowadzić do a) słabszej charakterystyki detali oraz innych problemów związanych z jakością (w szczególności ze skurczem, wypaczaniem oraz ze skurczem wtórnym), b) wykonywania produkcji w nie „najoptymalniejszej” strefie, co mogłoby doprowadzić do niższej jakości detali oraz wyższych kosztów ich produkcji.

Przed próbą skrócenia czasu cyklu OAC, należy wziąć pod uwagę następujące elementy :

- Być może konstrukcja wypraski nie jest optymalna , tzn. wypraska może być za gruba. Zmiany konstrukcyjne (dodanie uźebrowania, zastosowanie kołków) są kosztowne, ale mogą umożliwić znaczną redukcję czasu cyklu.
- Być może konstrukcja wtryskarki nie jest optymalna. W przypadku tworzywa DELRIN® czas chłodzenia może być zminimalizowany do czasu wymaganego do właściwego wycofania ślimaka, w czym może pomóc właściwe dobranie rozmiaru i konstrukcji ślimaka.
- Być może napełnianie wyprasek z kanałów doprowadzających nie jest właściwe.

Przy podejmowaniu decyzji o zmniejszeniu czasu cyklu OAC, można wykonać następujące czynności :

- Z badać oczywiste wąskie gardła cyklu.
- Zminimalizować skok dla otwartej formy.
- Zminimalizować czas otwarcia formy poprzez zwiększenie prędkości otwierania i zamykania . W przypadku formy 3 płytowej można zastosować zderzaki lub sprężyny zapobiegające przed uderzeniem płyty pływającej , bez wpływu na jakość wypraski.
- Zminimalizować czas pomiędzy zatrzymaniem ślimaka a otwarciem formy . Bez wpływu na jakość detalu.
- Zminimalizować czas wypełniania (szybszy wtrysk). Może to w rezultacie spowodować wzrost wzrost scinania oraz zmniejszyć wytrzymałość linii zgrzewu . Może zająć konieczność zastosowania większej dyszy oraz większych kanałów doprowadzających, jak również ulepszonych kanałów odpowietrzających .
- Skrócić czas wycofania ślimaka :
  1. Należy zastosować większy ślimak i ograniczyć skok do 1-2 średnic ślimaka – bez wpływu na jakość detali.
  2. Należy zastosować ślimak o optymalnej konstrukcji dla tworzywa DELRIN® (ślimak do polimerów krystalicznych z odpowiednią głębokością strefy dozowania oraz z odpowiednią głowicą mieszającą). Zapewni to jednorodne stopienie tworzywa nawet przy dużej prędkości obrotowej ślimaka, stąd nie ma wpływu na jakość wypraski. Zastosowanie większych obrotów ślimaka dla ślimaka przeznaczonego do ogólnego zastosowania zmniejszyłoby czas wycofywania ślimaka, ale towarzyszyłoby temu ryzyko gorszej jakości roztopienia tworzyw oraz wady wyprasek .

**Uwaga:** W związku z tym, że nie ma potrzeby chłodzenia , próbowano zastosować dyszy z odcięciem (dzięki czemu ślimak może się obracać przy otwartej formie). Niestety , zaobserwowano liczne problemy związane ze zużyciem, zanieczyszczeniem, plamy wynikające z odcięcia i w rezultacie nie udało się znaleźć żadnego satysfakcjonującego rozwiązania tego problemu .

- Zmniejszyć czas docisku. Przy zastosowaniu czasu docisku krótszego niż optymalny HPT (czas docisku) można zaobserwować większy skurcz wypraski oraz zniekształcenia prowadzące do wypaczania. W centralnej części wypraski mogą

powstawać nie wypełnione przestrzenie prowadząc do osłabienia własności mechanicznych, w związku z czym kontrola jakości powinna być przeprowadzona na większej liczbie wyprasek. Jeżeli zostanie obniżona temperatura formy jako próba kompensacji krótszego czasu HPT, doprowadzi to do zmniejszenia skurczu pierwotnego , ale jednocześnie spowoduje bardzo duży skurcz wtórny oraz wypaczania .

## Standardowe warunki przetwórstw dla próbek testowych wg ISO

Tabela 5.01 przedstawia standardowe parametry procesu wtrysku dla tworzywa DELRIN® przy produkcji próbek testowych ISO 294-I. Dane te mogą być pomocne przy ustalaniu parametrów przetwarzania tworzywa acetalowego DELRIN®. Należy jednak podkreślić, że dla detali o różnych kształtach i wymiarach parametry te powinny być optymalizowane w oparciu o informacje przedstawione na stronie 30 .

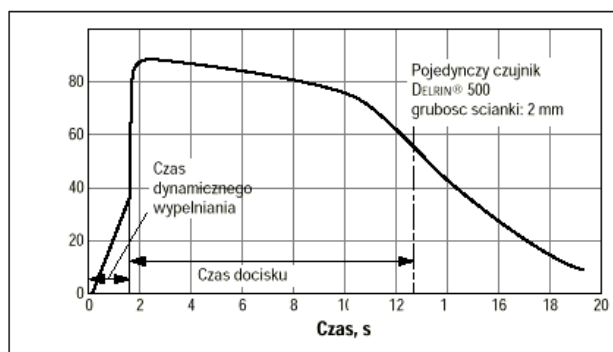
## Załącznik: Określanie czasu docisku poprzez pomiar ciśnienia w gnieździe

Technika ta została opracowana w ostatnich latach , szczególnie dla tworzyw amorficznych. Głównym celem było zoptymalizowanie sterowania profilem ciśnienia docisku, aby zredukować naprężenia wewnętrzne, które były częstą przyczyną wad detali formowanych z tworzyw amorficznych.

Mimo, że problemy związane z naprężeniami wewnętrznymi nie odnoszą się do polimerów krystalicznych takich jak DELRIN®, technika ta okazała się być efektywną metodą ustalenia czasu krystalizacji (HPT) wypraski formowanej przy użyciu konkretnego gatunku polimeru przy konkretnych parametrach procesu przetwórstwa.

DuPont wprowadził wszechstronny system gromadzenia danych. System ten składa się z komputera wyposażonego w kartę gromadzenia danych oraz z oprogramowania pod nazwą CAVAN (CAVity Analysis- Analiza Gniazd). Przy jego pomocy można odczytywać , wyświetlać i analizować wszystkie sygnały analogowe (np. prędkość wtrysku, ciśnienie hydrauliczne, itp. ). System dokonuje pomiaru czasu krystalizacji w każdym cyklu z dokładnością do 0,1 s w zależności od miejsca lokalizacji czujnika.

W celu określenia czasu krystalizacji wypraski wykonanej z tworzywa DELRIN® wystarczy zastosować pojedynczy czujnik ciśnienia umieszczony w pobliżu gniazda. Pomiar dokonywany jest w trakcie pojedynczego cyklu formowania na podstawie analizy zmian ciśnienia w trakcie fazy upakowywania. Na Rys. 5.08 pokazano typową krzywą CAVAN , na podstawie której można określić czas docisku (HPT) dla wypraski o grubości 2mm wykonywanej z tworzywa DELRIN®.



Rys. 5.08 Profil ciśnienia w gnieździe mierzone w trakcie napełniania i upakowywania (1 czujnik) DELRIN® 500, próbka o grubości 2 mm.

Tabela 5.01 Warunki przetwórstwa wg ISO 294 (próbka typu A)

Gatunek tworzywa	DELRIN® 100,111P	DELRIN® 500,511P, 900, 911P	DELRIN® 100ST	DELRIN® 500T
Charakterystyka	Homopolimer poliacetalowy o dużym współczynniku lepkości	Homopolimer poliacetalowy o średnim i małym współczynniku lepkości	Bardzo odporny homopolimer acetalowy o dużym współczynniku lepkości	Wzmocniony homopolimer acetalowy o średnim współczynniku lepkości
Obróbka wstępna:				
Poziom wilgotności przy przetwarzaniu	<0,2%	<0,2%	<0,05%	<0,05%
Temperatura suszenia (°C)	80	80	80	80
Czas suszenia (godz.)	2	2	4	4
Parametry ogólne :				
Typ ślimaka	Ślimak Hc	Ślimak Hc	Ślimak Hc	Ślimak Hc
Maksymalna prędkość styczna ślimaka	0,2 m/s	0,3 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s
Temperatura topnienia (°C)	215±5	215±5	205±5	205±5
Temperatura formy (°C)	90±10	90±10	50±10	50±10
Ciśnienie docisku (MPa)	90-110	75-100	60-80	60-80
Ciśnienie sprężania (MPa)	<1,0	<0,25	<1,0	<0,25
Parametry :				
Czas wtrysku (s)	1-5	0,5-2	0-5	0,5-2
Prędkość przepływu czoła (mm/s)	40-200	100-400	40-200	100-400
Czas docisku (HPT) (s)	35-45	35-45	25-35	25-35
Czas cyklu (s)	40-60	40-60	35-50	35-50
Kondycjonowanie	24h w temp. 23±2°C i przy wilgotności właściwej 50 ±5%	24h w temp. 23±2°C i przy wilgotności właściwej 50 ±5%	24h w temp. 23±2°C i przy wilgotności właściwej 50 ±5%	24h w temp. 23±2°C i przy wilgotności właściwej 50 ±5%

## 6. Uwarunkowania wymiarowe

Tworzywo DELRIN® w porównaniu z innymi polimerami charakteryzują się dobrą stabilnością wymiarową w szerokim zakresie temperatur oraz w obecności wilgoci, smarów lub rozpuszczalników. Znajduje ono szerokie zastosowanie w przemyśle do produkcji precyzyjnych skrzynek przekładniowych, łożysk, obudów oraz podobnych urządzeń, ponieważ charakteryzują się one niespotykaną kombinacją stabilności wymiarowej z innymi własnościami, takimi jak odporność na rozciąganie. Jednak tak jak w przypadku wszystkich tworzyw konstrukcyjnych, istnieją pewne czynniki, które mają wpływ na stabilność wymiarową tworzywa DELRIN® i w związku z tym muszą być one wzięte pod uwagę wtedy, gdy wymagane są niewielkie tolerancje.

Wymiary formowanego detalu są określone przede wszystkim przez wymiary gniazda a w drugiej mierze poprzez te wszystkie zmienne, które mają wpływ na upakowanie tworzywa oraz na jego krystalizację (np. ciśnienie docisku HPT, temperatura formy). Rzeczą oczywistą może wydać się fakt wspomnienia, że wymiary gniazda są głównym czynnikiem kształtującym wymiary detalu, ale doświadczenie uczy, że problemy związane z wymiarowaniem można często wyeliminować poprzez zmiany w procesie przetwórstwa, chociaż na ogół w ograniczonym zakresie. Izotropiczne problemy wymiarowe mogą być w zasadzie skorygowane poprzez zmiany wartości ciśnienia docisku.

W najczęstszych przypadkach, kiedy mamy do czynienia z niewielką liczbą wymiarów nie mieszczących się w specyfikacji technicznej, próby ich korekcy za pomocą parametrów przetwórstwa prowadzą na ogół do znacznego ograniczenia zakresu procesu przetwórstwa, a tym samym zwiększają ryzyko odpadów.

Skurcz pierwotny i wtórny jest naturalnym następstwem procesu przetwórstwa. Mają one wpływ na tolerancje uzyskiwane przy formowaniu detali. W niniejszym rozdziale zostały przedstawione dane dotyczące tego rodzaju wpływu.

Kolejnymi przyczynami zmian wymiarowych detalu wytwarzanego z tworzywa DELRIN® mogą być zmiany temperatury lub warunków otoczenia. Zmiany odwracalne powstają z powodu rozszerzania lub kurczenia termicznego oraz z powodu wchłaniania wody lub innych rozpuszczalników. Te uwarunkowania zostały szerzej omówione w dalszej części w rozdziale zatytułowanym „Zmiany środowiskowe”.

Z nieodwracalnymi zmianami wymiarów mamy do czynienia wtedy, gdy łańcuch polimeru zakrzepły w niestabilnych warunkach przechodzi w stan bardziej stabilny. Jako przykład mogą tutaj posłużyć detale kształtowane w formach o niskiej temperaturze, a które zostały wystawione na oddziaływanie podwyższonej temperatury. Tego rodzaju zmiany zostały szerzej omówione w rozdziałach „Skurcz wtórny” oraz „Odprężanie”.

### Skurcz pierwotny

Skurcz pierwotny detalu to skurcz zachodzący w ciągu 24 godzin od zakończenia przetwórstwa. Jest on zdefiniowany jako różnica pomiędzy wymiarami gniazda a rzeczywistymi wymiarami detalu zmierzonymi w temperaturze pokojowej.

Tabela 6.02

Parametr	Wpływ na skurcz	Uwagi
Czas docisku (HPT)	↔	Do optymalnej wartości HPT, potem brak wpływu
Ciśnienie docisku	↔	
Temperatura formy (gniazda)	↗	Ale skurcz wtórny ↘
Grubość detalu	↔ lub ↘	Jeżeli wszystkie ustawienia są optymalne
Szerokość przewężki	↘	Do optymalnej szerokości, potem brak wpływu
Temperatura topnienia	↔	Jeżeli temperatura topnienia jest utrzymywana na stałym poziomie, a czas HPT jest zoptymalizowany

Tabela 6.02 Kluczowe parametry mające wpływ na skurcz detalu. Symbol ↗ wzrost skurczu wraz ze wzrostem wartości parametru, natomiast symbol ↘ oznacza zależność przeciwną. Symbol ↔ oznacza brak wpływu na skurcz przy założeniu, że spełnione są warunki wymienione w kolumnie „Uwagi”.

Wynika to z objętości właściwej tworzywa DELRIN® w temperaturze krystalizacji oraz jego objętości właściwej w temperaturze pokojowej (patrz Rozdział 2, wykres PVT).

Typowy skurcz wypraski dla tworzywa DELRIN® mieści się w granicach 1,8 a 2,2%, z wyjątkiem gatunków o podwyższonej wytrzymałości oraz zawierających włókna szklane (DELRIN® 100ST, 500 AF, 570 oraz 577), które charakteryzują się mniejszym skurczem. W tabeli 6.01 zebrane zostały średnie wartości skurczu pierwotnego dla detali o grubości 4mm formowanych w zalecanych warunkach. Przedstawione wartości należy traktować jedynie jako przybliżony wskaźnik z uwagi na fakt, że rzeczywisty skurcz wypraski zależy od jej konstrukcji oraz od warunków przetwórstwa, co zostało opisane bardziej szczegółowo poniżej.

Tabela 6.01 Średni skurcz wyprasek dla różnych gatunków tworzywa DELRIN®

Gatunek DELRIN®	Średni skurcz detalu (%)	
	Wzdłużny (±0.2%)	Poprzeczny (±0.2%)
100, 100 P	2,1	1,9
500, 500 P	2,1	2,0
511 P, 911 P	1,9	1,8
900 P	2,1	2,0
1700 P	1,9	1,8
Barwione*	1,8-2,1	1,7-2,0
500 T	1,8	1,7
100 ST	1,3	1,4
500 AF	2,1	1,5
500 CL	1,9	1,9
570, 577	1,2	2,1

\* w zależności od pigmentów

### Czynniki wpływające na skurcz pierwotny

Skurcz pierwotny wypraski jest uzależniony od czynników mających wpływ na krystalizację tworzywa DELRIN®. Do czynników tych zalicza się:

- Ciśnienie docisku;
- Temperaturę formy;
- Grubość detalu;
- Wymiary przewężki.

W tabeli 6.02 zestawione zostały wpływy tych parametrów na skurcz pierwotny. Bardziej szczegółowy opis zamieszczono poniżej.

Skurcz pierwotny jest ponadto bardzo mocno uzależniony od geometrii detalu oraz od charakterystyki przepływu tworzywa. W naszym laboratorium przeprowadzono doświadczenia z próbkami o wymiarach 180x27 mm i grubości od 1,5 do 6 mm. Skurcz był

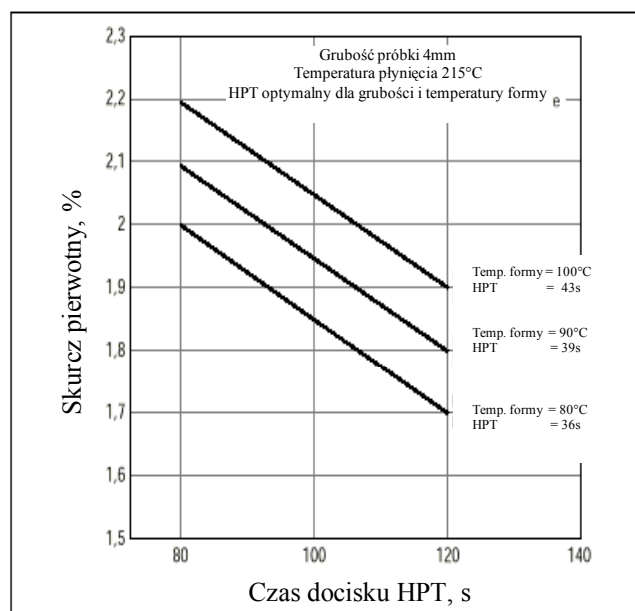
mierzony w czterech punktach : w pobliżu i daleko od przewężki oraz równolegle i prostopadłe do przepływu. Dla większości gatunków tworzywa DELRIN® zaobserwowano, że skurcz jest większy dalej od przewężki niż w jej pobliżu (na ogół o 0,1-0,3%) oraz , że skurcz w kierunku przepływu jest o około 0,1% większy niż w kierunku prostopadłym do przepływu.

### Ciśnienie docisku

Ciśnienie wtrysku spełnia dwie funkcje w procesie przetwórstwa :

1. Przenosi roztopiony polimer z wtryskarki do formy. To „ciśnienie wtrysku wypełniającego” jest niezbędne jedynie do pokonania oporu przy przepływie polimeru z wtryskarki do gniazda. Zwykle jest to proces zachodzący przy dużej szybkości (dynamiczna faza pracy ślimaka).
2. Reguluje proces upakowywania i krystalizacji. Ciśnienie docisku wypycha więcej tworzywa do gniazda w celu zrekompensowania redukcji objętości polimeru mającej miejsce przy jego krystalizacji. Jest to proces zachodzący przy niewielkiej prędkości (powolny ruch ślimaka). Faza ta ma większe znaczenie dla stabilności wymiarowej, ponieważ pomaga ona utrzymać jednorodny i stopniowy proces krystalizacji. Jeżeli wartość ciśnienia docisku jest niższa , wówczas do gniazda zostanie upakowana mniejsza ilość tworzywa i w konsekwencji powstanie większy skurcz. Zostało to zilustrowane na Rys. 6.01 dla trzech temperatur formy.

Z uwagi na fakt, że ciśnienie docisku jest w zasadzie parametrem niezależnym, mającym stosunkowo niewielki wpływ odwrotny, zmiany ciśnienia docisku w niewielkim zakresie można zastosować do precyzyjnego ustalenia wymiarów detalu.



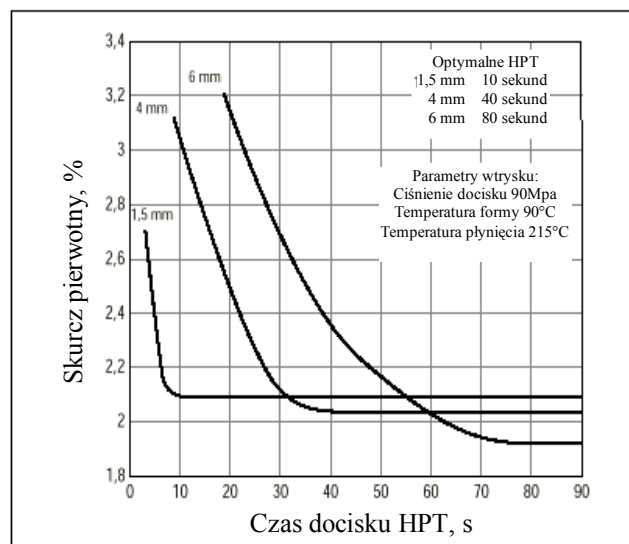
Rys. 6.01 Wpływ ciśnienia docisku na skurcz detalu przy trzech temperaturach formy dla tworzywa DELRIN® 500. Ciśnienie docisku można wykorzystać do drobnej korekty wymiarów detalu, ponieważ parametr ten ma niewielki wpływ na skurcz wtórny.

Należy zwrócić uwagę, że ciśnienie docisku powinno być stałe w ciągu całego czasu upakowywania.

### Czas docisku (HPT)

Czas docisku to czas, w czasie którego utrzymywane jest ciśnienie. HPT odgrywa istotne znaczenie dla wartości skurczu oraz jego jednorodności w zakresie całego detalu.

Rys. 6.02 przedstawia wpływ HPT na skurcz detalu wykonanego z tworzywa DELRIN®.



Rys. 6.02 Wpływ czasu docisku na skurcz detalu wykonanego z tworzywa DELRIN® 500 P.

Jeżeli HPT jest krótszy od optymalnej wartości wymaganej dla konkretnego detalu (co zostało określone w Rozdziale 5), proces upakowywania zostanie przerwany przed jego zakończeniem i w rezultacie skurcz pierwotny jest większy niż jego optymalna wartość . Dodatkowe efekty uboczne krótszego czasu docisku HPT to porowatość, ubytki, wypaczenia, gorsze własności mechaniczne.

Z drugiej strony jakiegokolwiek wydłużenia czasu docisku HPT powyżej jego wartości optymalnej nie będzie miało żadnego wpływu na skurcz detalu, ponieważ detal (oraz przewężka) są już w stanie stałym.

### Temperatura formy

Temperatura formy oddziałuje na skurcz poprzez wpływ na tempo chłodzenia oraz temperaturę krystalizacji roztopionego polimeru. Wpływ temperatury formy na skurcz został również przedstawiony na Rys. 6.01 .

Jeżeli temperatura formy jest wysoka, polimer krystalizuje powoli. W takich warunkach mamy do czynienia z dużym skurczem detalu, ale z uwagi na fakt, że krystalizacja jest pełniejsza, można oczekiwać lepszej długoterminowej stabilności wymiarowej formowanych detali (mniejszy skurcz wtórny).

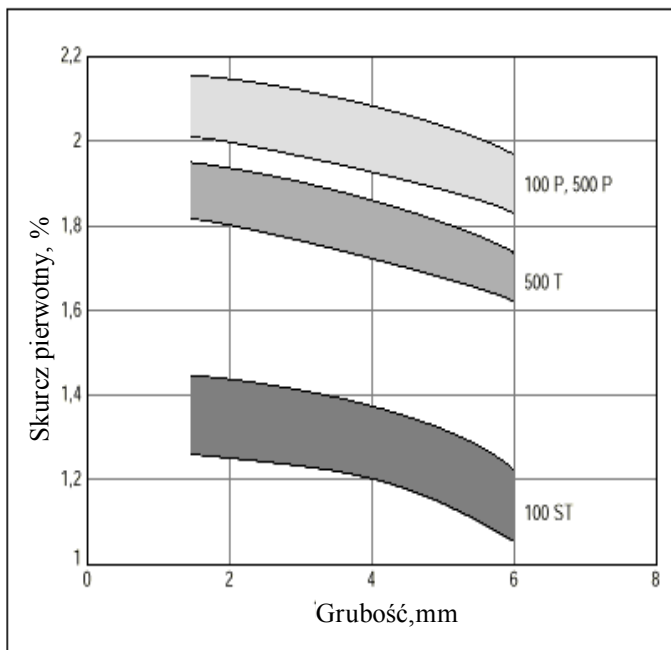
Z drugiej strony niższa temperatura formy powoduje szybsze schładzanie polimeru. Daje to w rezultacie mniejszy skurcz pierwotny i dużą wytrzymałość mechaniczną. Jednak w dłuższym okresie czasu większe zmiany wymiarów prowadzą do narastania naprężeń wewnętrznych, szczególnie wtedy, gdy detal w trakcie swojego zastosowania końcowego jest wystawiony na działanie temperatur przewyższających temperaturę formy, przy której detal był formowany.

### Grubość detalu

Jak to zostało pokazane na Rys.6.02 dla tworzywa DELRIN® 500, grubość detalu ma niewielki wpływ na jego skurcz, pod warunkiem, że rozmiary przewężki oraz czas docisku zostały dobrane odpowiednio dla każdego detalu . Na Rys. 6.03 przedstawiono skurcz różnych gatunków tworzywa DELRIN® w



zależności od grubości detalu , co było mierzone przy właściwym czasie HPT . Należy podkreślić , że dla osiągnięcia optymalnej wytrzymałości temperatura formy została określona na 90°C dla gatunków standardowych i 50°C dla gatunków wzmocnionych



(bez spowodowania wysokiego skurczu wtórnego) .

Rys. 6.03 Średni skurcz pierwotny w zależności od grubości dla różnych gatunków tworzywa DELRIN®.

W przypadku detali o jednakowej grubości ścianek , skurcz będzie równieź jednorodny . Natomiast dla detali o zmiennych grubościach ścianek , skurcz będzie prawie jednorodny , jeżeli tylko wtrysk następuje w najgrubszą część produkowanego detalu przewężka jest prawidłowo zwymiarowana , a czas docisku jest równy bądź dłuższy niż czas krzepnięcia przewężki . Jeżeli te warunki nie zostaną spełnione , wówczas skurcz będzie największy w najgrubszych fragmentach detalu z możliwością wystąpienia pustek , wypaczeń oraz osłabienia własności mechanicznych .

#### Wymiary przewężki

W celu zapewnienia właściwego upakowania detalu wymagane są odpowiednie wymiary przewężki (patrz Rozdział 4) .

Jeżeli przekrój przewężki jest mniejszy od wartości optymalnej , nastąpi wzrost skurczu wypraski spowodowany przedczesną krystalizacją tworzyw w przewężce. Taka sytuacja jest odpowiednikiem krótszego czasu docisku , a przybliżony wpływ na skurcz można zaobserwować na Rys. 6.02. W takim zakresie skurcz wypraski nie jest stabilny i bardzo trudny do kontroli . Wynikające z tego problemy z wypaczeniem mogą nawet doprowadzić do trudności z wykonaniem pomiarów niektórych wymiarów wypraski .

#### Temperatura stopu

Temperatura stopu ma wpływ na skurcz detalu . Jednak z uwagi na wąski zakres temperatury stopu wymaganej do utrzymania stałej jakości formowanych detali , wpływ ten jest ograniczony . W konsekwencji , temperatura stopu nie powinno zaliczać się do zmiennych mogących zmieniać skurcz detalu .

#### Skurcz dla tworzyw z wypełniaczami

Skurcz detalu wykonanego z mieszanki zawierającej wypełniacze włókniste , na przykład tworzywa DELRIN® 570 (włókno szklane) oraz DELRIN® 500AF (TEFLON®), jest trudniejsza do przewidzenia z uwagi na efekt związany z orientacją włókien . Skurcz w kierunku przepływu jest znacznie inny od skurczu w kierunku prostopadłym do przepływu (patrz Tabela 6.01) .

Uogólniając skurcz detalu dla tworzywa DELRIN® 500 AF w kierunku przepływu jest podobny do skurczu dla tworzywa DELRIN® 500 . Jednak skurcz detalu w kierunku poprzecznym wynosi około 50 % skurczu dla tworzywa DELRIN® 500 .

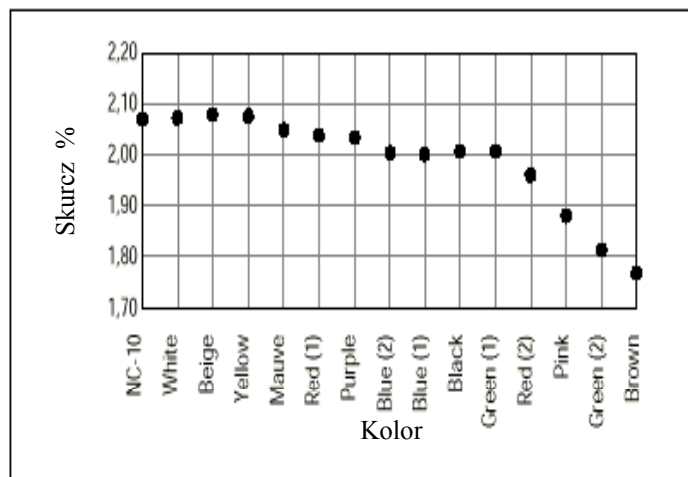
Natomiast skurcz detalu dla tworzywa DELRIN® 570 w kierunku przepływu jest o około połowę mniejszy od tego samego skurczu dla tworzywa DELRIN® 500 . W kierunku poprzecznym , skurcz detalu z tworzywa DELRIN® 750 jest zbliżony do wartości skurczu dla tworzywa DELRIN® 500 .

#### Wpływ pigmentów

Obecność w roztopionej mieszance pigmentów lub tworzywa pochodzącego z przemiału może mieć wpływ na krystalizację i w konsekwencji na skurcz pierwotny .

W celu ustalenia wpływu różnych typów pigmentów na skurcz detalu wykonanego z tworzywa DELRIN® przeprowadzone zostały szczegółowe badania . Wydaje się , jak widać to na Rys.6.04, że systemy pigmentów dające ten sam kolor tworzywa mogą mieć różny wpływ na skurcz detalu oraz na jego wymiary .

**Uwaga:** Wspomniane badania zostały przeprowadzone na standardowych próbkach oraz w typowych warunkach procesu przetwórstwa . Pokazanych poniżej wartości skurczu nie należy przyjmować za obowiązujące dla wszystkich detali o różnej geometrii i/lub przetwarzanych w różnych warunkach przetwórstwa .



Rys.6.04 Wpływ wybranych pigmentów na skurcz detalu wykonanego z tworzywa DELRIN® 500 grubość detalu 2 mm.

#### Skurcz wtórny

Skurcz wtórny jest zdefiniowany jako skurcz zachodzący w detalu w czasie większym niż 24 godziny od zakończenia formowania . Jest to konsekwencją ciągłej krystalizacji oraz uwalniania naprężeń powstałych podczas przetwórstwa, dzięki czemu tworzywo przechodzi w bardziej stabilny stan. Skurcz wtórny jest spowodowany tym, że temperatura zeszklenia tworzywa DELRIN® jest znacznie niższa od temperatury pokojowej.

Skurcz wtórny detali wykonanych z tworzywa DELRIN® można oszacować na bazie Rys. 6.05.

Detale uformowane w zalecanej temperaturze formy (90°C) lub w wyższej będą charakteryzować się niskim skurczem wtórnym, co gwarantuje dobrą stabilność wymiarową przez cały okres wykorzystywania detali.

Natomiast detale formowane w formach o niskiej temperaturze (<80°C) będą wykazywać większy skurcz wtórny z uwagi na fakt, że szybkie schłodzenie tworzywa DELRIN® pozostawia go w niestabilnym stanie krystalizacji, a to powoduje znaczną rekrytalizację. Jeżeli później takie detale z tworzywa DELRIN® zostaną poddane działaniu wysokich temperatur, następująca rekrytalizacja powoduje znaczny i szybki skurcz wtórny.

#### Uwagi:

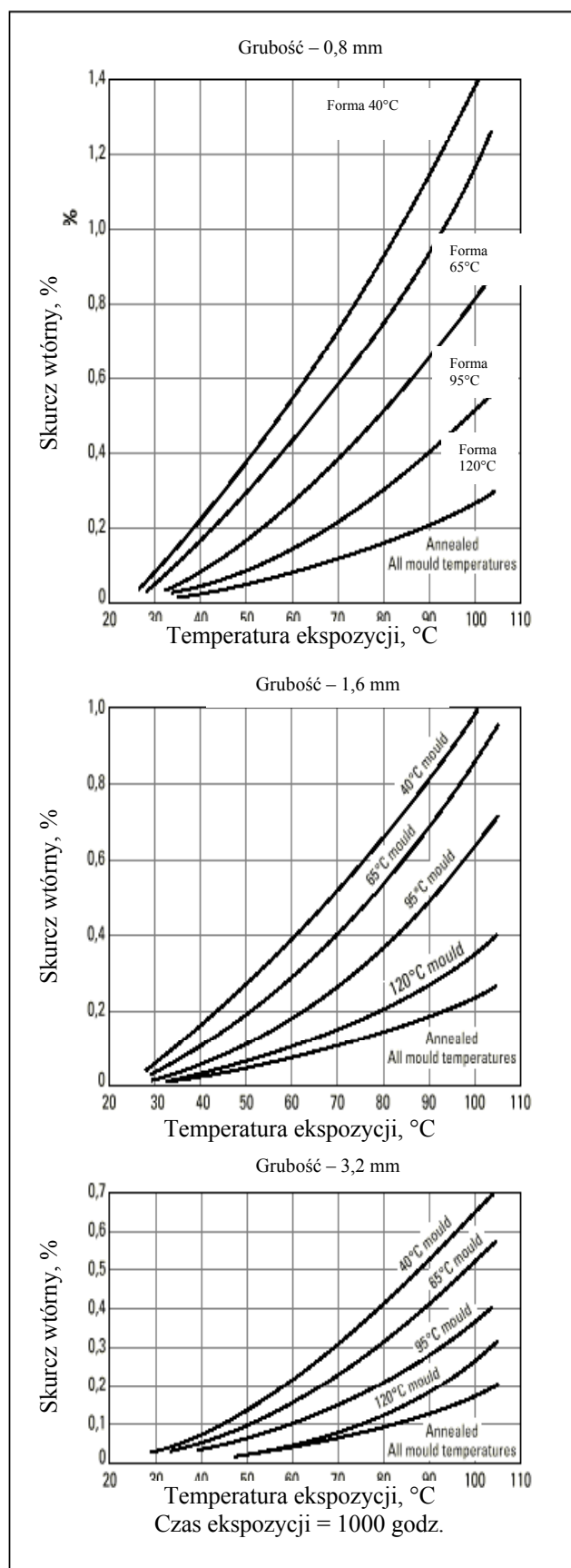
1. W przypadku detali wymagających ścisłej tolerancji oraz poddawanych działaniu wysokich temperatur przez dłuższy okres czasu, zdecydowanie zaleca się zastosowanie wysokiej temperatury formy (do 120°C). Daje to bardziej efektywne rozwiązanie niż wyżarzanie detalu uformowanego w formie o niskiej temperaturze.
2. Jeżeli detal jest poddawany oddziaływaniu średnich temperatur, wówczas dobrą stateczność wymiarową oraz odpowiednie parametry detalu można osiągnąć przy temperaturze formy wynoszącej 90°C.

### Formowanie wyprasek z zapraskami

Prawie wszystkie problemy związane z formowaniem zaprasek są związane ze skurczem wokół zapraski, skurczem pierwotnym oraz ze skurczem wtórnym. Aby zminimalizować całkowity skurcz należy uwzględnić następujące sprawy :

- Należy zastosować wysoką temperaturę formy (90°C lub wyższą), aby zminimalizować całkowity skurcz (suma skurczu pierwotnego oraz wtórnego). Przy niższych temperaturach formy skurcz pierwotny jest rzeczywiście mniejszy, ale znacznie większy jest skurcz wtórny.
- Optymalny czas docisku dla danej grubości detalu, aby zminimalizować skurcz pierwotny. Wraz ze skróceniem czasu HPT skurcz wzrasta w sposób drastyczny (patrz Rys. 6.02).
- Zapraski powinny być ogrzane do tej samej temperatury co temperatura formy. Jest to szczególnie istotne dla zaprasek o dużych wymiarach.
- Zapraski nie powinny zawierać ostrych krawędzi i zanieczyszczeń.
- W celu zminimalizowania możliwości pęknięcia, zleca się zastosowanie gatunku tworzywa DELRIN® o wysokim współczynniku lepkości z uwagi na jego większe wydłużenie.

**Uwaga :** Jeżeli przy pomocy wyżej wymienionych zaleceń nie da się wyeliminować problemów związanych z pękaniem, należy zastosować inne techniki zapraskowe, takie jak wciskanie po wtrysku, energię ultradźwiękową .



Rys. 6.05 Skurcz wtórny dla tworzyw acetalowych DELRIN®.

Odpężanie stosuje się czasami w celu przyspieszonego złagodzenia naprężeń oraz do stabilizacji wymiarowej detali. Jest to bardzo złożony proces, który powinien być stosowany tylko wtedy, gdy formowane detale wymagają bardzo wąskiej tolerancji wymiarowej oraz będą poddawane działaniu wysokich temperatur przez dłuższy okres czasu.

Technologia odpężania jest ponadto sugerowana jako procedura ustalania warunków przetwórstwa dla nowych form umożliwiając ocenę skurczu wtórnego oraz naprężeń powstających podczas przetwórstwa. Zmiany w zakresie wymiarów zachodzące podczas odpężania będą w bardzo zbliżony sposób odzwierciedlać maksymalne zmiany wielkości detalu w jego wykorzystaniu docelowym.

Jeżeli precyzja zachowania wymiarów jest głównym wymogiem, wówczas zaleca się zastosowanie formy wysokotemperaturowej (90-120°C). Próby osiągnięcia dobrej stabilności termicznej poprzez odpężanie detali formowanych w formach o niskiej temperaturze (<80°C) doprowadza do wysokiego skurczu wtórnego, a także do możliwości powstawania naprężeń w trakcie procesu rekrytalizacji, powodując tym samym niekontrolowane wypaczenie.

## Procedura odpężania

Wyżarzanie należy wykonywać w powietrzu lub w obojętnym oleju mineralnym w temperaturze 160±3°C przez 30 minut +5 minut na każdy milimetr grubości ścianki. Należy unikać przegrzewania oraz gorących punktów, detale nie powinny się dotykać nawzajem ani też ścianek pieca. Po zakończeniu wyżarzania detale powinny pozostawać w piecu aż do opadnięcia temperatury do 80°C. Z ustawianiem detali jeden na drugim lub układaniem ich w stosy, co przy rozgrzanych detalach mogłoby doprowadzić do ich deformacji, należy poczekać aż detale będą na tyle chłodne, aby móc je swobodnie dotykać. Taką właśnie procedurę zastosowano do osiągnięcia wyników przedstawionych na Rys.6.05, co umożliwi dokonanie oceny ostatecznych zmian wymiarów, na które narażony jest detal w swoim zastosowaniu docelowym.

Prostym sposobem stabilizacji detalu do ciągłego wykorzystania go w warunkach podwyższonej temperatury (<90°C) jest ogrzewanie detalu w temperaturze do 90°C przez okres do 24 godzin. Jeżeli detale były formowane w formie o temperaturze 90°C±10°C, wówczas zauważalny będzie skurcz wtórny rzędu 0,1-0,2%.

## Zmiany środowiskowe

Wymiary detali wykonanych z tworzyw acetalowych DELRIN® podlegają zmianom wraz z temperaturą otoczenia oraz poprzez absorpcję niewielkich ilości wody. Na Rys. 6.06 przedstawione zostały dane dotyczące wymiarów dla różnych gatunków tworzywa DELRIN®. Rysunek ten przedstawia wpływ zawartości wilgoci oraz temperatury. Na wykresie widać kilka linii przedstawiających różne warunki ekspozycji w odniesieniu do wilgotności względnej (50%, 80%, 100% oraz w stanie całkowitego zanurzenia).

Biorąc pod uwagę wymiary formy oraz zmienne parametry procesu przetwórstwa, doświadczenie podpowiada, że przy zachowaniu właściwej praktyki procesu przetwórstwa można osiągnąć następujące tolerancje wymiarowe:

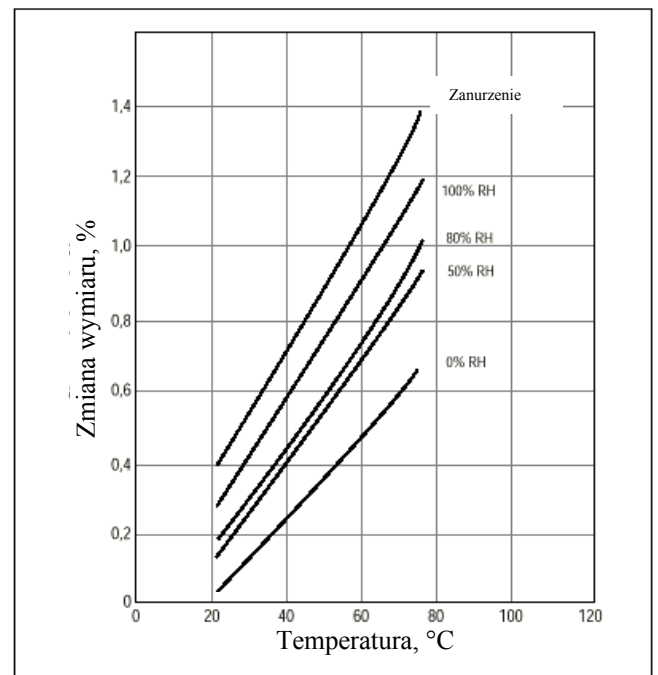
- dla wymiarów do 150 mm:
  - ± 0,15% przy formowaniu detali precyzyjnych
  - ± 0,3% przy formowaniu detali technicznych
- dla wymiarów ponad 150 mm:
  - ± 0,25% przy formowaniu detali precyzyjnych
  - ± 0,4% przy formowaniu detali technicznych

## Formy

W przypadku form wielogniazdowych bardzo istotnym elementem jest zachowanie tolerancji przy produkcji form. Mają one wpływ na tolerancje wymiarowe samego detalu. Na przykład, dla gniazda o wymiarze 30 mm wykonanego z zachowaniem tolerancji w zakresie ±0,01 mm, z doświadczenia wynika, że dla detali z różnych gniazd tego samego wtrysku nie można oczekiwać lepszej zgodności wymiarowej niż ±0,03-0,04 mm.

## Warunki przetwórstwa

Detale formowane przy zachowaniu zalecanych warunków (parametry przewężki, kanału doprowadzającego, dyszy, ślimaka, wtryskarki) określonych w poradniku do przetwórstwa są narażone na niewielkie zmiany w zakresie wymiarów pomiędzy poszczególnymi wtryskami. Jakakolwiek zmiana parametrów wtryskarki lub warunków przetwórstwa będzie miała wpływ na tolerancje wymiarowe. Na przykład, chłodniejsza forma prowadzi do większego skurczu wtórnego, zbyt krótki czas docisku prowadzi do braku stałości w zakresie skurczu, deformacji oraz większej zmienności wymiarów detali.



Rys. 6.06 Środowiskowa zmiana wymiarów dla tworzyw DELRIN® 100 i DELRIN® 500.

## 7. Czynności dodatkowe

W niniejszym rozdziale zostało omówionych kilka czynności dodatkowych towarzyszących procesowi przetwórstwa tworzyw acetalowych DELRIN®. Są to następujące zagadnienia :

- Przechowywanie tworzywa

## Tolerancje wymiarów

### Uwagi ogólne

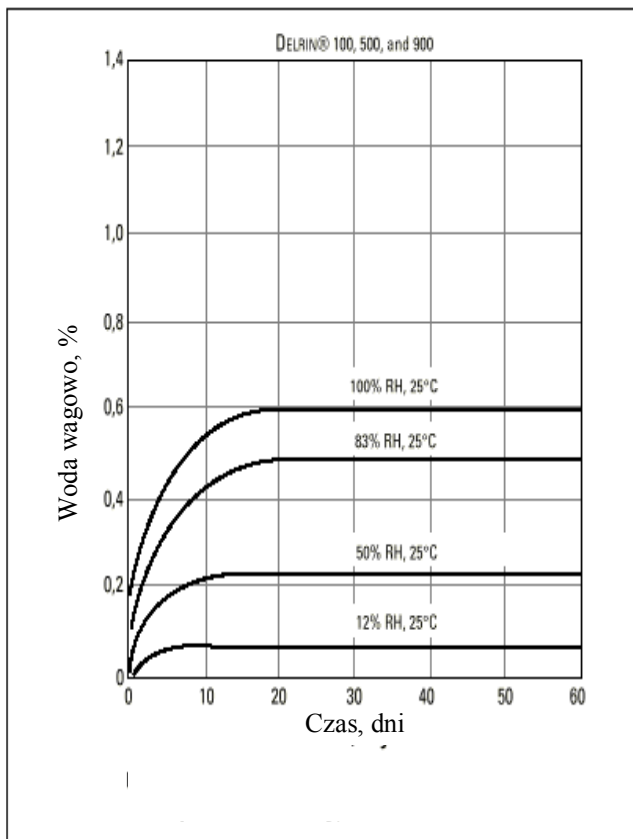
- Suszenie
- Stosowanie przemiału
- Barwienie
- Odpady

## Przechowywanie tworzywa

Tworzywa acetalowe DELRIN® są transportowane w stanie suchym i w zasadzie nie wymagają suszenia przed formowaniem. Tworzywa, które były składowane w zimnych magazynach, przed rozpoczęciem produkcji powinny być przeniesione do temperatury pokojowej. Zapobiega to kondensacji wilgoci oraz zmniejsza ilość ciepła potrzebnego do stopienia tworzywa.

Szczególną uwagę należy zachować w przypadku modyfikowanych tworzyw DELRIN®. Worki z gatunkami DELRIN® 500T, 100T oraz 100ST należy otwierać wtedy, gdy tworzywo jest potrzebne do wykorzystania. Jeżeli worek pozostaje otwarty przez dłuższy okres czasu i tworzywo wchłonęło wilgoć, przed wykorzystaniem go do przetwórstwa należy je najpierw wysuszyć.

Powierzchnia granulek tworzywa DELRIN® jest pokryta związkami smarującymi. Nie ma potrzeby dalszego smarowania tych tworzyw.



Rys. 7.01 Stopień absorpcji wody w różnych warunkach.

## Suszenie

Ogólnie rzecz ujmując, DELRIN® nie wymaga suszenia. Jednak w niektórych sytuacjach suszenie jest konieczne.

### Gatunki standardowe:

- Jeżeli zbiornik z tworzywem pozostaje otwarty przez dłuższy okres czasu, suszenie w temperaturze 80°C przez 2 godziny może poprawić jakość roztopionego tworzywa. Rys. 7.01

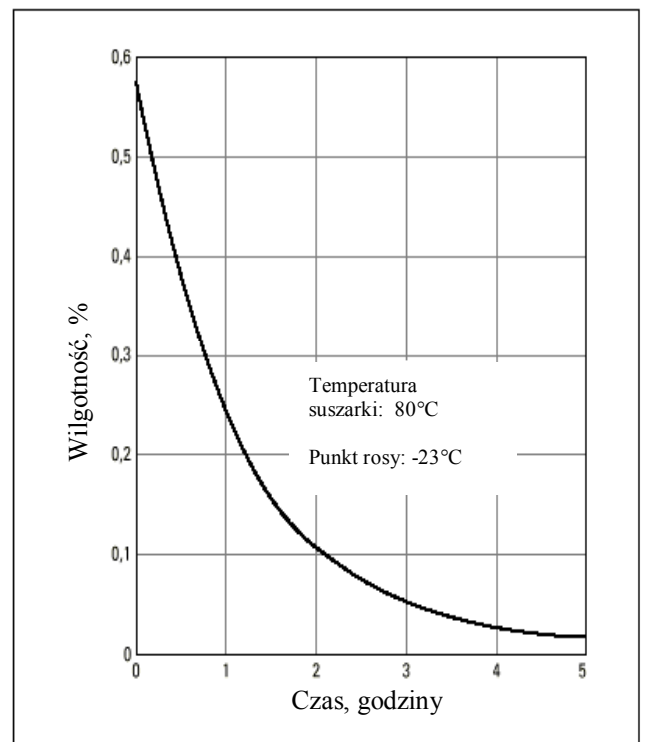
przedstawia stopień absorpcji wody dla tworzyw acetalowych DELRIN® w różnych warunkach wilgotności względnej.

- Przy wykorzystaniu więcej niż 50% mocy przerobowej wtryskarki, wstępne ogrzanie tworzywa o temperaturze 80°C przez dwie godziny może poprawić jednorodność roztopionego tworzywa oraz zmniejszyć moment obrotowy ślimaka.
- Jeżeli stabilność termiczna ma istotne znaczenie (na przykład w przypadku niektórych skomplikowanych kolorów), pomocnym może okazać się przedmuchanie tworzywa powietrzem o temperaturze 80°C. Spowoduje to odkładanie się mniejszych ilości osadu w formie oraz lepsze wykończenie powierzchni wypraski.

### Gatunki wzmocnione

Przetwórstwo modyfikowanych gatunków tworzywa DELRIN® zawierających znaczne ilości wilgoci (>0,05%) na ujemny wpływ na wytrzymałość mechaniczną. W związku z tym zaleca się suszenie tworzywa w suszarkach odwilżających przez 4 godziny w temperaturze 80°C (patrz zachowanie się tworzywa DELRIN® 100ST w trakcie suszenia przedstawione na Rys. 7.02).

W temperaturze 23°C i przy wilgotności względnej 50%, tworzywo DELRIN® 100ST pochłania do 0,1% wilgoci w ciągu 4 godzin; w temperaturze 30°C i przy wilgotności względnej 85%, pochłania do 0,3% w ciągu 2 godzin. Z tego powodu wlewki wtryskowe i kanały doprowadzające powinno się zmielić i wykorzystać je ponownie jak najszybciej.



Rys. 7.02 Zachowanie się tworzywa DELRIN® 100ST podczas suszenia.

## Przemiał Tworzywa

### Stosowanie przemiału tworzywa DELRIN®

Zastosowanie wolnego od zanieczyszczeń oraz jednolicie przemielonego tworzywa DELRIN® nie ma prawie żadnego wpływu na własności mechaniczne, na sposób przetwórstwa standardowych gatunków (szczegóły –patrz poniżej). Aby przemiał tworzywa był właściwy, należy wziąć pod uwagę następujące zalecenia:

- Nie należy mieć uformowanych wyprasek, wlewków lub kanałów doprowadzających, jeżeli są one odbarwione lub rozwarstwione – taki stan może oznaczać, że tworzywo było zdegradowane w trakcie procesu przetwórstwa.
- Jeżeli jest to tylko możliwe, unikaj gromadzenia tworzywa z przemiału – lepiej zastosować ciągle wykorzystanie wlewków lub kanałów doprowadzających. Idealnym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu opartego na obiegu zamkniętym, w którym przemiał jest wykonywany przy wtryskarce i natychmiast podawany z powrotem do wtryskarki, dzięki czemu można uniknąć zanieczyszczenia. Jeżeli przemiał wykonywany jest poza wtryskarką, należy zwrócić szczególną uwagę, by nie zanieczyścić wlewków i kanałów doprowadzających. Przemiał należy zabezpieczyć przed zanieczyszczeniami poprzez przechowywanie go w czystych, suchych, wyraźnie oznakowanych pojemnikach z przykryciem.
- Utrzymuj stałą proporcję tworzywa pierwotnego do przemiału, a przed zastosowaniem takiej mieszanki poddawaj ją dobremu wymieszaniu. Właściwa proporcja zależy od jakości przemiału oraz od wymagań stawianych detalowi. Dość często stosowana proporcja tworzywa pierwotnego do przemiału to 3 do 1, chociaż z powodzeniem można zastosować większe ilości przemiału.
- Najlepiej wykorzystać młynek wolnoobrotowy, ale z drugiej strony młynki szybkoobrotowe są również do przyjęcia, jeżeli ich noże są dobrze naostrzone, a sito posiada odpowiednio szerokie otwory (4mm), dzięki czemu można uniknąć zbyt drobnych cząsteczek. Przed użyciem innego gatunku tworzywa, młynek należy całkowicie wyczyścić.
- Zbyt drobne cząsteczki i pył powinny być usunięte.
- Unikaj tworzywa z przemiału pochodzącego ze źródeł zewnętrznych (nieznanych).
- W celu osiągnięcia odpowiednich własności tworzywa modyfikowanych, kanały doprowadzające oraz wlewki powinny być zmielone i wykorzystane tak szybko, jak tylko jest to możliwe, ponieważ te gatunki charakteryzują się szybkim tempem pochłaniania wilgoci (patrz poprzedni rozdział). Zawartość przemiału dla tego gatunku tworzyw nie powinna przekraczać 25% i należy pamiętać, że powinno ono być natychmiast dostarczone do leja zasypowego.

### Wpływ na własności mechaniczne

Tabela 7.01 przedstawia wyniki badań oparte na 10 przejściach mieszanki 100% lub 50% przemiału z tworzywem DELRIN® 500. Badania 10 przejść 50% dodatku są odpowiednikiem sytuacji, w której przetwórca stale wykorzystuje mieszankę z dodatkiem 50% przemiału. W takich warunkach wciąż obserwuje się stabilne zachowanie własności mechanicznych.

Tabela 7.01 **Wpływ liczby przejść przez maszynę na wybrane własności fizyczne dla tworzywa DELRIN®500.**

Liczba przejść	10-krotnie 100%	10-krotnie 50%
----------------	-----------------	----------------

Wpływ na własności		
Wskaźnik płynności	Wzrost mniej niż 10%	Wzrost mniej niż 2%
Wytrzymałość na rozciąganie na granicy plastyczności	Bez zmian	Bez zmian
Odporność na uderzenia (próba z karbem)	Spadek o 20%	Spadek o 2%

### Barwienie

Tworzywo DELRIN® jest dostępne w szeregu standardowych oraz wykonywanych na życzenie kolorach.

Przy przetwórstwie naturalnego tworzywa DELRIN® z systemem barwiącym pochodzącym od innego producenta niż DuPont, należy wziąć pod uwagę następujące aspekty:

- Należy zastosować się do procedur bezpiecznego użytkowania pigmentu lub masterbatcha zalecanych przez producenta.
- Na początek należy przeprowadzić mały test w celu sprawdzenia stabilności roztopionej mieszanki (patrz strona 25, test na pienienie), ponieważ niektóre pigmenty kwasowe, zasadowe lub metaliczne mogą rozkładać tworzywo DELRIN®.
- Różne systemy barwiące (dotyczące nawet dokładnie tego samego koloru) mogą dawać różny skurcz, co zostało pokazane na Rys. 6.04. Wymiary detalu powinny być sprawdzone w małym teście.
- Przepływ wzdłuż ścianek cylindra wtryskarki jest laminarny, w związku z czym dyspersja barwnika może nie być zadowalająca. Należy zastosować właściwą głowicę mieszającą (patrz strona 10).
- W celu zachowania własności tworzywa zawartość pigmentu powinna być jak najmniejsza.

### Odpady

Usuwanie odpadów musi być zgodne ze wszystkimi istniejącymi przepisami. Zalecane opcje gospodarki odpadami to :

1. Recykling .
2. Spalanie połączone z odzyskiem energii.
3. Składowanie odpadów w wyznaczonych miejscach..

Najlepszą formą recyklingu wlewków oraz kanałów doprowadzających jest ich bezpośrednie wykorzystanie na wtryskarce (patrz rozdział dotyczący tworzyw z przemiału powyżej). Mechaniczny recykling detali pochodzących z odpadów postkonsumenckich jest na ogół mało atrakcyjny. Z uwagi na fakt, że stabilność tworzywa oraz własności mechaniczne mogą być w znacznym stopniu naruszone przez zanieczyszczenia, stosowana obecnie logistyka separacji i czyszczenia stała się bardzo droga i skomplikowana. Recykling chemiczny jest jedną z możliwości, ale i w tym wypadku jest on obecnie ograniczony składowaniem odpadów i ich separacją.

Wysoka wartość opałowa tworzyw acetalowych skłania do zastosowania opcji nr 2, szczególnie dla tych tworzyw, które nie mogą być poddane recyklingowi. Należy jednak zaznaczyć, że tworzywa zawierające TEFLON® (na przykład DELRIN® 500AF) nie mogą być utylizowane na drodze spalania.

Recykling odpadów opakowań został omówiony na stronie 3

## 8. Rozwiązywanie problemów przetwórstwa

Oprócz niżej wymienionej listy problemów i sposobów ich usuwania oferujemy Państwu również bardziej szczegółowe opracowanie zawarte we Wspomaganej Komputerowo Optymalizacji Diagnostyki Formowania (Computer Aided Moulding Diagnostic Optimization – CAMDO) dla tworzywa DELRIN® dostępne w firmie DuPont. Trzy typowe przykłady takiej diagnostyki zostały przedstawione na końcu tego rozdziału. W celu uzyskania dalszych informacji, prosimy o kontakt z przedstawicielem firmy DuPont.

<b>Problem</b>	<b>Zalecane sposoby usunięcia problemu (kolejność wg uznania)</b>
<b>Problemy związane z wymiarami</b> Różnice wymiarów pomiędzy poszczególnymi wtryskami	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ ciśnienie docisku</li> <li>• Utrzymaj jednolitą poduszkę tworzywa</li> <li>• Napraw przepuszczający zawór zwrotny, jeżeli nie można utrzymać stałej poduszki tworzywa</li> <li>• Zwiększ czas docisku</li> <li>• Zwiększ grubość przewężki i/lub jej lokalizację</li> <li>• Utrzymuj jednolity cykl</li> <li>• Wyeliminuj nie roztopione cząsteczki (patrz poniżej)</li> <li>• Zastosuj większą wtryskarke lub ślimak przystosowany do przetwórstwa tworzywa DELRIN®</li> </ul>
Wypaczanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zrównoważ temperaturę formy</li> <li>• Umieść przewężkę w najgrubszym miejscu</li> <li>• Zwiększ czas docisku</li> <li>• Zwiększ grubość przewężki i/lub jej lokalizację</li> <li>• Zaokrąglaj ostre krawędzie</li> <li>• Wyczyść kanały chłodzące w formie, usprawnij system termostatowania formy</li> <li>• Popraw kształt detalu (np. należy unikać przewężeń na drodze przepływu)</li> <li>• Zmień lokalizację lub dodaj wypychacze</li> </ul>
<b>Problemy związane z usuwaniem detali</b> Detale zacinające się w formie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ czas docisku</li> <li>• Popraw wady formy (podcięcia)</li> <li>• Zmień lokalizację lub dodaj wypychacze</li> <li>• Zmniejsz poziom ciśnienia docisku</li> <li>• Zmniejsz tempo wypełniania</li> <li>• Zwiększ czas cyklu (być może tylko czasowo)</li> <li>• Zastosuj czasowo środek antyadhezyjny do formy</li> </ul>
Zacinający się wlew wtryskowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuń przyczynę powstawania przetrysku między dyszą a tuleją wtryskową</li> <li>• Popraw osiowanie pomiędzy tuleją wtryskową a dyszą</li> <li>• Zaokrąglaj ostre krawędzie w miejscu, gdzie wlew styka się z kanałem doprowadzającym</li> <li>• Zwiększ czas docisku</li> <li>• Zwiększ temperaturę dyszy</li> <li>• Wydłuż czas chłodzenia formy</li> <li>• Zastosuj dyszę o mniejszym wylocie niż tulejki wtryskowej</li> <li>• Usprawnij wyciąganie wlewków</li> <li>• Zwiększ stożkowatość wlewka</li> <li>• Zastosuj czasowo środek antyadhezyjny do formy</li> </ul>
<b>Problemy związane z wypełnieniem</b> Niepełne wtryski	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utrzymaj jednolitą poduszkę tworzywa</li> <li>• Napraw przepuszczający zawór zwrotny, jeżeli nie można utrzymać stałej poduszki tworzywa</li> <li>• Zwiększ ciśnienie wtrysku</li> <li>• Zwiększ temperaturę stopu</li> <li>• Zwiększ temperaturę formy</li> <li>• Powiększ kanały odpowietrzające</li> <li>• Zmień lokalizację kanałów odpowietrzających</li> <li>• Zwiększ całkowity czas cyklu</li> <li>• Zastosuj ślimak przeznaczony do tworzywa DELRIN®</li> <li>• Zastosuj większą maszynę lub układ uplastyczniający</li> </ul>
<p><b>Uwaga:</b> Zmniejsz długość dyszy, jeżeli formowanie odbywa się na granicy lub w pobliżu granicy ciśnienia wtrysku przewidzianego dla wykorzystywanych urządzeń. Jest to szczególnie istotne dla tworzyw typu DELRIN® 100, które charakteryzują się wysokim wskaźnikiem lepkości.</p>	
Puste przestrzenie w detalach	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ poziom ciśnienia docisku</li> <li>• Zwiększ czas docisku</li> <li>• Umieść przewężkę w najgrubszym fragmencie detalu</li> <li>• Zmniejsz tempo wtrysku napelniającego</li> <li>• Zmniejsz temperaturę topnienia; popraw jednolitość topnienia</li> <li>• Napraw przepuszczający zawór zwrotny, jeżeli nie można utrzymać stałej poduszki tworzywa</li> <li>• Zwiększ kanały odpowietrzające</li> <li>• Popraw grubość przewężki lub jej lokalizację</li> <li>• Usuń jakiegokolwiek przeszkody znajdujące się w kanale doprowadzającym lub w dyszy</li> </ul>

**Problem**

**Zalecane sposoby usunięcia problemu (kolejność wg uznania)**

(ciąg dalszy)

<b>Słabe linie zgrzewu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ poziom ciśnienia docisku</li> <li>• Wyreguluj tempo wtrysku napełniającego (około 1s na każdy mm grubości detalu )</li> <li>• Zwiększ temperaturę stopu , ale unikaj zbyt dużych temperatur</li> <li>• Zwiększ rozmiary kanałów odpowietrzających</li> <li>• Zwiększ temperaturę formy</li> <li>• Unikaj środków poślizgowych w postaci rozpylanej</li> <li>• Zmień lokalizację kanałów odpowietrzających lub przewężki</li> </ul>
<b>Problemy związane z jakością topnienia</b> Osad na formie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmniejsz tempo wtrysku napełniającego</li> <li>• Zmniejsz temperaturę stopu</li> <li>• Nie dopuszczaj do zanieczyszczenia tworzywa</li> <li>• Zlikwiduj miejsca zalegania tworzywa w cylindrze ślimaka oraz w układzie dyszy</li> <li>• Zwiększ rozmiar przewężki , rozszerz otwór wtryskowy</li> <li>• Zwiększ rozmiary kanałów odpowietrzających</li> <li>• Zmień lokalizację kanałów odpowietrzających</li> <li>• Zastosuj zasobnik suszący do poprawy stabilności termicznej tworzywa w przypadkach ekstremalnych</li> </ul>
<b>Wydzielania się gazów</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obserwuj wygląd roztopionego tworzywa (wydzielanie się gazu) oraz zmniejsz temperaturę stopu</li> <li>• Jeżeli temperatura stopu jest za wysoka, zredukuj temperaturę cylindra</li> <li>• Nie dopuszczaj do zanieczyszczenia tworzywa</li> <li>• Zredukuj całkowity czas cyklu , aby skrócić czas przebywania tworzywa w cylindrze</li> <li>• Zlikwiduj miejsca zalegania tworzywa w cylindrze , elemencie łącznikowym , na końcówce ślimaka , w dyszy oraz sprawdź układ zaworu zwrotnego</li> <li>• Zastosuj mniejszy układ uplastyczniający</li> </ul>
Występowanie cząsteczek nie roztopionych	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ temperatury cylindra</li> <li>• Zwiększ ciśnienie spiętrzania</li> <li>• Zwiększ obroty ślimaka</li> <li>• Zastosuj zasobnik suszący do wstępnego ogrzania tworzywa</li> <li>• Zwiększ całkowity czas cyklu</li> <li>• Zastosuj ślimak przystosowany do przetwórstwa z tworzywem DELRIN®</li> <li>• Zastosuj większą maszynę lub układ uplastyczniający</li> </ul>
Osad na ślimaku	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmniejsz obciążenie ślimaka ( szczególnie w przypadku gatunku DELRIN®100) – w zalecanym zakresie</li> <li>• Nie dopuszczaj do nadmiernego schłodzenia gardzieli podającej</li> <li>• Sprawdź proporcje stref: zasilania /spiętrzania /dozowania ślimak – w zalecanym zakresie</li> </ul>
<b>Problemy związane z wykończeniem powierzchni</b> Czarne plamy lub brązowe smugi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmniejsz czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym (mniejszy ślimak)</li> <li>• Nie dopuszczaj do zanieczyszczenia tworzywa</li> <li>• Skoryguj miejsca zalegania tworzywa w cylindrze , w ślimaku oraz w układzie dyszy</li> <li>• Sprawdź chłodzenie gardzieli zasobnika (80-90°C)</li> </ul>
Łuszczenie , fałdowanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmniejsz tempo wtrysku napełniającego</li> <li>• Zwiększ temperaturę formy</li> <li>• Zmień lokalizację przewężki</li> </ul>
Rozmazywanie przy przewężce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmniejsz tempo wtrysku napełniającego</li> <li>• Poszerz przewężkę</li> <li>• Zwiększ średnicę przewężki</li> <li>• Zmień usytuowanie przewężki</li> </ul>
Wyplukiwanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ lub zmniejsz tempo wtrysku napełniającego</li> <li>• Zwiększ średnicę przewężki , poszerz przewężkę</li> <li>• Zwiększ temperaturę formy</li> <li>• Zmień usytuowanie przewężki</li> </ul>
Wzery , zmarszczki	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwiększ poziom ciśnienia docisku</li> <li>• Zwiększ tempo wtrysku napełniającego</li> <li>• Zwiększ czas docisku</li> <li>• Zwiększ temperaturę formy</li> <li>• Zwiększ temperaturę stopu</li> <li>• Zwiększ rozmiary kanałów odpowietrzających</li> <li>• Zwiększ rozmiar przewężki</li> </ul>

---

Ślady zagłębień	<ul style="list-style-type: none"><li>• Napraw przepuszczający zawór zwrotny , jeżeli nie można utrzymać stałej poduszki tworzywa</li><li>• Zwiększ poziom ciśnienia docisku</li><li>• Zwiększ czas docisku</li><li>• Zwiększ rozmiar przewężki</li><li>• Zmień usytuowanie przewężki</li><li>• Zmniejsz temperaturę stopu , jeżeli jest zbyt wysoka</li></ul>
Rozpryski	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zmniejsz temperaturę topnienia , jeżeli jest zbyt wysoka</li><li>• Nie dopuszczaj do zanieczyszczenia tworzywa</li><li>• Zmniejsz tempo wtrysku napełniającego</li><li>• Zlikwiduj miejsca zalegania tworzywa w cylindrze , w ślimaku oraz w układzie dyszy</li><li>• Zwiększ rozmiar przewężki</li></ul>

---





Delrin®

Tworzywa acetalowe

## Warunki przetwórstwa tworzywa DELRIN®

Zacznij  
z DuPont

# Warunki przetwórstwa tworzywa DELRIN®

Gatunek POM-H	Uwagi	Gęstość w stanie stałym		Gęstość w stanie stopionym		Zalecana temperatura stopu		Zalecana temperatura gniazda formy		Maksymalna prędkość obwodowa ślimaka		Prędkość czola przepływu		Ciśnienie docisku		Ciśnienie sprężania		Czas docisku > 3 mm		Maksymalny czas przebywania tworzywa w cylindrze		Skurecz zmierzony na próbkach testowych		Maksymalna wilgotność		Temp max. Suszenie	
		g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°C±5°C	°C±1°C	m/s	W-S-SZ	MPa	MPa	s/mm	min	%	%	%	%	%	°C	godz.									
100	HV	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<10	8	30	2,1	1,9	0,2	80	NIE											
100 P	HV	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<10	8	30	2,1	1,9	0,2	80	NIE											
111 P	HV, podwyższona krystalizacja	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<10	7,5	30	2,0	1,8	0,2	80	NIE											
500	MV	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	2,0	0,2	80	NIE											
500 P	MV	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	2,0	0,2	80	NIE											
511 P	MV, podwyższona krystalizacja	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-110	<5	7	30	1,9	1,8	0,2	80	NIE											
900 P	LV	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	2,0	0,2	80	NIE											
911 P	LV, podwyższona krystalizacja	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	7	30	1,9	1,8	0,2	80	NIE											
1700 P	Bardzo niski wskaźnik płynięcia	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	1,9	1,8	0,2	80	NIE											
107	HV, stabilizowany UV	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<10	8	30	2,1	1,9	0,2	80	NIE											
127 UV	HV, stabilizowany UV	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<10	8	30	2,1	1,9	0,2	80	NIE											
507	MV, stabilizowany UV	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	2,0	0,2	80	NIE											
527 UV	MV, stabilizowany UV	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	2,0	0,2	80	NIE											
927 UV	LV, stabilizowany UV	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	2,0	0,2	80	NIE											
100 T	HV, modyfikowany	1,37	1,14	205	50	0,15	§	60-80	<10	8	30	1,8	1,7	0,06	80	4											
100 ST	HV, silnie modyfikowany	1,34	1,14	205	50	0,15	§	60-80	<10	8	15	1,3	1,4	0,06	80	4											
500 T	MV, modyfikowany	1,39	1,15	205	50	0,15	§	60-80	<5	8	25	1,8	1,7	0,06	80	4											
100 AF	HV, 20% włókien TEFLON®	1,54	1,29	215	90	0,20	§	90-110	<10	8	30	2,1	1,5	0,2	80	NIE											
DE 9156	HV, 1,5% proszku TEFLON®	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<10	8	30	2,1		0,2	80	NIE											
500 AF	MV, 20% włókien TEFLON®	1,54	1,29	215	90	0,30	§	75-100	<5	8	30	2,1	1,5	0,2	80	NIE											
500 CL	MV, chemicznie smarowany	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<10	8	30	1,9	1,9	0,2	80	NIE											
500 TL, DE 9152	MV + proszek TEFLON®	1,42	1,16	215	90	0,30	§	75-100	<10	8	30	2,1		0,2	80	NIE											
570 NC-000	MV, 20% włókien szklanych	1,56	1,30	215	90	0,20	§	75-100	<5	8	30	1,2	2,1	0,2	80	NIE											
577 BK-000	MV, 20% GF, stabilizowany UV	1,56	1,30	215	90	0,20	§	75-100	<5	8	30	1,2	2,1	0,2	80	NIE											
DE 9191 X	MV, 25% włókien szklanych	1,58	1,33	215	90	0,20	§	75-100	<5	8	30	1,0		0,2	80	NIE											
150SA	Gatunek do wytłaczania	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<5	7,5	30	2,0		0,2	80	NIE											
DE/E-7031	Gatunek do wytłaczania „P”	1,42	1,16	215	90	0,20	§	90-110	<5	8	30	2,0	1,8	0,2	80	NIE											

HV = niski wskaźnik płynięcia

LV = wysoki wskaźnik płynięcia

MV = średni wskaźnik płynięcia

UV = stabilizowane na działanie ultrafioletu

**DuPont Poland Sp. z o.o.**  
**ul. Powązkowska 44c**  
**01-797 Warszawa**

tel. 022 3200900

fax. 022 3200910

[www.plastics.dupont.com](http://www.plastics.dupont.com)

**UWAGA:**

Informacje przedstawione w niniejszej publikacji oparte są na naszych najnowszych doświadczeniach i podają rzetelnie opracowane wskazówki mające stanowić pomoc dla wykwalifikowanych pracowników. Wskazówkami tymi jednak można się posługiwać tylko na swoją odpowiedzialność. Firma Du Pont nie gwarantuje pomyślnych wyników i nie bierze odpowiedzialności w przypadku stosowania się do tych wskazówek. Publikacja ta nie może być traktowana jako jedyna instrukcja i nie może anulować żadnych dotychczas istniejących patentów czy opracowań w tym zakresie.

Informacje zawarte w niniejszej broszurze odnoszą się wyłącznie do opisanych kompozycji. Środki barwiące i inne dodatki mogą zmienić niektóre lub wszystkie własności tych kompozycji: dotyczy to zarówno tworzyw w kolorze naturalnym jak i barwionych. Dane ujęte w niniejszej broszurze odpowiadają zwykłemu przedziałowi własności produktów, lecz nie należy ich stosować do określania ograniczeń normatywnych ani wykorzystywać jako samodzielnej podstawy opracowywania projektu konstrukcji.

**Uwaga:** Nie należy używać opisanych produktów w zastosowaniach medycznych wymagających ciągłej implantacji w ludzkim ciele. W przypadku innych zastosowań medycznych należy zapoznać się z publikacją "DuPont Medical Statement", H-50102.