



# PACKALL

PackAlliance:  
European alliance for innovation training  
& collaboration towards future packaging

## Linking **Academy** to **Industry**.

### Program szkolenia: moduły

- Moduł 1. Nowe materiały i biomateriały.
- **Moduł 2. Ekoprojektowanie i innowacyjne procesy produkcyjne.**
- Moduł 3. Zaangażowanie obywateli i konsumentów.
  - Moduł 4. Zarządzanie i waloryzacja odpadów.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.  
This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



# Kurs 1- Nowatorskie przetwarzanie produkcyjne dla systemów pakowania (3 ECTS)

## 1. PROCESY PRODUKCJI OPAKOWAŃ Z ELASTYCZNYCH TWORZYW SZTUCZNYCH (0.6 ECTS)

### 1.1. Podstawa procesów ekstruzji

#### 1.1.1 Proces ekstruzji: opis i sprzęt

#### 1.1.2 Analiza procesu ekstruzji jednoślismakowej

### 1.2. Procesy przemysłowe do produkcji opakowań elastycznych

#### 1.2.1. Ekstruzja folii odlewanej

*Opis procesu*

*Różne rodzaje odlewanych głowic i matryc*

*Matryca typu wieszak*

*Parametry przetwarzania: współczynnik naciągu, temperatura rolki chłodzącej, ze względu na odległość rolki chłodzącej*

#### 1.2.2. Rozdmuchiwanie folii

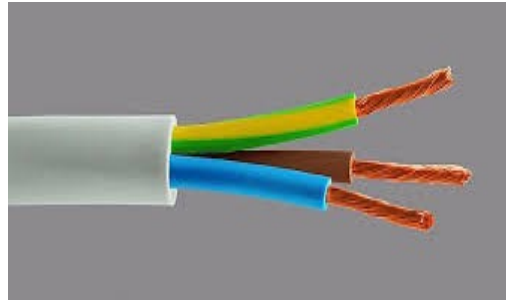
*Parametry przetwarzania dla procesu rozdmuchiwania folii*

*Współczynnik rozciągania i współczynnik rozdmuchu*

*Wysokość linii mrozu*



Proces ekstruzji stanowi **najważniejszą operację przetwarzania polimerów**. Jest to **proces ciągły**, który pozwala na uzyskanie obiektów o stałym przekroju, być może nawet o złożonej geometrii i dużej długości, takich jak rury, folie, pręty, włókna itp.

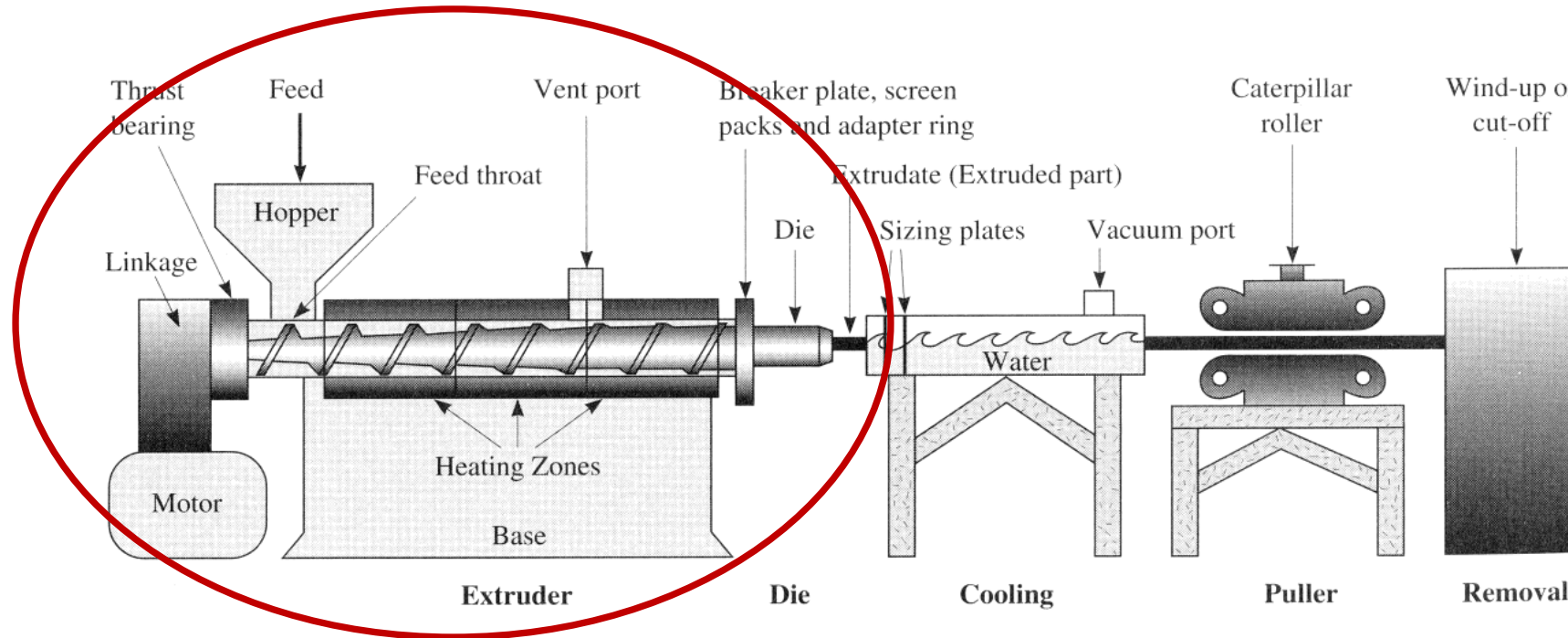


Polega na ciągłym **przekształcaniu stałego polimeru granulowanego w wysoce lepki płyn**, który następnie poddaje się działaniu ciśnienia w celu określenia jego przejścia przez dyszę, której zadaniem jest **formowanie stopionego materiału**.

Proces ten realizowany jest za pomocą **WYTŁACZARKI**, która jest podstawowym aparatem w przemyśle przetwórstwa polimerowych materiałów termoplastycznych.

# SCHEMAT LINII EKSTRUZJI Z SYSTEMAMI CHŁODZENIA I WCIĄGARKI

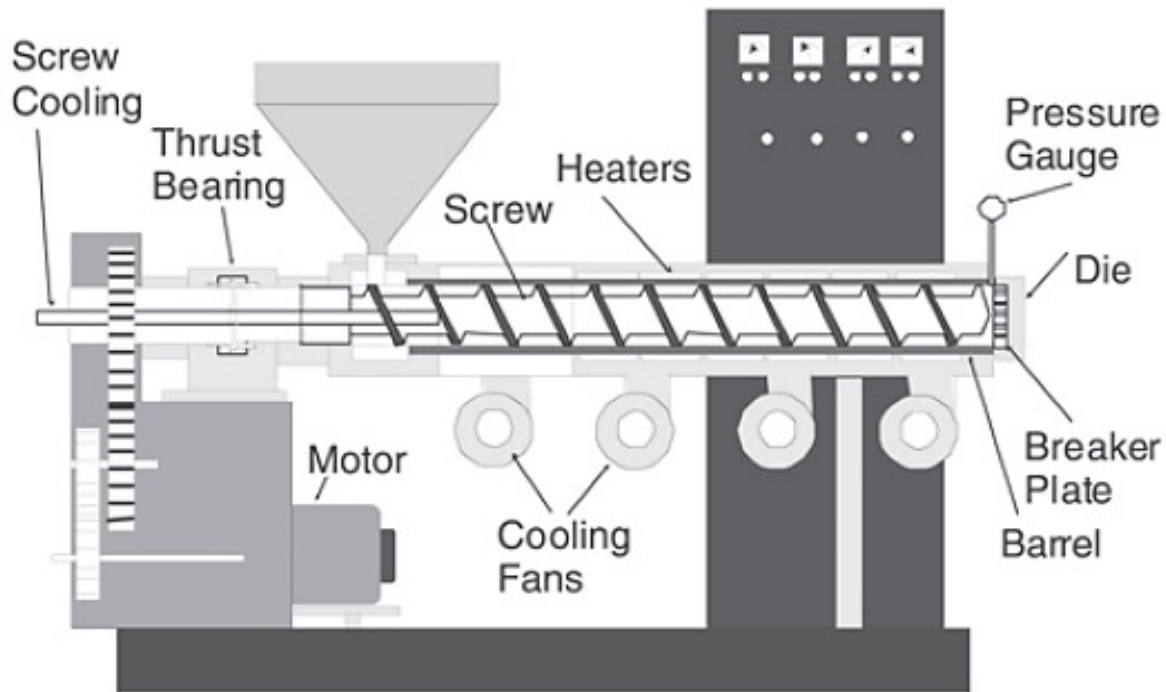
Ekstruzja materiałów polimerowych w celu wytworzenia gotowych produktów do zastosowań przemysłowych lub konsumenckich jest procesem zintegrowanym, w którym **WYTŁACZARKA** stanowi podstawowy element całej linii.



<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiogtP81qDxAhUewAIHHbh5DDwQwqsBMAN6BAgdEAE&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DTp2Rdx69SSo&usg=AOvVaw3joHxhiDBo0kYsU3IToLMj>

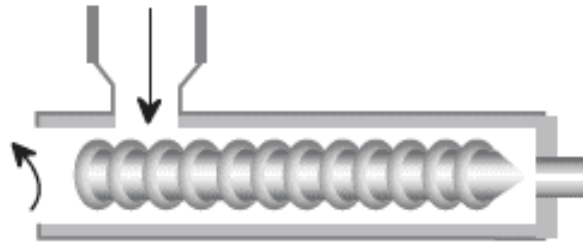


Wytłaczarka jest zasadniczo **POMPA**, która jest przeznaczona do **TOPIENIA, PRZENOSZENIA i PODNOSZENIA CIŚNIENIA** płynów o wysokiej lepkości.

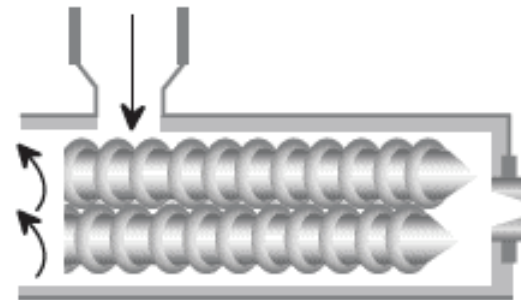


Standardowa wytłaczarka, czyli **WYTŁACZARKA JEDNOŚLIMAKOWA**, składa się z rozgrzanego cylindra, zwanego **beczką**, w którym **ślimak** może się obracać. Beczka jest zwykle ogrzewana grzałkami elektrycznymi, co zapewnia moc cieplną potrzebną do topienia materiału, który jest podawany do maszyny w postaci granulek lub proszków za pomocą **leja zasilającego**.

Single Screw Extruder

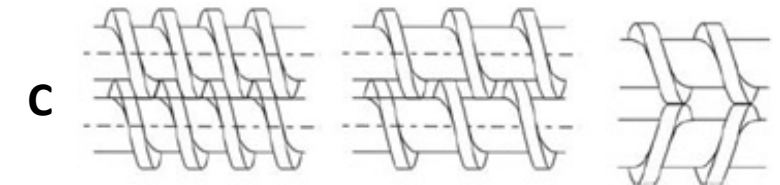
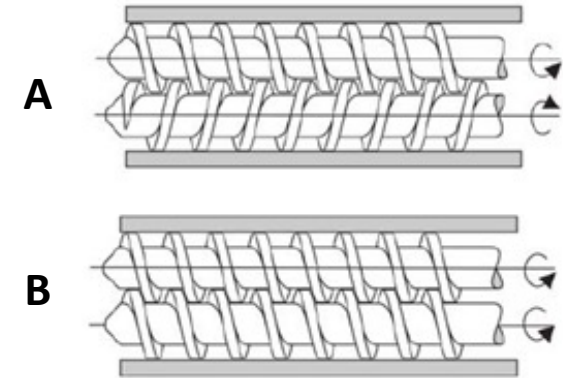


Twin Screw Extruder



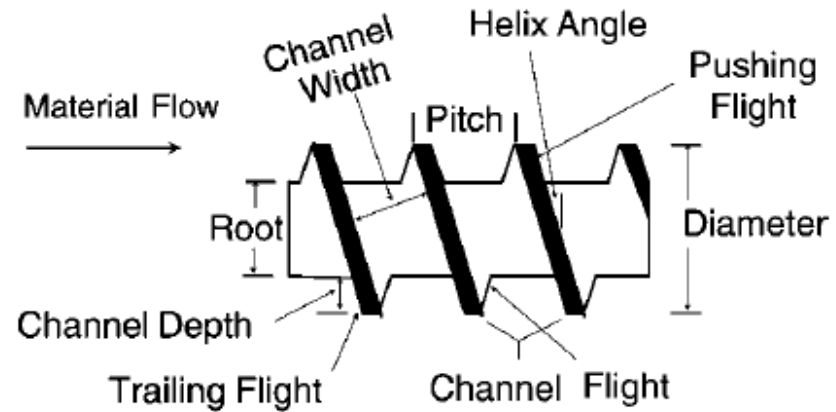
## WYTŁACZARKI DWUŚLIMAKOWE:

- ❑ mają dwa równoległe ślimaki obracające się w beczce, których przekrój jest ukształtowany w taki sposób, aby w pewnym stopniu umożliwić wzajemne oddziaływanie ślimaków (wytłaczarki **zazębiające się** i **niezazębiające się**);
- ❑ można sklasyfikować do maszyn **współbieżnych** i **przeciwbieżnych** na podstawie kierunku obrotu ślimaków;
- ❑ wykazują **wyższy efekt mieszania** i **lepszą kontrolę czasu przebywania** przetwarzanych materiałów w porównaniu z wytłaczarkami jednoślimakowymi.

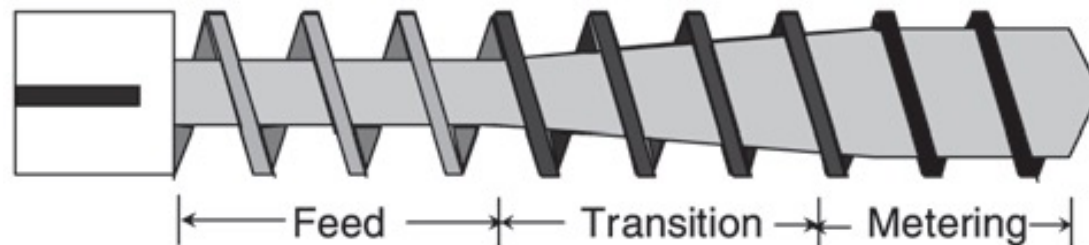


- A. Przeciwbieżne
- B. Współbieżne
- C. Stopień zazębienia ślimaków

# GEOMETRIA ŚLIMAKA



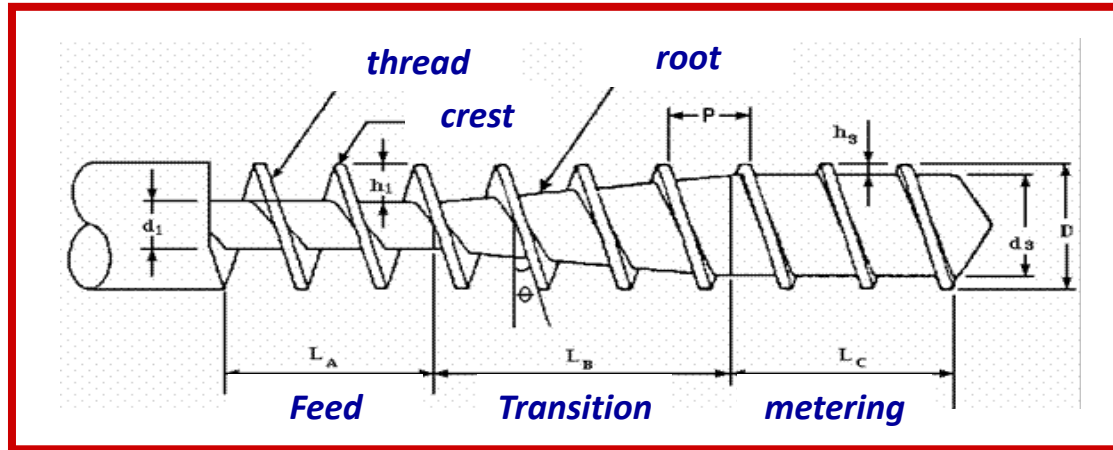
Zwykle **długość L ślimaka** jest powiązana ze średnicą ślimaka D przez **stosunek L/D**. Ten stosunek pozwala wyrazić długość ślimaka w postaci określonej liczby średnic.



Geometria, wzdłuż standardowego profilu wylączarki ślimakowej, pozwala zidentyfikować zwykle trzy różne sekcje:

- a) zasilania
- b) przemiany
- c) dozowania

... na podstawie CHARAKTERYSTYKI GEOMETRYCZNEJ ŚLIMAKA



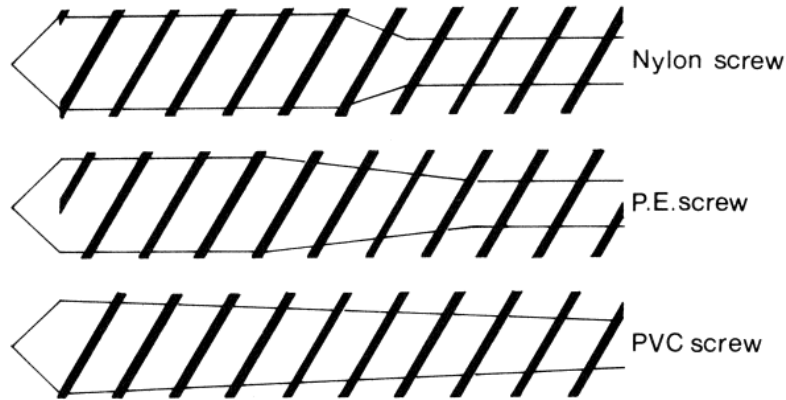
- ❑ W **strefie zasilania** głębokość kanału jest wysoka i stała, aby łatwo transportować i zagęszczać stały polimer

- ❑ W **strefie przemiany** głębokość kanału zmniejsza się wraz z kierunkiem przepływu materiału, w celu zwiększenia ciśnienia polimeru. Stosunek przekrojów na początku i końcu tego obszaru nazywany jest **współczynnikiem kompresji (CR)** ślimaka.

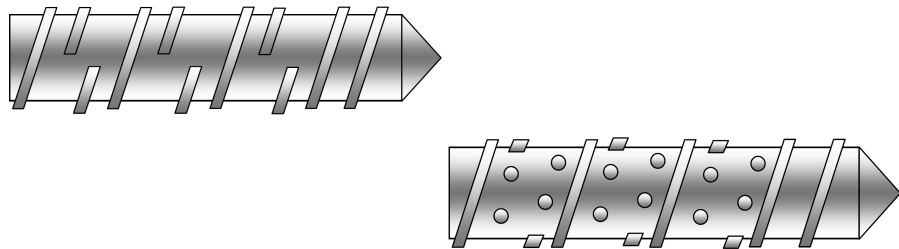
$$RC = \frac{(D - h_1)h_1}{(D - h_3)h_3}$$

- ❑ W **strefie dozowania** wysokość gwintu jest stała, podczas gdy średnica podstawy ślimaka jest maksymalna, aby mieszać i zwiększać ciśnienie stopionego materiału, tak aby przejść przez matrycę.

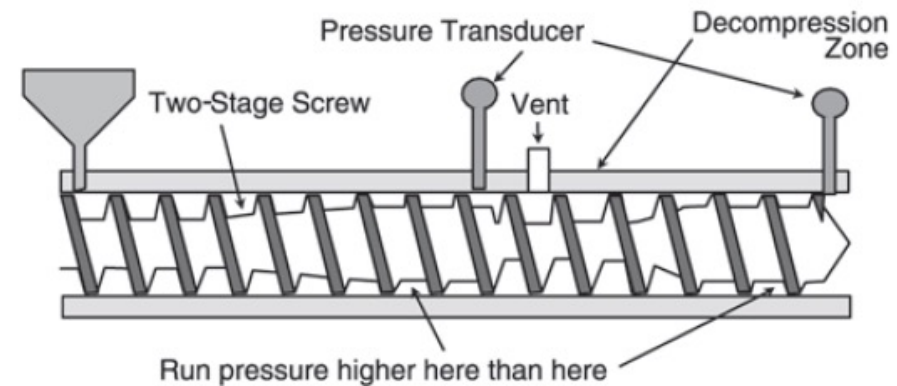




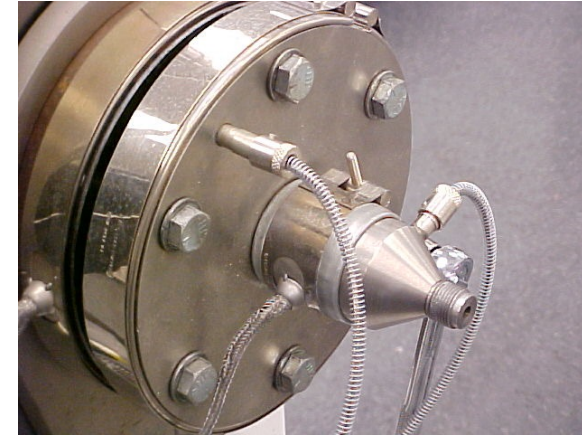
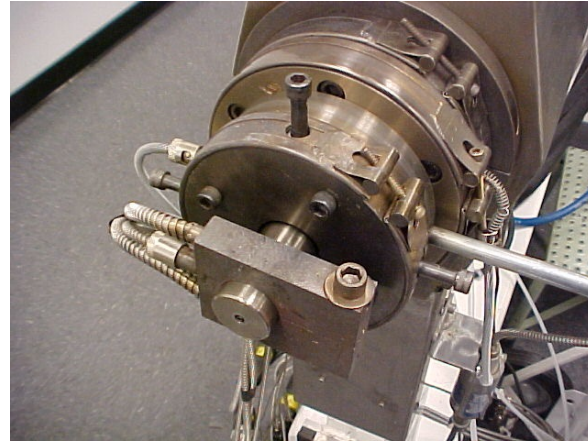
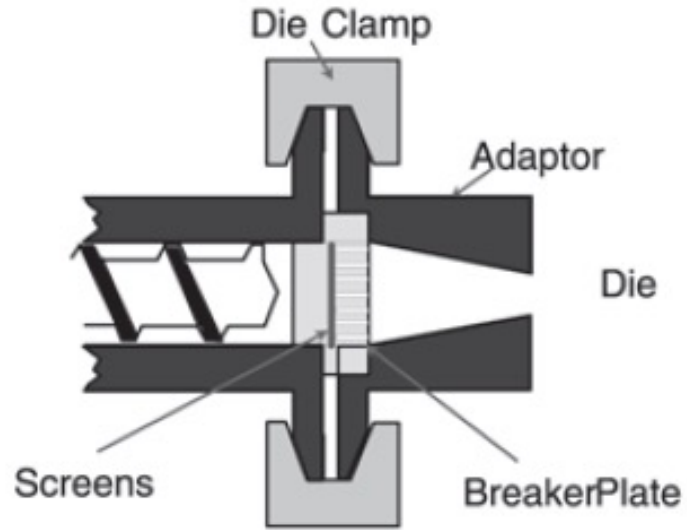
W przypadku **polimerów amorficznych** (PVC), które stopniowo miękną, strefa przejściowa zajmuje prawie cały ślimak, natomiast w przypadku **polimerów szybko topiących się** (nylon) strefa ta jest krótsza.



Niektóre ślimaki, tak zwane **ślimaki barierowe**, są zaprojektowane tak, aby zmaksymalizować zarówno efekt topienia, jak i homogenizację strumienia stopu przed lotkami barierowymi.

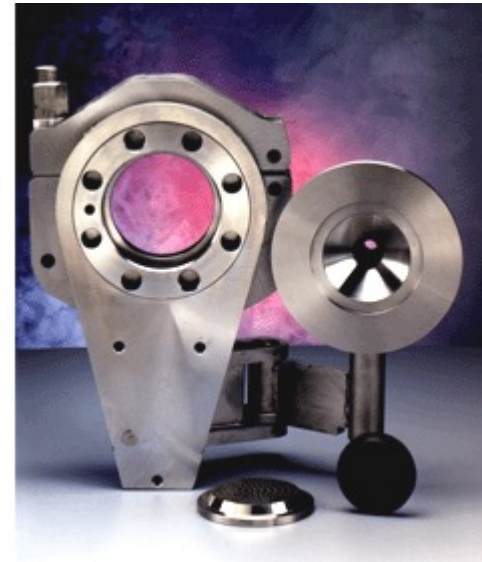
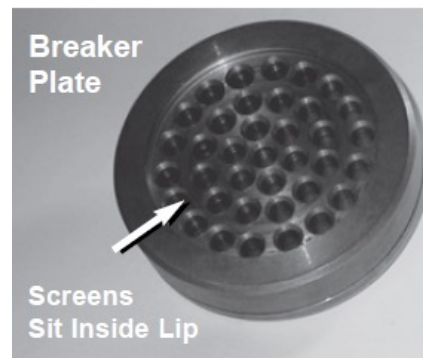


**Dwustopniowy ślimak** w wentylowanej wylączarce służy do usuwania substancji lotnych i/lub wilgoci z polimerów.



W skład zespołu głowicy wytłaczarki wchodzi:

- płyta filtrująca
- adapter
- matryca



# Kurs 1- Nowatorskie przetwarzanie produkcyjne dla systemów pakowania (3 ECTS)

## 1. PROCESY PRODUKCJI OPAKOWAŃ Z ELASTYCZNYCH TWORZYW SZTUCZNYCH (0.6 ECTS)

### 1.1. Podstawa procesów ekstruzji

#### 1.1.1 Proces ekstruzji: opis i sprzęt

#### 1.1.2 Analiza procesu ekstruzji jednoślindakowej

### 1.2. Procesy przemysłowe do produkcji opakowań elastycznych

#### 1.2.2. Ekstruzja folii odlewanej

*Opis procesu*

*Różne rodzaje odlewanych głowic i matryc*

*Matryca typu wieszak*

*Parametry przetwarzania: współczynnik naciągu, temperatura rolki chłodzącej, ze względu na odległość rolki chłodzącej*

#### 1.2.1. Rozdmuchiwanie folii

*Parametry przetwarzania dla procesu rozdmuchiwania folii*

*Współczynnik rozciągania i współczynnik rozdmuchu*

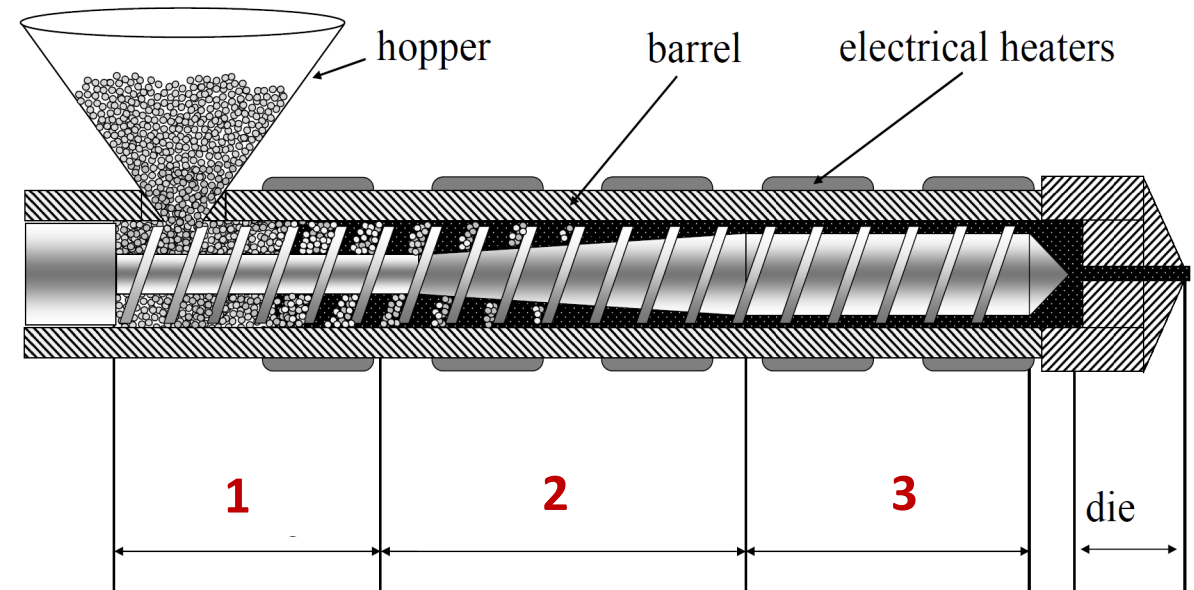
*Wysokość linii mrozu*

# WYTŁACZARKA JEDNOŚLIMAKOWA: strefy funkcjonalne

Opis standardowego procesu wytłaczania można odnieść do stref funkcjonalnych aparatu. Takie strefy odpowiadają właściwościom fizycznym, jakim polimer przejmuje ruch od leja do matrycy wytłaczarki układu.

Te strefy funkcjonalne są zwykle określane jako:

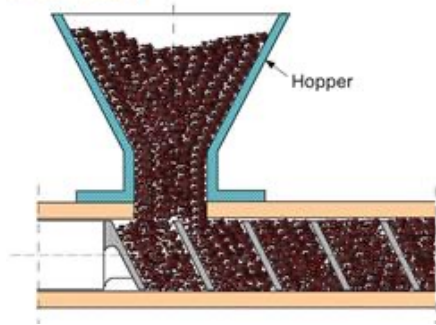
1. strefa transportu ciał stałych
2. strefa uplastyczniania lub topienia
3. strefa przenoszenia stopu



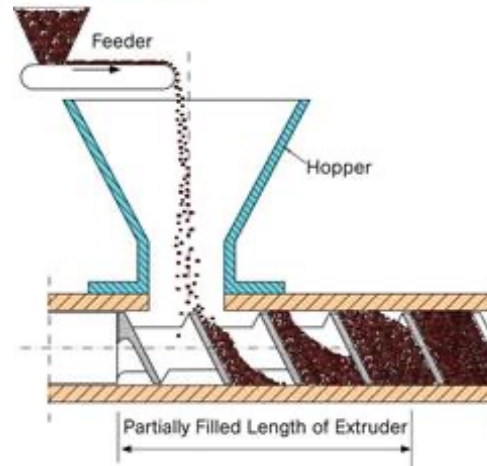
Ślimak wytłaczarki musi być zaprojektowany z **odpowiednią charakterystyką geometryczną**, która powinna sprzyjać powyższym procesom.



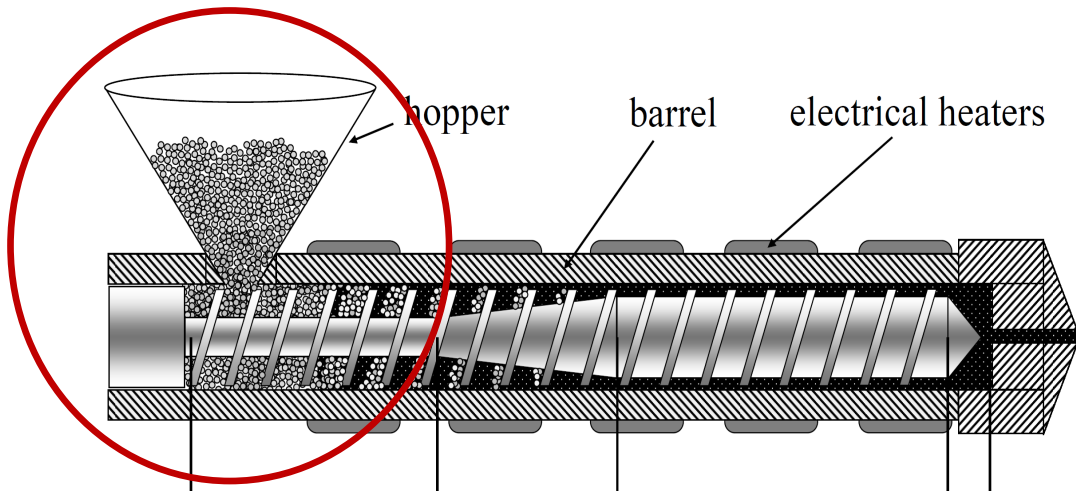
Zasilanie wyciązarki może zostać wykonane na dwa sposoby:



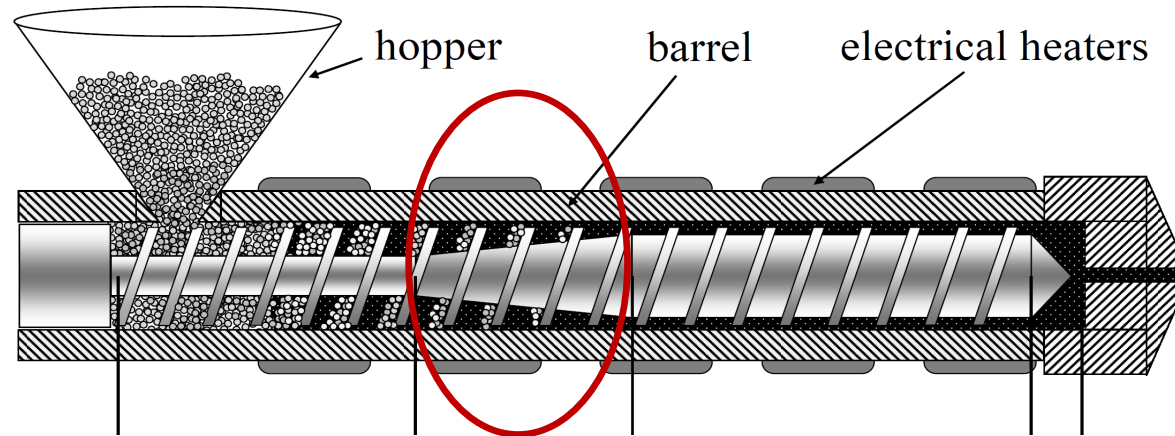
„zasilanie zalewowe” polega na grawitacyjnym przepływie granulek polimeru z lejka



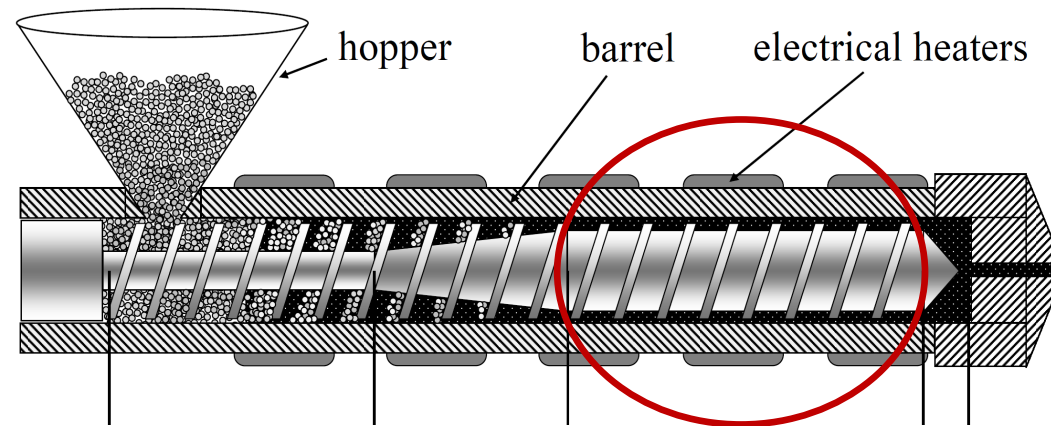
„głodowe” lub „dozowane zasilanie” przeprowadza się przy użyciu urządzeń grawimetrycznych lub wolumetrycznych, które dokładnie kontrolują ilość granulowanych substancji stałych dostarczanych do wyciązarki w sekcji zasilania.



Aby zoptymalizować natężenie przepływu w tej sekcji, konieczne jest zmaksymalizowanie tarcia między polimerem a cylindrem i zminimalizowanie siły tarcia polimer-ślimak, aby materiał obracał się z mniejszą prędkością niż ślimak i był popychany do przodu matrycy.



- ❑ Strefa topienia rozpoczyna się w punkcie, w którym polimer zaczyna tworzyć stopioną błonę na powierzchni cylindra i rozciąga się do punktu, w którym topi się cały materiał, który znajduje się w kanale ślimaka.
- ❑ W tej sekcji ślimak ma za zadanie przenosić stałe granulki, ich całkowite stopienie, na możliwie krótkiej długości, i musi transportować polimer wbrew gradientowi ciśnienia.
- ❑ **Wzrost temperatury**, który determinuje topnienie polimeru, jest spowodowany zarówno transportem ciepła z cylindra (który jest zwykle podgrzewany elektrycznie), jak i **wytwarzaniem ciepła wskutek tarcia**.

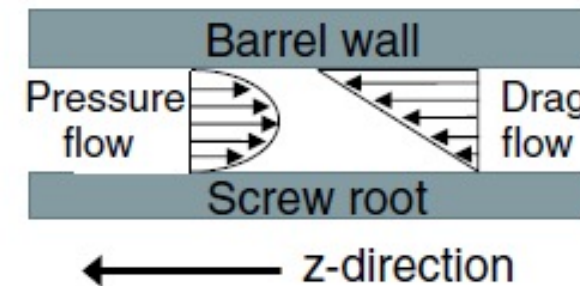
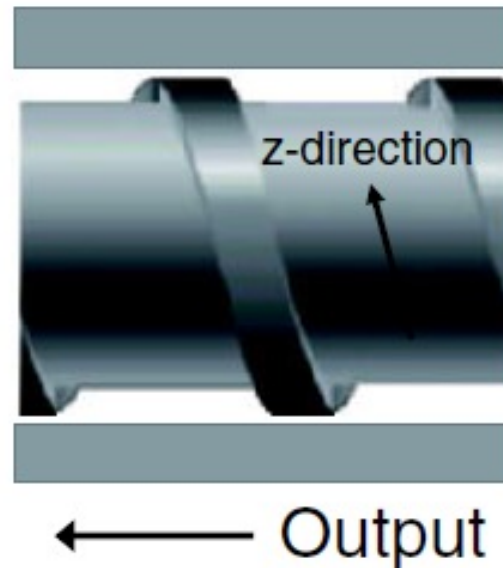


- ❑ W tej strefie kluczową rolę odgrywa **REOLOGIA POLIMERÓW**.
- ❑ Analiza tej strefy jest ważna w celu określenia **zależności** między:
  - **szybkością płynięcia stopu**
  - **warunkami procesu**
  - **charakterystyką geometryczną ślimaka**
- ❑ W tej strefie stopiony polimer (płyn o wysokiej lepkości) musi być **transportowany pod ciśnieniem**, aby mógł przejść przez głowicę wylączarki, która wywiera opór przepływu.

W celu analizy tej strefy należy wziąć pod uwagę, że ślimak zawsze pracuje w połączeniu z matrycą.

Natężenie przepływu  $q$ , które wychodzi z wylączarki, jest wyrażone jako różnica między natężeniem przepływu oporu  $q_d$  a natężeniem przepływu przeciwcisnienia  $q_p$  ze względu na obecność gradientu ciśnienia :

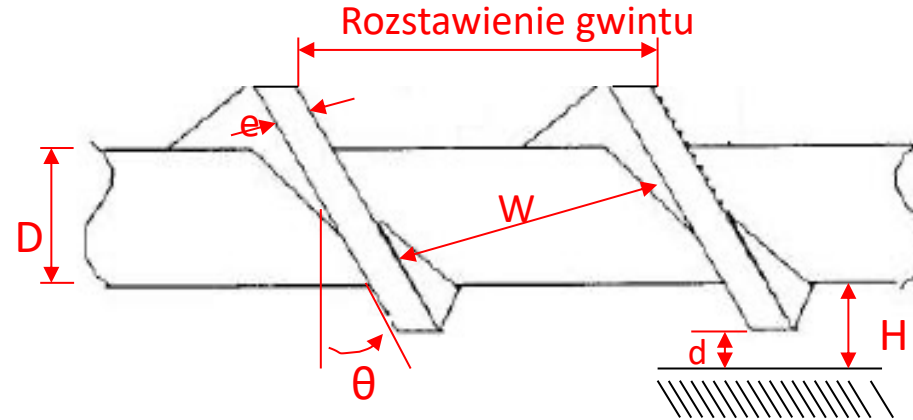
$$q = q_d - q_p$$





## HIPOTEZA DO ANALIZY PRZEPIYWU:

- ❑ płyn nieściśliwy i newtonowska ciecz
- ❑ przepływ izotermiczny i stały
- ❑ znikomy przepływ wycieków
- ❑ znikome siły grawitacyjne i bezwładności



$$\begin{aligned} H &\ll W \\ H &\ll D \\ H &> d \end{aligned}$$

$$Q = Q_D - Q_P$$

$$Q_D = \frac{wH}{2} \pi D_b N \cos \theta$$

$$Q_P = \frac{wH^3}{12\eta} \frac{\Delta P}{z}$$

### Natężenie przepływu oporu:

Zależy od prędkości ślimaka (N)

### Natężenie przepływu ciśnienia:

Zależy od lepkości polimeru ( $\eta$ )

Zbierając wszystkie czynniki geometryczne (**A** i **B** są funkcją parametrów konstrukcyjnych ekstrudera) otrzymujemy:

$$Q = AN - \frac{B\Delta P}{\eta}$$



Optymalizacja konkretnej operacji ekstruzji zależy zarówno od **parametrów konstrukcyjnych sprzętu**, jak i **warunków przetwarzania**

- Typ wytłaczarki – jedno- lub dwuślimakowa
- Rozmiar wytłaczarki — mały lub duży
- Zastosowana szczególna konstrukcja ślimaka
- Projekt matrycy
- Przepustowość
- Dalszy proces
- Rodzaj i formuła żywicy
- Dodatki w żywicy

Oprócz warunków przetwarzania i parametrów projektowych sprzętu, konieczne **jest zrozumienie materiałów i ich transformacji** na każdym etapie.

- Jaka jest reologia receptury i jak zmienia się wraz z temperaturą i ścinaniem?
- Jakie są właściwe warunki suszenia?
- Jak wilgoć wpływa na właściwości?
- Jaka jest właściwa temperatura topnienia?
- Jak zmniejszanie się materiału?
- Czy polimer jest krystaliczny czy amorficzny?
- Jakie są wymagania dotyczące chłodzenia (materiał T<sub>g</sub> lub T<sub>m</sub>)?



# PACKALL

PackAlliance:  
European alliance for innovation training  
& collaboration towards future packaging

## Linking Academy to Industry.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI SALERNO



Copyright: CC BY-NC-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

With this license, you are free to share the copy and redistribute the material in any medium or format. You can also adapt remix, transform and build upon the material.

**However only under the following terms:**

**Attribution** — you must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

**NonCommercial** — you may not use the material for commercial purposes.

**ShareAlike** — if you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

**No additional restrictions** — you may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.

This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

