



# 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

### 1.2. 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

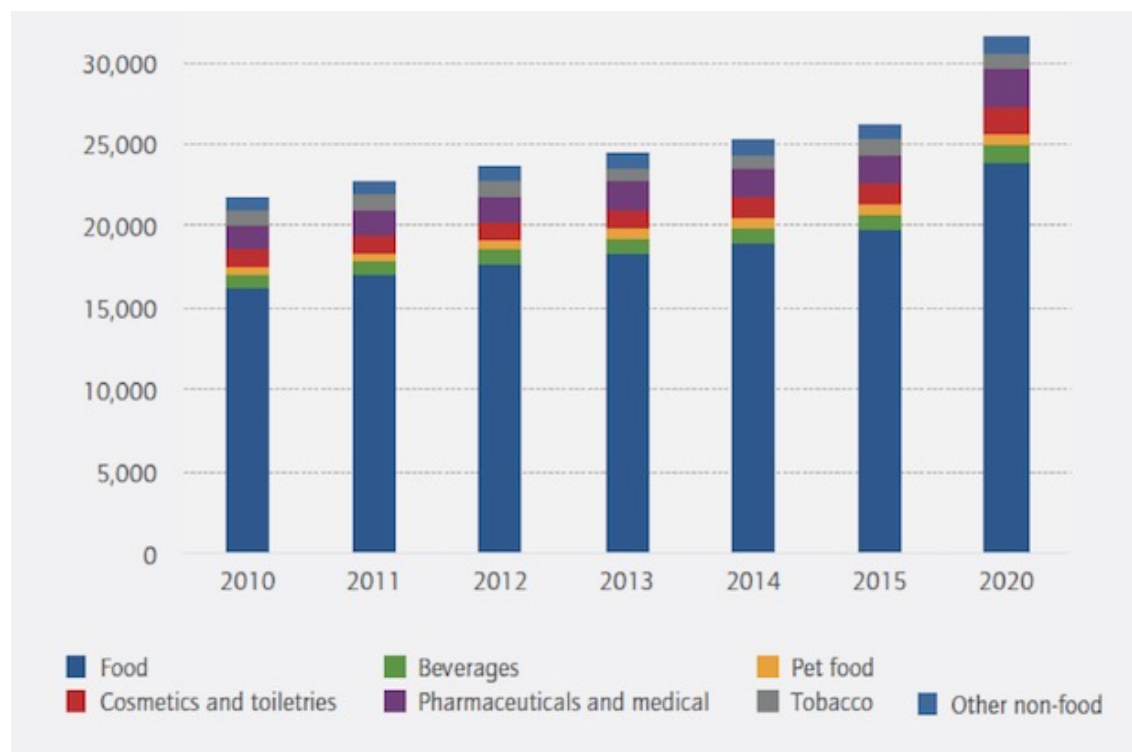
*Parametry przetwarzania dla procesu rozdmuchiwania folii*

*Współczynnik rozciągania i współczynnik rozdmuchu*

*Wysokość linii mrozu*

**Opakowania elastyczne** są klasyfikowane na podstawie grubości i stanowią dużą część rynku opakowań z tworzyw sztucznych:

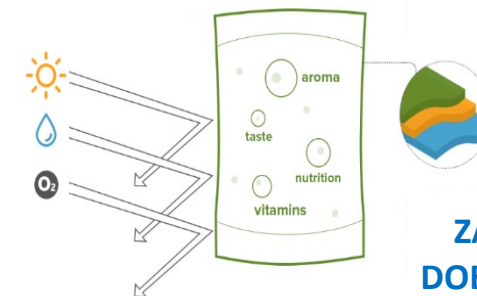
*sheet* → ma więcej niż 0,25 mm grubości  
*film* → ma mniej niż 0,25 mm grubości



- ❑ Wartość globalnego rynku konsumenckich opakowań elastycznych wrosła w średnim rocznym tempie o 4,4% w latach 2015-2020, osiągając 114 miliardów dolarów
- ❑ W 2020 r. żywność stanowi więcej niż trzy czwarte globalnego zużycia opakowań elastycznych przez konsumentów. Mięso, ryby i drób stanowią największy sektor spożywczy dla opakowań elastycznych, a następnie są to słodycze i wypieki.

### SZCZEGÓLNE CECHY OPAKOWAŃ ELASTYCZNYCH Z TWORZYW SZTUCZNYCH:

- ❑ zapewnia doskonałą i dopasowaną ochronę produktu
- ❑ oferuje świetny wygląd i zróżnicowanie na półce
- ❑ improves consumer convenience (*portion control, easy use and storage*)
- ❑ poprawia wygodę konsumenta (kontrola porcji, łatwość użytkowania i przechowywania)



ZATRZYMUJE  
DOBRE RZECZY, A  
ZŁE WYPUSZCZA

### ZNACZĄCE KORZYŚCI OPAKOWAŃ ELASTYCZNYCH W KONTEKŚCIE ZRÓWNOWAŻONEGO

- ❑ zwiększony wskaźnik produktu do opakowania **ROZWOJU**
- ❑ zmniejsza marnotrawstwo produktu
- ❑ mniej zużytej energii
- ❑ mniejsza emisja gazów cieplarnianych

#### NISKI WSKAŹNIK OPAKOWANIA



#### MNIEJ ZUŻYTEJ ENERGII W TRANSPORCIE



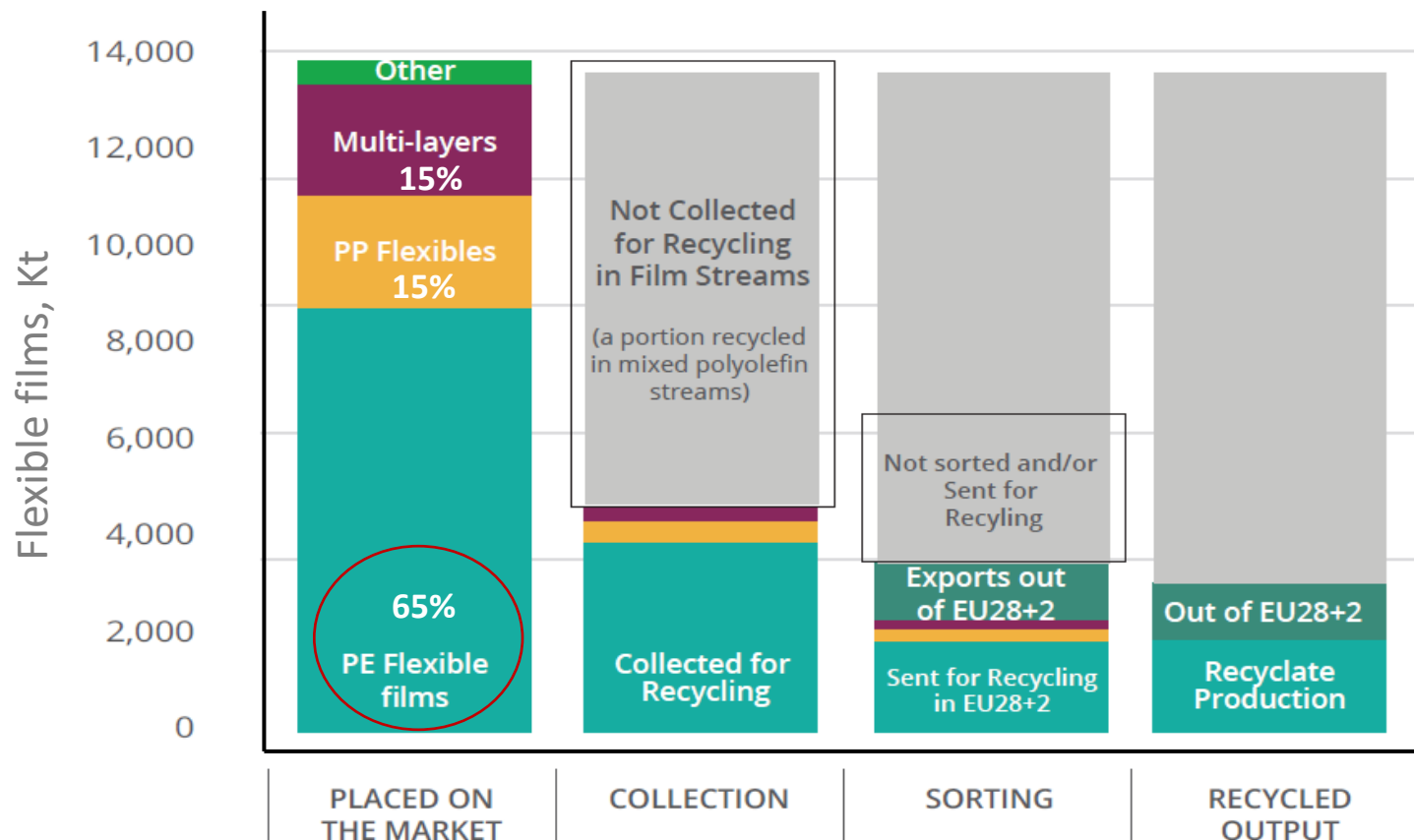
#### MAŁA CZĘŚĆ ŚLADU WĘGLOWEGO



#### MNIEJSZA ILOŚĆ UŻYTEGO MATERIAŁU ORAZ ODPADÓW



Źródło: "Flexible Films Market In Europe State of Play. Production, Collection and Recycling Data 2020" by PRE



W Europie **NISKIE WSPÓŁCZYNNIKI RECYKLINGU** opakowań elastycznych: tylko **23% folii PE** i **15% wszystkich folii elastycznych** zostało faktycznie zebranych do recyklingu

## WYMAGANIA DOTYCZĄCE FOLII OPAKOWANIOWYCH:

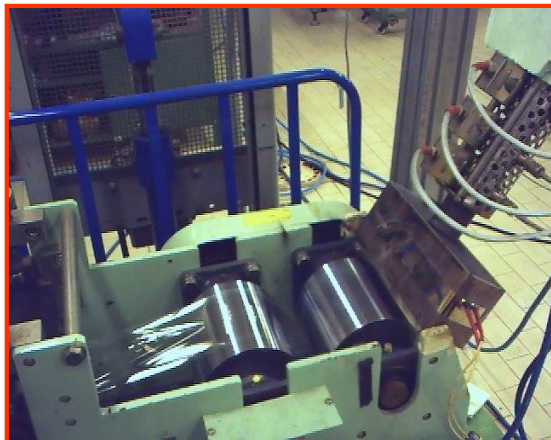
- bariera gazowa i paroizolacyjna,
- wysoka sztywność i wytrzymałość mechaniczna
- dobre właściwości optyczne (przezroczystość, kolor)
- wielkość i jednolitość powierzchni
- zdolność uszczelniania
- drukowalność



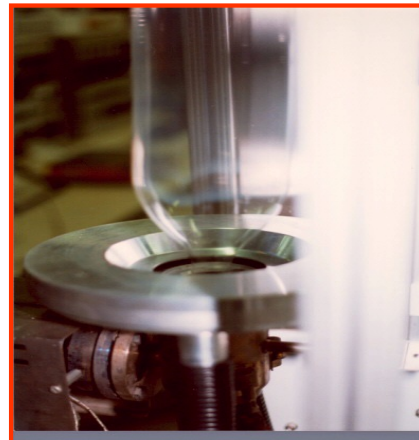
*Procesy transformacji i odpowiadające im parametry operacyjne muszą być odpowiednio dobrane zgodnie ze specyficznymi właściwościami surowców i specyficznymi właściwościami wymaganymi dla folii elastycznych*

- PRZETWARZANIE FOLII WYLEWANEJ I ROZDMUCHIWANEJ
- TECHNIKI ORIENTACJI
- WSPÓŁWYTŁACZANIE

CAST FILM



BLOWN FILM



COEXTRUSION



# GŁÓWNE ETAPY OBRÓBKI FOLII

1. Ekstruzja
2. Formowanie
3. Chłodzenie
4. Wyciągnięcie
5. Odbiór

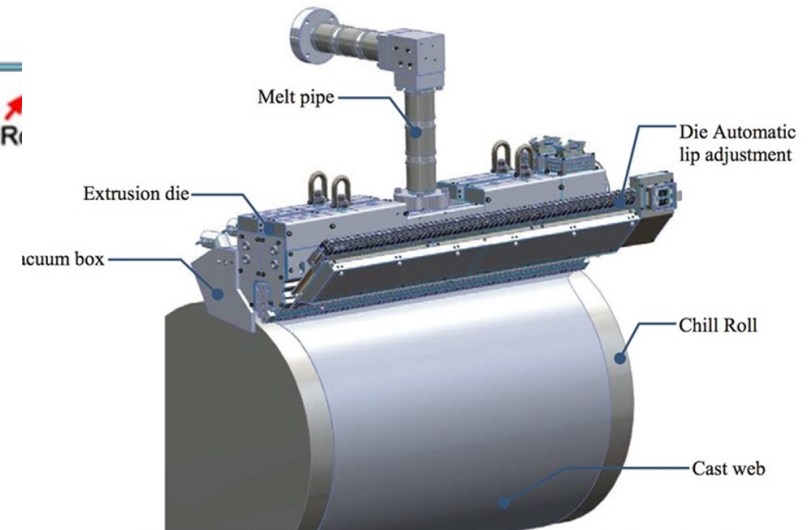
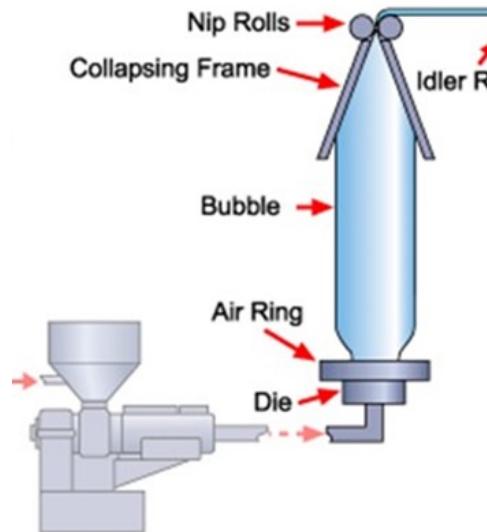
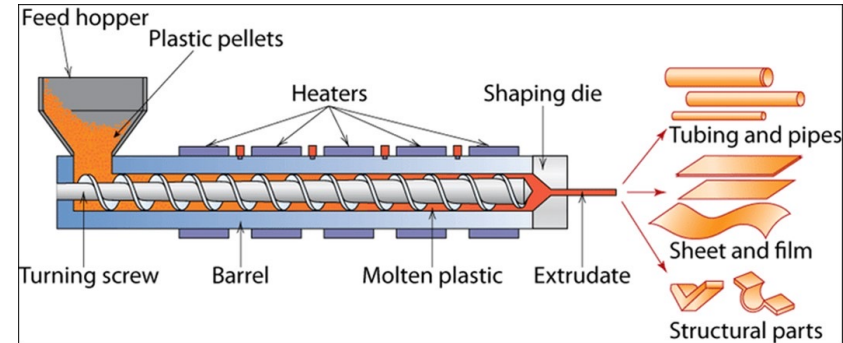


Figure 1. Typical monolayer cast film layout (Note: extruder is not shown)



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

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

1.1. Podstawa procesów ekstruzji

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*

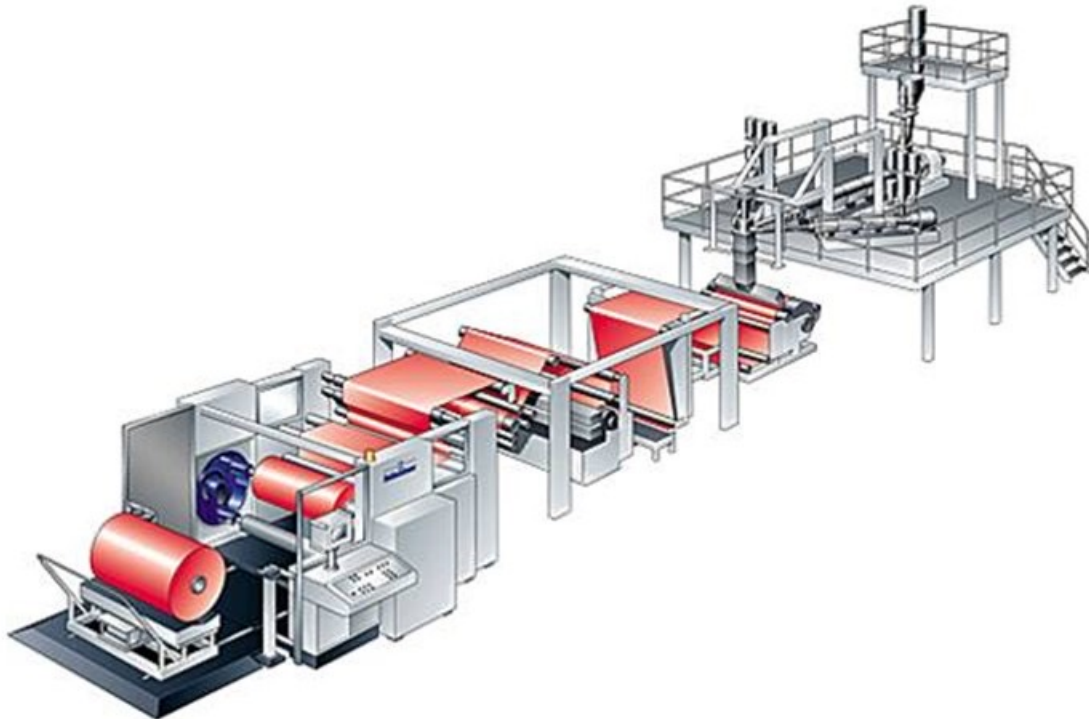
1.2.2. Rozdmuchiwanie folii

*Parametry przetwarzania dla procesu rozdmuchiwania folii*

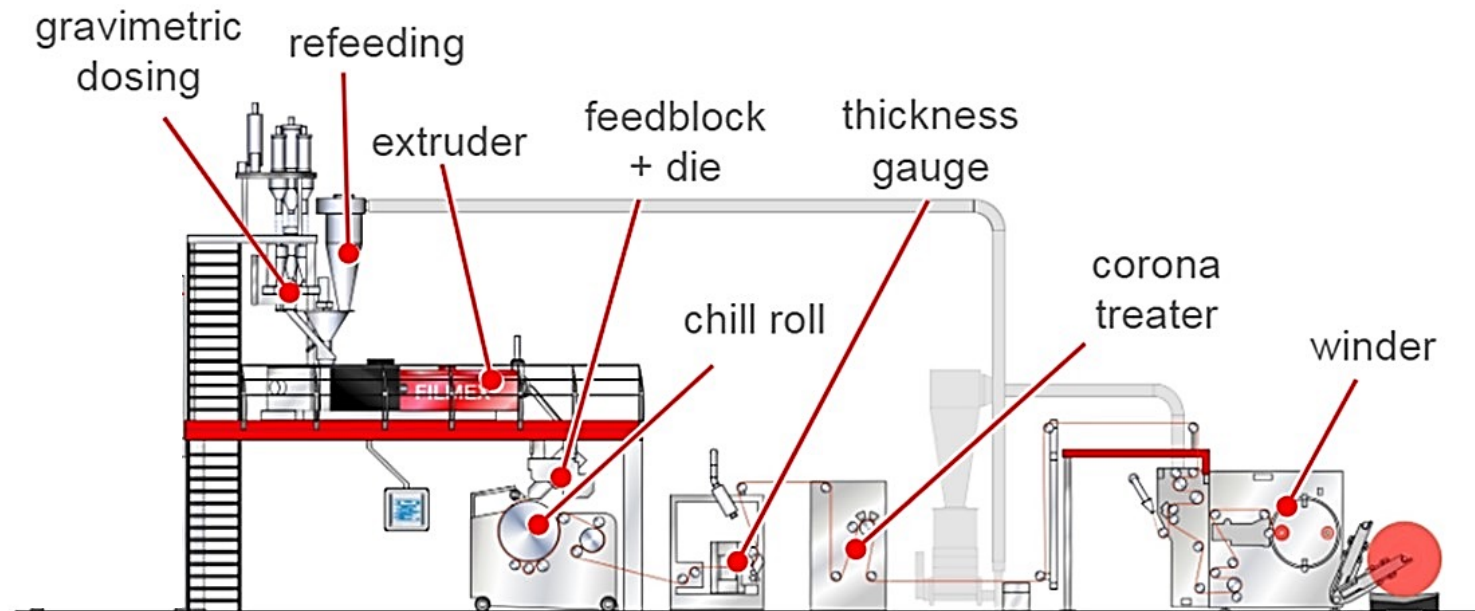
*Współczynnik rozciągania i współczynnik rozdmuchu*

*Wysokość linii mrozu*

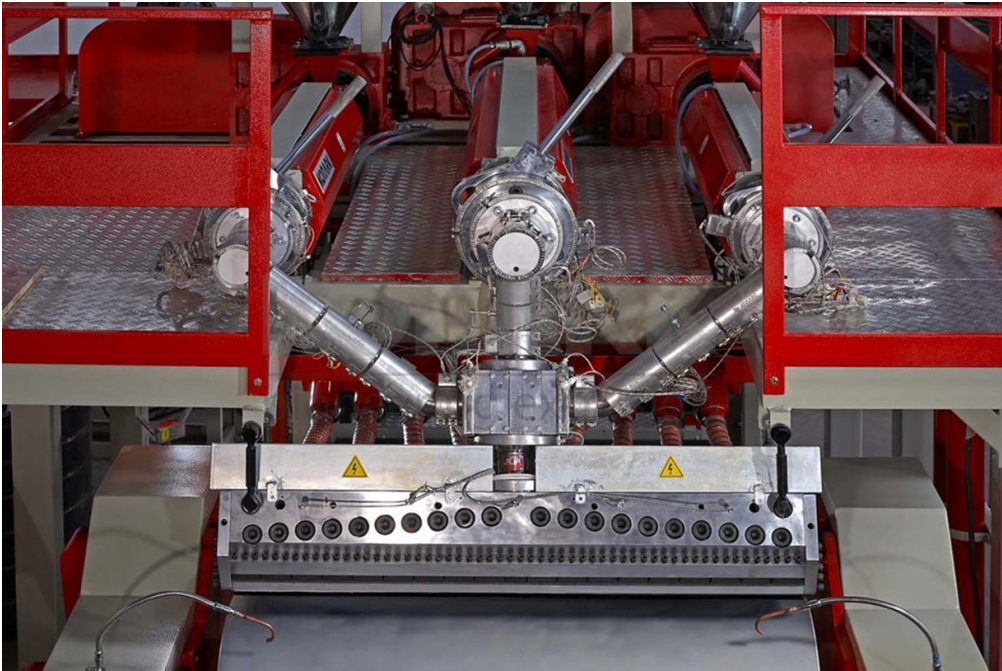
Folia odlewana jest wytwarzana przez wytłaczanie stopionego polimeru przez płaski profil w kształcie szczeliny. Na wyjściu płaskiej głowicy folia styka się z walcem chłodzącym, gdzie rozpoczyna się faza chłodzenia. W fazie stałej folia jest przepychana przez stanowisko pomiarowe, strefę obróbki powierzchni, stanowisko cięcia i na koniec owijana jest w kręgi.



<https://www.youtube.com/watch?v=ggqtl02N-U>



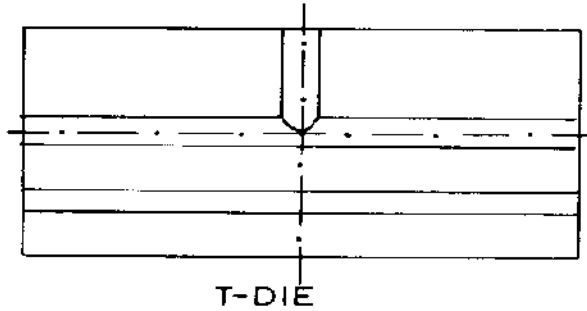
- ❑ **Wytłaczarka** jednoślismakowa lub dwuślismakowa, wyposażona w płaską matrycę w kształcie szczeliny
- ❑ Polerowane chromowane rolki (**chill roll**) do chłodzenia i polerowania folii. **Odkurzanie** w celu usunięcia powietrza z tyłu folii w celu ułatwienia układania na rolce odlewniczej
- ❑ **Rolki ściągające** do utrzymania stałego napięcia folii
- ❑ **Sprzęt do obróbki koronowej, płomieniowej lub plazmowej** w celu poprawy przyczepności do drukowania
- ❑ **Krajalnica** do cięcia folii na szerokość
- ❑ **Szybka nawijarka** do nawijania folii



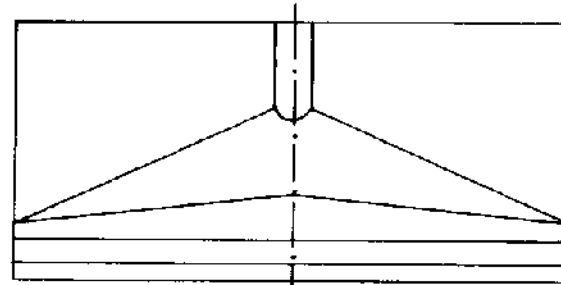
- ❑ **Matryca do wytłaczania folii odlewanej** składa się z płaskiej szczeliny o prostym profilu. Dystrybucja stopionego polimeru odbywa się za pomocą kolektora i kanału dystrybucyjnego, po którym następuje obszar o mniejszym przekroju.
- ❑ Poprzez matrycę do wytłaczania folii odlewanej polimer jest poddawany **odkształceniom ścinającym**.

**Stopiony polimer, który przepływa przez matrycę różnymi drogami, ma różne wartości lepkości, ponieważ przekrój i prędkość zmieniają się na każdej drodze.**

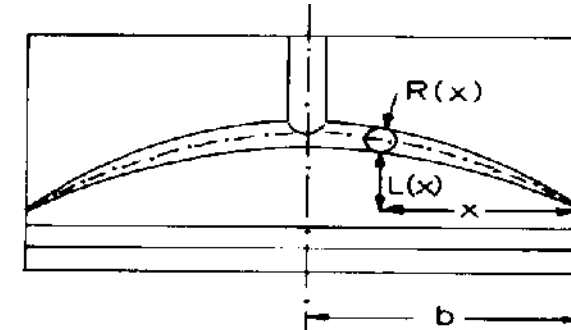
# EKSTRUZJA FOLII ODLEWANEJ: typowa konstrukcja matrycy



T-DIE



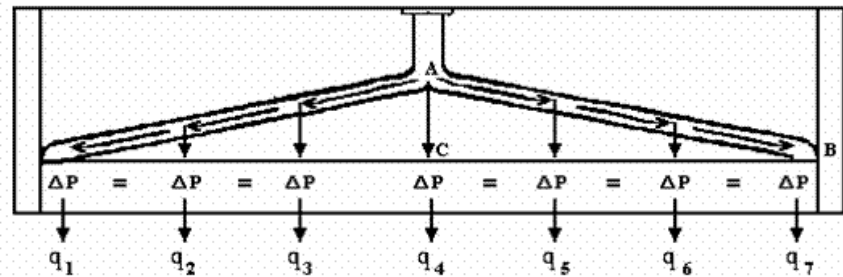
FISHTAIL DIE



COATHANGER DIE

## KRYTYCZNY PROBLEM:

Konieczne jest zwymiarowanie ścieżki topnienia (przekroje poprzeczne dyszy wytłaczającej) tak, aby żądana ilość polimeru dotarła do każdego punktu dyszy (na całej jej szerokości) i z równomierną prędkością.



Aby zapewnić taką samą szybkość polimeru w każdym punkcie wyjścia z dyszy, natężenie przepływu ( $q$ ) i różnica ciśnień ( $\Delta P$ ) pomiędzy wejściem a wyjściem z dyszy wytłaczającej muszą być stałe na całej szerokości folii

Odległość między zewnętrznymi końcami odlewanej matrycy do wytłaczania (warg) można regulować na całej szerokości matrycy, dzięki czemu można regulować grubość folii i/lub zmniejszać wszelkie niejednorodności.

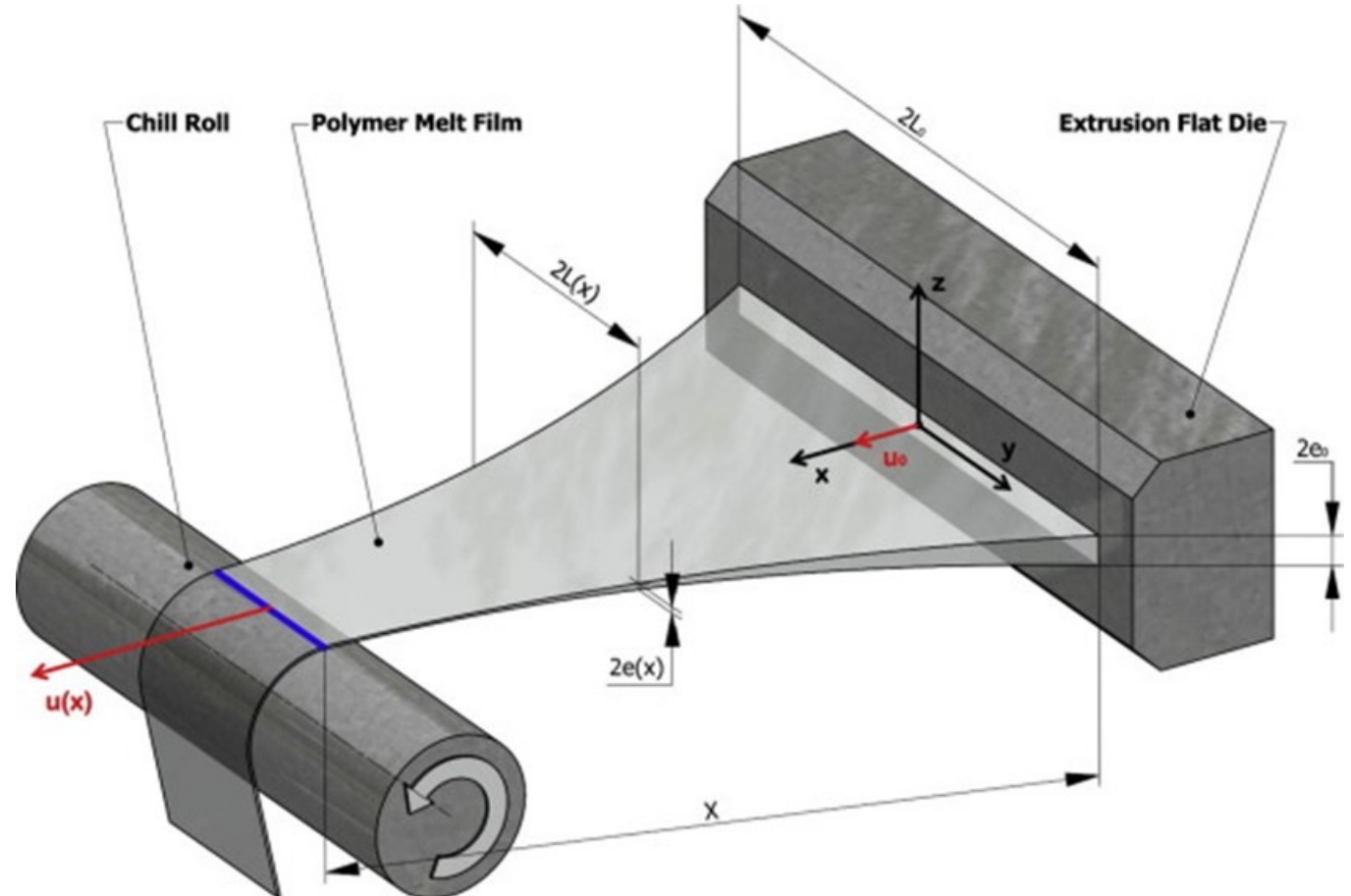
## JEDNORODNOŚĆ GRUBOŚCI FOLII ZALEŻY OD:

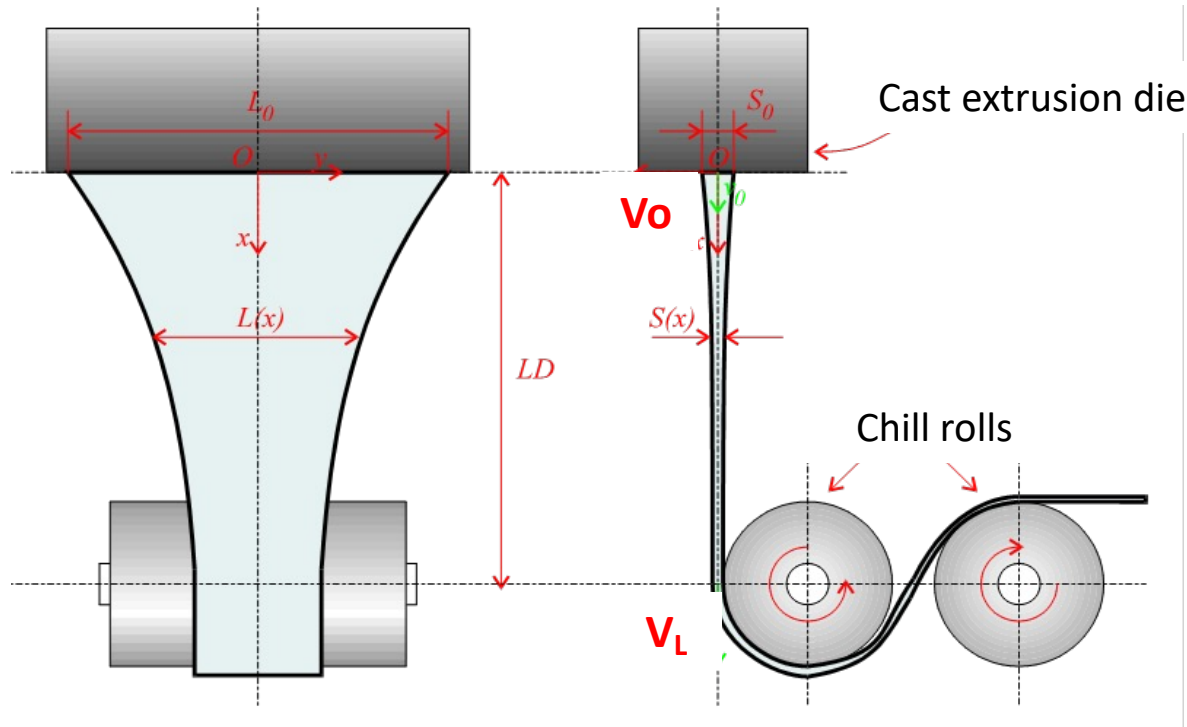
- ✓ jednolitości temperatury topnienia polimeru
- ✓ jednorodności temperatury matrycy
- ✓ czyszczenia matrycy wytłaczarki z ewentualnych produktów degradacji

Możliwe jest wytwarzanie folii o szerokości 2 metrów z jednorodnością grubości mniej więcej 3% na całej szerokości folii.

## EKSTRUZJA FOLII ODLEWANEJ: parametry przetwarzania

- TEMPERATURA WYTŁACZANIA
- TEMPERATURA ROLKI CHŁODZĄCEJ
- ODLEGŁOŚĆ ZBIORU (odległość między matrycą a rolką chłodzącą)
- WSPÓŁCZYNNIK NACIĄGU





PROFIL PRĘDKOŚCI ZMIENIA SIĘ WZDŁUŻ KIERUNKU  
ROZCIĄGANIA

Odkształcenie stopu:  
podczas zbierania na rolce chłodzącej materiał  
ulega odkształceniu podłużnemu



Współczynnik naciągu:

$$DR = V_L / V_0$$

$V_L$  = prędkość liniowa rolki

$V_0$  = wydajność wyjściowa stopionego  
polimeru



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

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

1.1. Podstawa procesów ekstruzji

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*

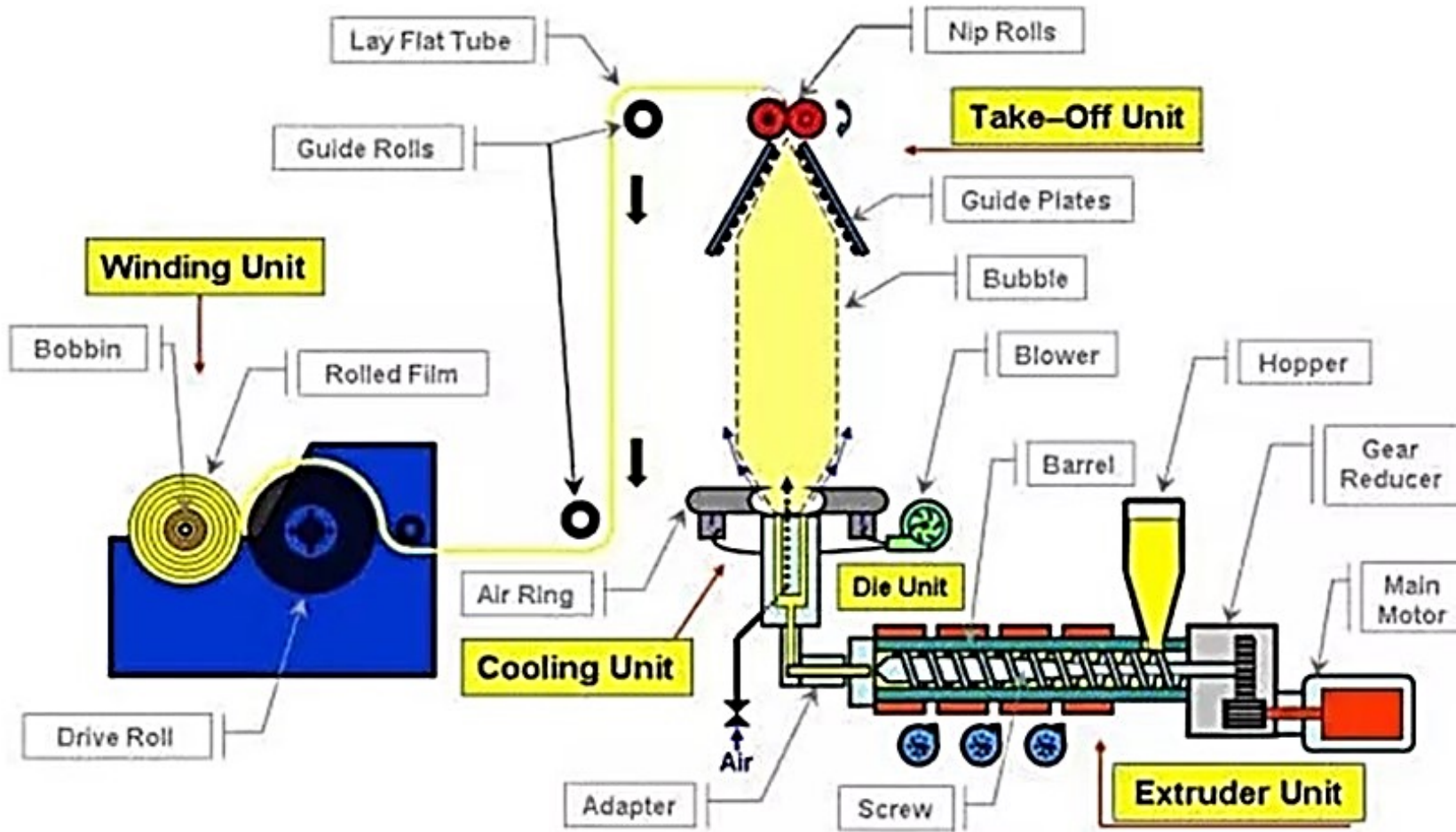
1.2.2. Rozdmuchiwanie folii

*Parametry przetwarzania dla procesu rozdmuchiwania folii*

*Współczynnik rozciągania i współczynnik rozdmuchu*

*Wysokość linii mrozu*

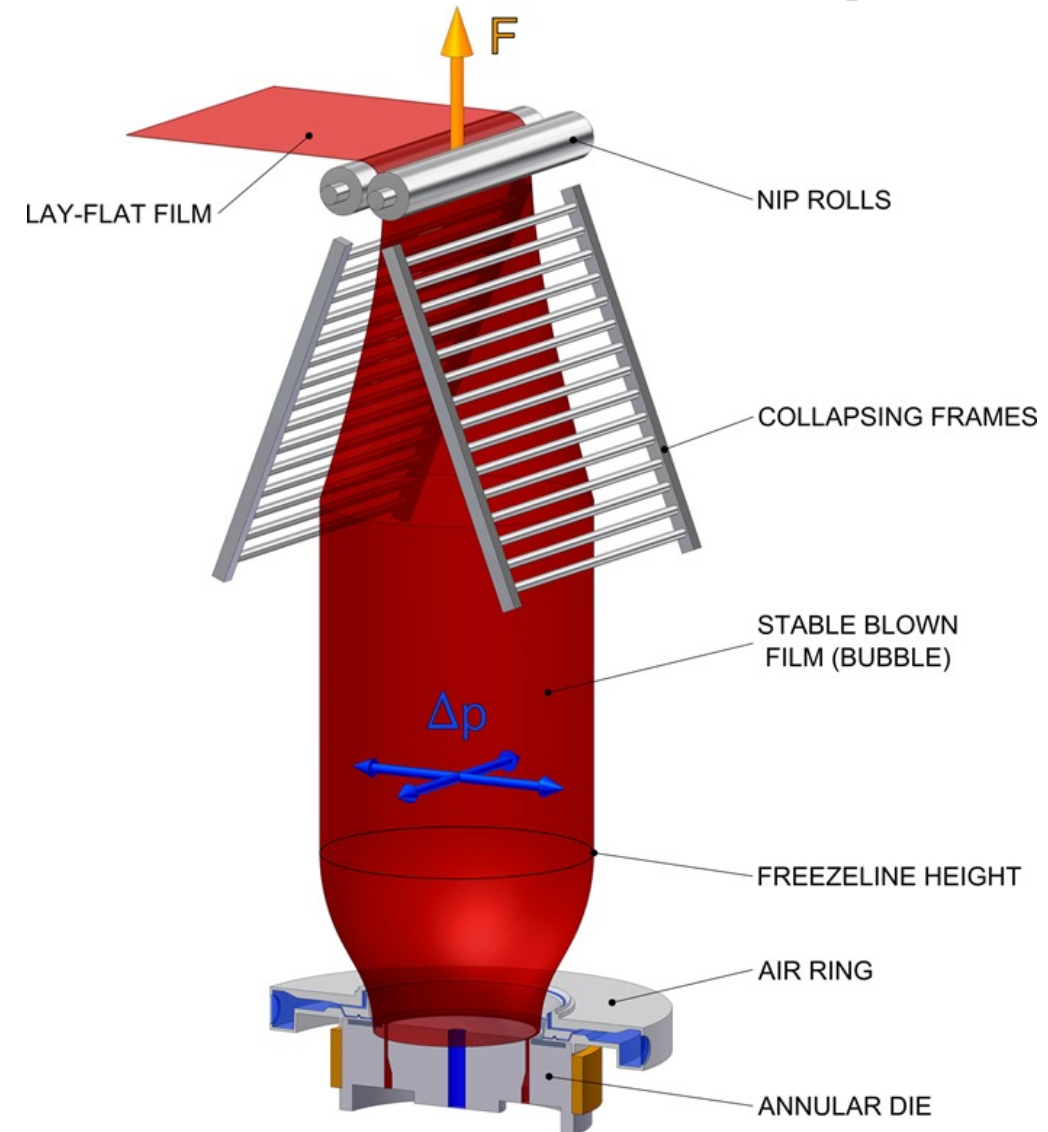
# EKSTRUZJA FOLII ROZDMUCHIWANEJ: główne jednostki maszyny



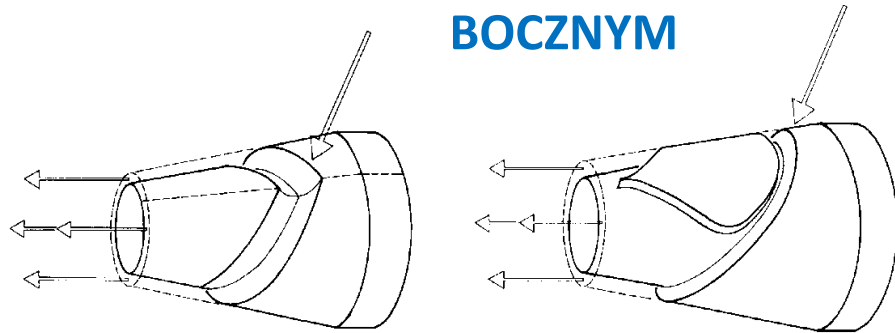
## EKSTRUZJA FOLII ROZDMUCHIWANEJ: opis procesu

**Wytłaczarka** topi żywicę i przetłacza ją przez pierścieniową matrycę. Wytłaczany stop, w postaci rury, płynie w górę pod wpływem pionowej siły „w kierunku maszyny”, przyłożonej za pomocą rolek dociskowych w pewnej odległości nad matrycą. Rura jest chłodzona za pomocą „pierścienia powietrznego”, który kieruje powietrze wzdłuż jej zewnętrznej powierzchni. Powietrze jest również wprowadzane przez otwór w matrycy, aby zapobiec zapadnięciu się rurki ze stopionego polimeru. Po wkręceniu rury pomiędzy rolki zaciskowe w celu utworzenia uszczelnienia powietrznego, wprowadzane jest dodatkowe powietrze i na pewnym poziomie powyżej krawędzi matrycy rura nadmucha się w kierunku promieniowym, tworząc „pęcherzyk”.

<https://www.youtube.com/watch?v=nNgVzqfesog>



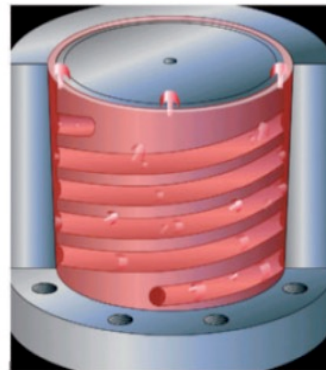
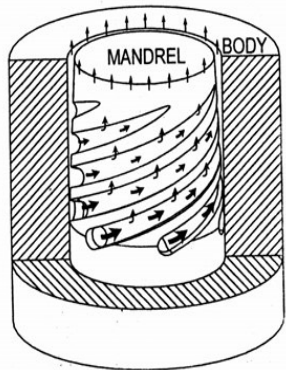
## MATRYCA Z PODAJNIKIEM BOCZNYM



Jest to najprostszy i najtańszy typ matrycy, ale ma pewne wady:

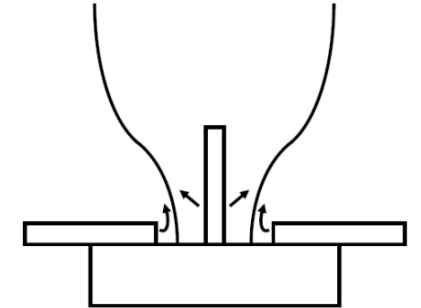
- linie spawania
- trudność w utrzymaniu jednorodności grubości powłoki

## SPIRALNY TRZPIEŃ MATRYCY



Przejście spiralne w osiowe zapewnia efekt mieszania, który w dużej mierze pozwala uniknąć linii spoin i umożliwia równomierne rozprowadzenie przepływu wokół trzpienia, co prowadzi do prędkości, a więc równomierności grubości na wyjściu matrycy.

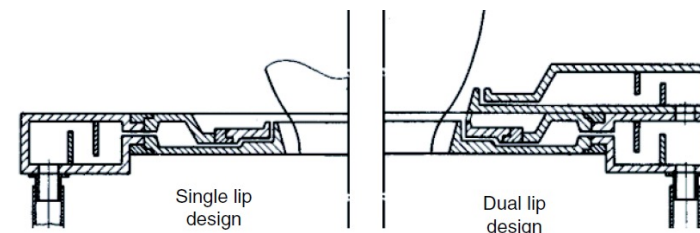
- ❑ Zwykle odbywa się to poprzez nadmuchanie dużej ilości powietrza na folię, gdy opuszcza ona matrycę
- ❑ Może mieć miejsce tylko na zewnątrz bańki lub zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz
- ❑ Jest to czynnik ograniczający maksymalizację przepustowości.

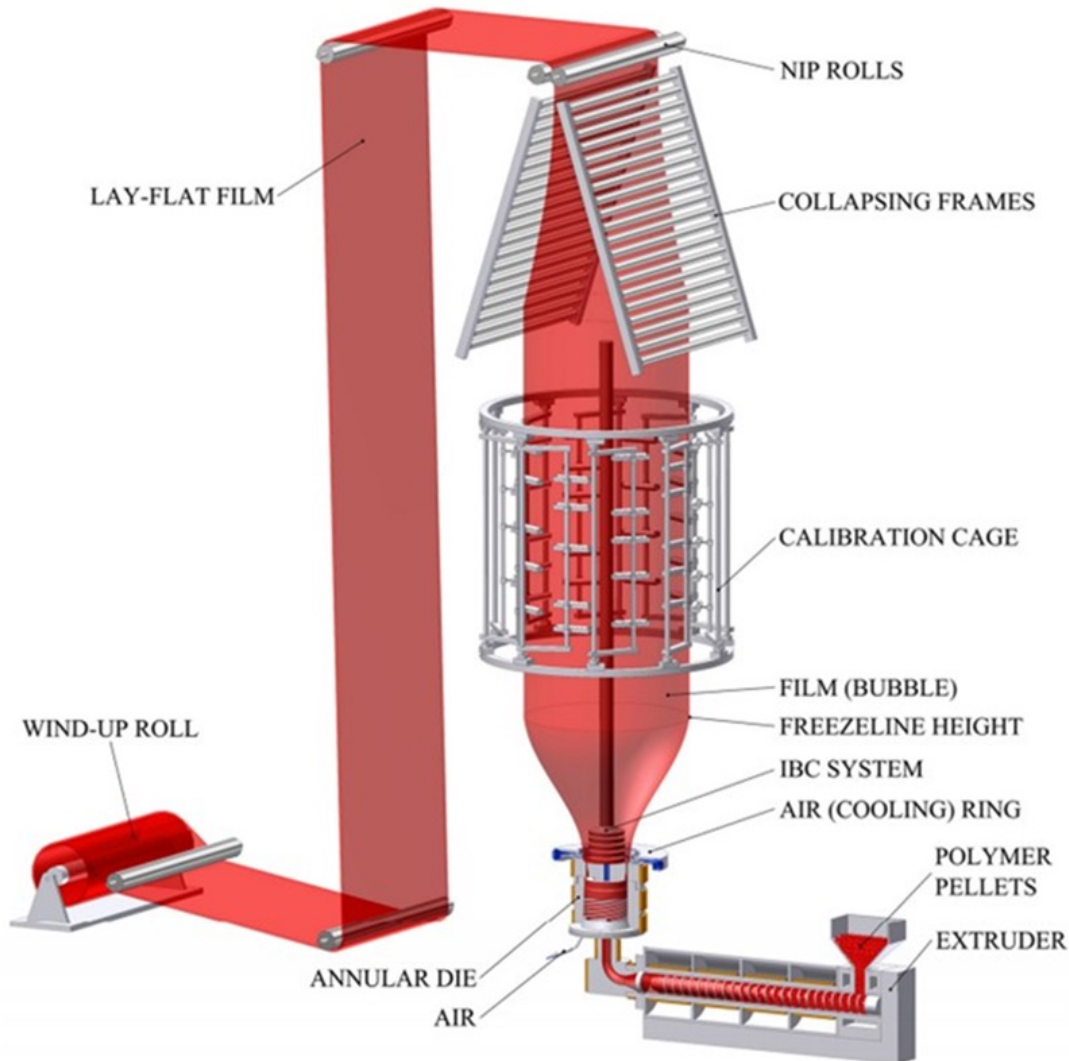


Za wydajność chłodzenia odpowiadają trzy podstawowe zmienne procesu:

1. prędkość powietrza - przy większej prędkości powietrza więcej ciepła jest usuwane z folii w jednostce czasu
2. temperatura powietrza - Chłodniejsze powietrze szybciej odprowadzi ciepło, ale użycie schłodzonego powietrza zwiększa koszty przetwarzania, więc należy osiągnąć równowagę
3. wilgotność powietrza — jeśli używane jest powietrze otoczenia, wilgotność będzie się zmieniać sezonowo i może mieć wpływ na wydajność chłodzenia.

URZĄDZENIEM ODPOWIEDZIALNYM ZA CHŁODZENIE  
JEST PIERŚCIENŃ POWIETRZA.



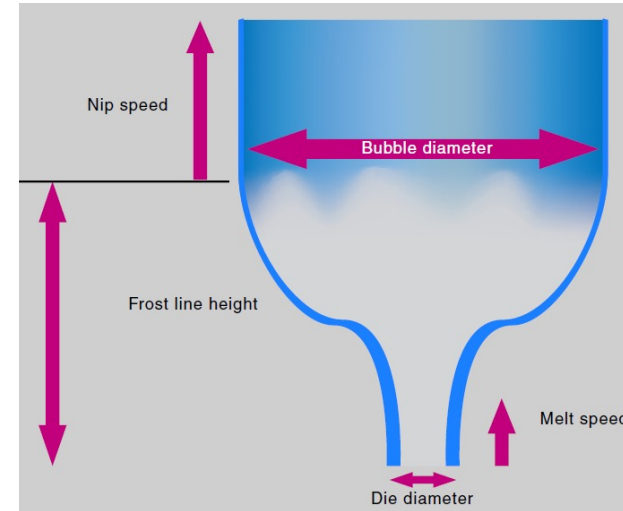


Pęcherzyki są zwykle stabilizowane zewnętrznie za pomocą urządzeń takich jak **KLATKA**, aby uniknąć ruchu pęcherzyka, który spowoduje niejednorodną grubość ścianek

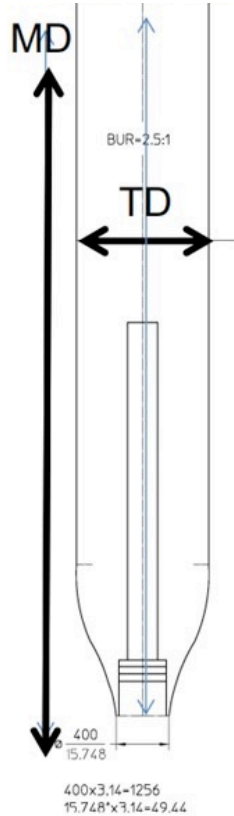
- ❑ Gdy bańka porusza się w górę i zbliża się do rolek zaciskowych, jest „wstępnie spłaszczana” przez **ZWIJAJĄCE SIĘ RAMY**. To urządzenie zapewnia płynne przejście od kształtu okrągłej rury do kształtu spłaszczonej rury.
- ❑ Zapadająca się rama pomaga również wyeliminować zmarszczki w produkcie końcowym.

Istnieje kilka parametrów używanych do opisanie geometrii pęcherzyka:

- ❑ Średnica matrycy
- ❑ Szczelina matrycy
- ❑ Wysokość linii mrozu (FLH)
- ❑ Średnica pęcherzyka ( $D_b$ )
- ❑ Grubość folii
- ❑ Szerokość na płasko (LF)



- ✓ „**LINIA MROZU**” reprezentuje część na pęcherzu, w której jasność folii gwałtownie spada, co oznacza przejście stanu polimeru ze stanu stopionego do stałego. Dalsze rozciąganie następuje powyżej tego punktu. Odległość od czoła matrycy do linii szronu nazywana jest **wysokością linii mrozu (FLH)**.
- ✓ Po przejściu folii przez rolki dociskowe, spłaszczona folia charakteryzuje się szerokością na płasko. Dwukrotna szerokość płaskiej powierzchni odpowiada obwodowi bańki (or  $D_b = 2 LF/\pi$ ). To równanie jest poręcznym narzędziem do określania średnicy pęcherzyka.

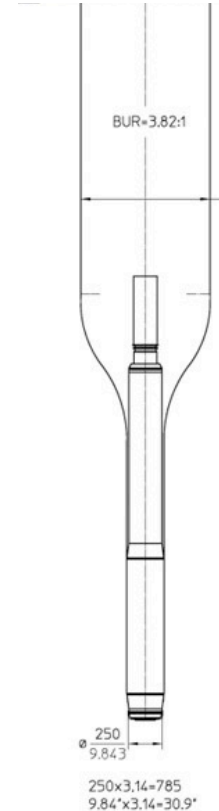


short  
neck

## THE POCKET BUBBLE

- ma niewielką lub żadną szypułkę
- zwykle jest dość stabilna, ponieważ powietrze chłodzące zapewnia wczesne krzepnięcie.

Ten kształt jest najczęściej używany do **LDPE**, **LLDPE** i **PP**.



long  
neck

## LONG STALK BUBBLE

- Rozciąganie TD jest opóźnione, dopóki polimer nie osiągnie niższej temperatury, co pozwala na bardziej stabilne roztopienie i zapewnia wyższe naprężenia podczas rozciągania TD.

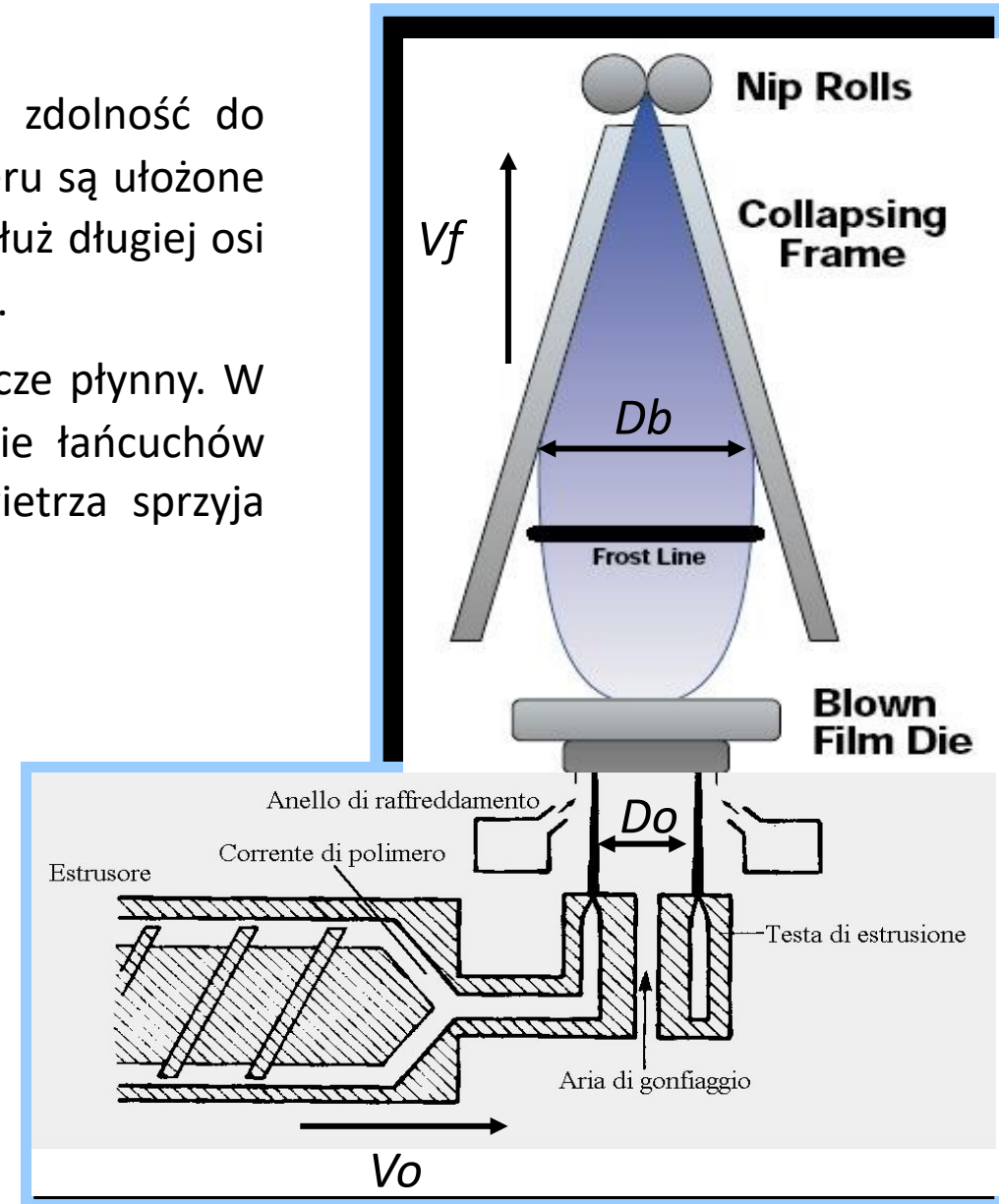
Ten typ jest używany głównie do **HDPE** ze względu na stosunkowo niską wytrzymałość stopu tego materiału.



- ❑ Najważniejszą cechą przetwarzania folii z rozdmuchiwaniem jest zdolność do nadawania **orientacji dwuosiowej**, co oznacza, że cząsteczki polimeru są ułożone w płaszczyźnie folii, tj. zarówno w kierunku maszynowym (MD, wzdłuż długiej osi bańki), jak i kierunek poprzeczny (TD, wokół kierunku obręczy bańki).
- ❑ Odształcenie następuje przed linią szronu, gdzie polimer jest jeszcze płynny. W tym obszarze działanie rolek dociskowych determinuje rozciąganie łańcuchów polimerowych w kierunku osiowym, podczas gdy nadmuchiwanie powietrza sprzyja rozciąganiu polimeru w kierunku poprzecznym.

Aby określić ilościowo orientację:

- $TUR = V_f / V_0$  (Take Up Ratio)
- $BR = D_b / D_0$  (Blow Up Ratio)



Kilka zmiennych procesowych współpracuje ze sobą, aby określić geometrię pęcherzyka:

- Szybkość topienia (jest kontrolowana przez prędkość ślimaka, ale nie jest taka sama jak prędkość ślimaka)
- Prędkość chwytu
- Objętość wewnętrznego bąbelka
- Szybkość chłodzenia (prędkość i temperatura powietrza chłodzącego)

Istnieje kilka innych zmiennych procesowych, które wpływają na geometrię pęcherza, takich jak temperatury procesu, konstrukcja matrycy, skład materiału wsadowego i właściwości przepływu polimeru, ale na ogół pozostają one stałe dla danego przebiegu.

Variable to increase	Film thickness	Bubble diameter	Frost-line height
Nip speed	↓*	↑	↑
Screw speed	↑*	↑	↑
Cooling speed	↑	↓	↓*
Bubble volume	↓	↑*	↓

\* Primary response

**Źródło:** Kirk Cantor, *Blown Film Extrusion, An Introduction*



# 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.

