



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE  
WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

## Praca dyplomowa magisterska

*Analiza procesu produkcji biodegradowalnych naczyń  
jednorazowych z wykorzystaniem metodologii WCM*

Analysis of the production process of biodegradable disposable tableware using  
the WCM methodology

Autor:  
Kierunek studiów:  
Opiekun pracy:

*Weronika Wyroba*  
Zarządzanie i Inżynieria Produkcji  
*dr inż. Mariusz Niekurzak*

Kraków, 2020



*Upředzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „ Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w bład co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystyczne wykonanie albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie. ”, a także upředzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.) „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem -koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej "sądem koleżeńskim"”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem ze źródeł innych niż wymienione w pracy.*

Kraków 22.11.2020 , .....

## Spis treści

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | Wprowadzenie .....   | 5  |
| 1.1.   | Cel i zakres pracy .....   | 6  |
| 2.     | Wstęp teoretyczny .....  | 7  |
| 2.1.   | Tworzywa sztuczne .....  | 7  |
| 2.1.1. | Podział i przykłady tworzyw sztucznych.....                            | 8  |
| 2.1.2. | Otrzymywanie polimerów.....  | 11 |
| 2.1.3. | Metody przetwórstwa.....   | 13 |
| 2.2.   | Tworzywa sztuczne a zdrowie.....                                       | 18 |
| 2.3.   | Tworzywa sztuczne a ekologia .....                                     | 19 |
| 2.3.1. | Ograniczenie wpływu tworzyw sztucznych na środowisko.....              | 24 |
| 2.3.2. | Przykład procesu recyklingu na podstawie butelki PET .....             | 26 |
| 2.4.   | Proces biodegradacji .....   | 27 |
| 2.4.1. | Materiały biodegradowalne .....  | 30 |
| 2.4.2. | Badanie stopnia degradacji tworzyw w środowisku naturalnym .....       | 33 |
| 2.5.   | Nowoczesne materiały naturalne do produkcji naczyń jednorazowych ..... | 34 |
| 3.     | Proces produkcji produktów jednorazowych z tworzywa sztucznego.....    | 39 |
| 3.1.   | Metodologia WCM i jej zastosowanie.....                                | 41 |
| 4.     | Analiza procesu produkcji naczyń biodegradowalnych .....               | 44 |
| 5.     | Wnioski.....   | 47 |
| 6.     | Bibliografia .....   | 48 |

## 1. Wprowadzenie

Naczynia oraz opakowania jednorazowe – używane są na świecie przez większość ludzi w bardzo dużych ilościach. Czy to w przypadku spotkań towarzyskich, oficjalnych wydarzeń firmowych, czy podczas wszelkiego rodzaju szkoleń. Na każdym kroku spotykamy się z zastawą jednorazową. Cechuje się ona tym, że możemy jej użyć tylko raz, później nadaje się tylko do wyrzucenia.

Najbardziej popularnym materiałem na takie naczynia są wszelkiego rodzaju tworzywa sztuczne, które niestety nie są ekologiczne. Rozkład jednego talerzyka bądź widelca może trwać nawet 100 lat. Obecnie coraz częściej słyszy się o naczyniach jednorazowych wykonywanych z materiałów, które można ponownie przetworzyć i są w pełni biodegradowalne. Do takich materiałów należą między innymi: CPLA (mączka kukurydziana), trzcina cukrowa, PLA, otręby oraz skrobia pozyskana z ziemniaków.

Metodologia WCM, czyli *World Class Manufacturing*, w tłumaczeniu na język polski Produkcja Klasy Światowej to metoda doskonalenia cyklu logistyki produkcji. Jej głównym założeniem jest wzrost poziomu produktywności, jak również poprawa zdolności technicznej procesu produkcyjnego.

Poprzez wprowadzenie metodologii WCM w swoich procesach produkcyjnych, każda jednostka dąży do osiągnięcia coraz lepszych wyników, czyli do samodoskonalenia. Wymaga to ciągłego usprawniania, ulepszania i wszystkiego co może przyczynić się do eliminacji wszelkiego marnotrawstwa. Takie działania można określić mianem filozofii Kaizen.

Wprowadzając wszystkie usprawnienia, o których zostało wspomniane powyżej, firma produkcyjna staje się bardziej ekologiczna, co w dzisiejszych czasach, w których środowisko zmagają się z dużymi problemami, jest niezwykle ważne.

## 1.1. Cel i zakres pracy

**Celem pracy** jest wykonanie analizy procesu produkcji biodegradowalnych naczyń jednorazowych z wykorzystaniem metodologii WCM.

Praca składa się z części teoretycznej i praktycznej. Praca podzielona została na 4 rozdziały. W pierwszym rozdziale przedstawiono krótkie wprowadzenie w analizowaną tematykę. Kolejny rozdział to przegląd dostępnej literatury, opisano w nim tematykę dotyczącą polimerów i tworzyw sztucznych, metod ich otrzymywania oraz przetwarzania. Ponadto, w pracy opisano aspekty ekologiczne, dotyczące ograniczenia wpływu tworzyw sztucznych na środowisko oraz przedstawiono stopień ich degradacji. W kolejnym rozdziale opisano proces produkcji produktów jednorazowych z tworzywa sztucznego, przedstawiono metodologię WCM oraz jej główne założenia.

W części praktycznej przeanalizowano proces produkcji jednorazowych naczyń biodegradowalnych z otrębów z uwzględnieniem aspektu ekologicznego.

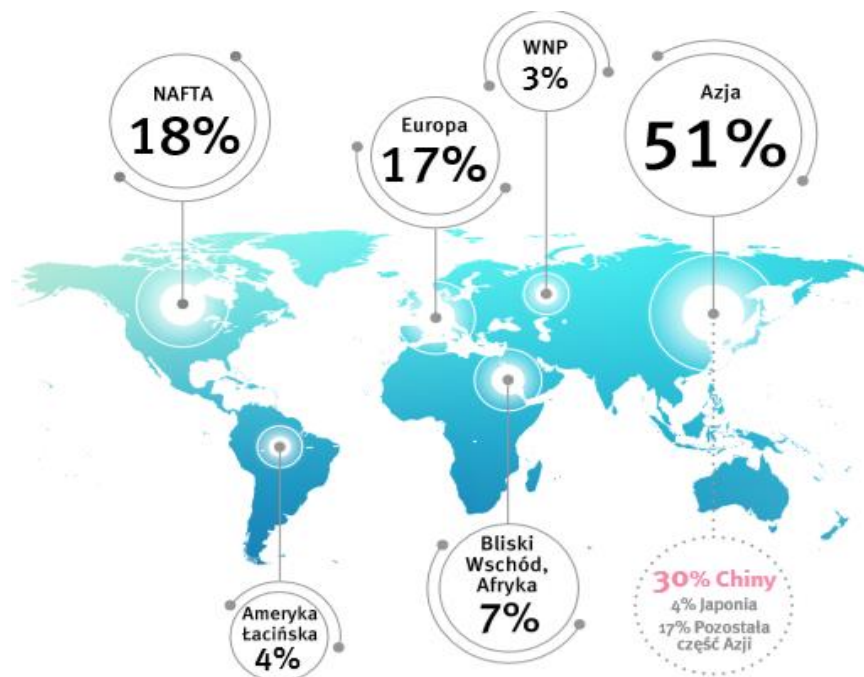
## 2. Wstęp teoretyczny

### 2.1. Tworzywa sztuczne

Tworzywa sztuczne są to materiały, w których skład wchodzi polimery (wielocząsteczkowe związki chemiczne) naturalne bądź syntetyczne – tzn. wytworzone przez człowieka, niewystępujące w naturze oraz wszelkiego rodzaju dodatki, dzięki którym da się zaprojektować materiał o wymaganych właściwościach fizykochemicznych oraz mechanicznych. Przykładami takich substancji są napelniacze, barwniki bądź środki spieniające. [1],[2]

Tworzywa sztuczne mają szereg pozytywnych cech, które wyróżniają je na tle innych materiałów, są to niska cena, łatwość i dowolność w formowaniu najróżniejszych kształtów, odporność na korozję, wysoka wytrzymałość, niska przewodność cieplna i elektryczna, wysoka odporność chemiczna oraz odporność na uderzenia. [1]

Najwięcej takich materiałów produkowanych jest obecnie w Chinach (osiągają one poziom ok. 30 % światowej produkcji). Dla porównania w Polsce co roku każdy obywatel zużywa około 75 kg tworzyw sztucznych. Jest to bardzo wysoki wskaźnik – znajduje się znacznie powyżej średniej unijnej. Na rysunku 1 przedstawiono procentowy udział poszczególnych kontynentów w światowej produkcji tworzyw sztucznych: [1],[3]



Rysunek 1. Światowa produkcja tworzyw sztucznych w roku 2018 [3]

W 2018 roku światowe zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne wyniosło 51,2 mln ton. Zagłębiając się dalej w statystyki – najczęściej tworzyw trafia do przemysłu opakowań (np. żywność, napoje, woda) oraz do budownictwa (np. rury, materiały izolacyjne, okna). Ważne są one również w przemyśle motoryzacyjnym oraz w gospodarstwie domowym, sporcie i wypoczynku – zależności tą przedstawiono na rysunku 2 [1],[3].



*Rysunek 2. Zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne w zależności od segmentu zastosowań [3]*

### 2.1.1. Podział i przykłady tworzyw sztucznych

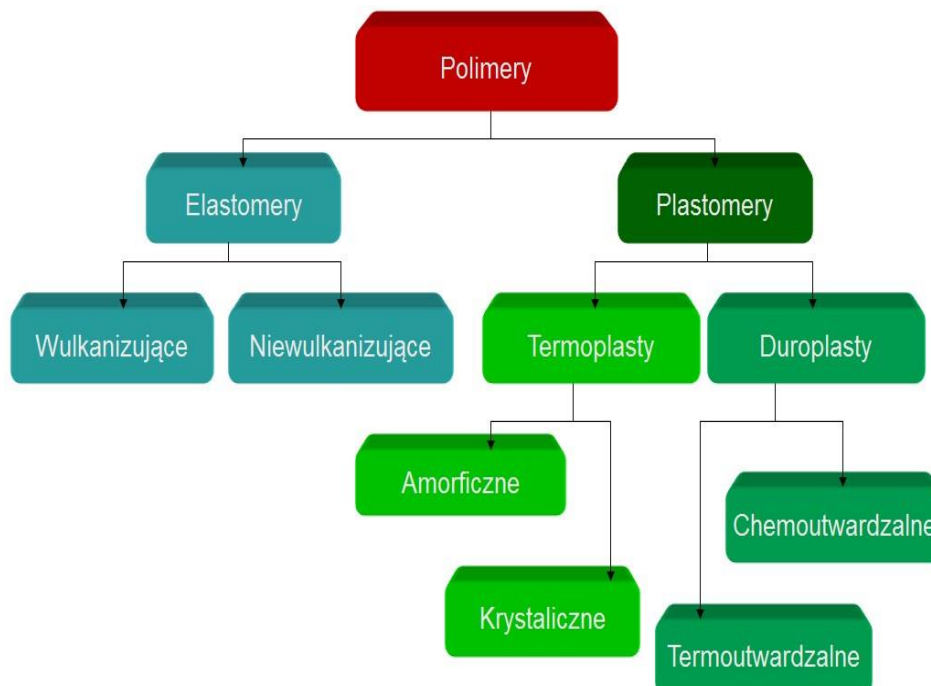
Polimery, to związki tzw. wielkocząsteczkowe, liniowe substancje o bardzo dużych cząsteczkach, gdzie określenie wzoru strukturalnego jest trudne, a czasami niemożliwe. Cząsteczki polimerów składają się z powtarzających się sekwencji, które nazywają się merami. [5],[6]

Tworzywa sztuczne można podzielić ze względu na ich właściwości, np. właściwości termo i sprężysto plastyczne, pochodzenie.

Stosując pierwszy wymieniony podział wyróżnia się [4]:

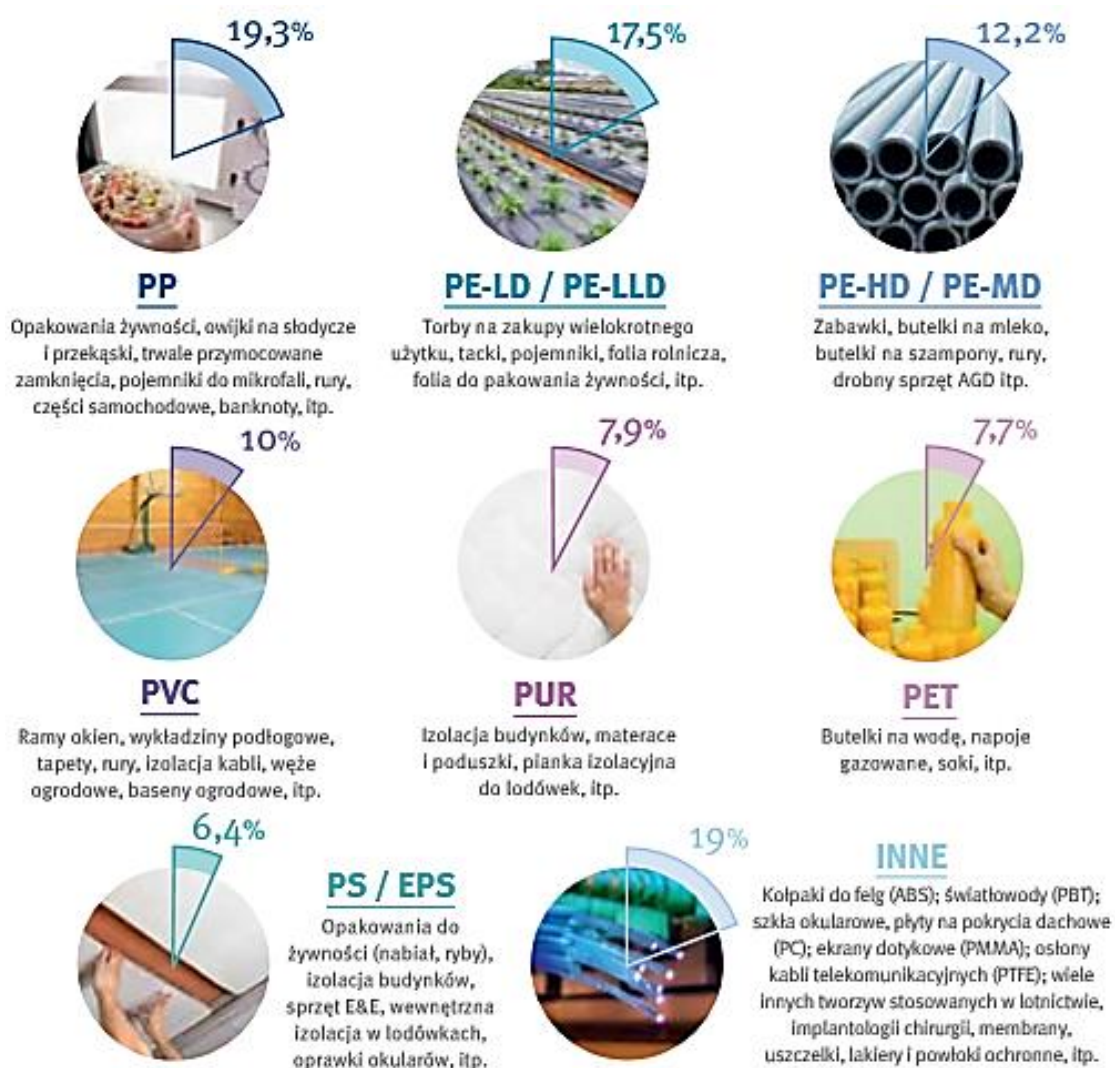
- **elastomery** – polimery, które mają zdolność do dużych odkształceń i wydłużeń (mogą one przekraczać 100 %), które występują pod wpływem zewnętrznej siły mechanicznej, w temperaturze pokojowej. Po ustąpieniu przyłożonej siły materiał wraca do pierwotnej postaci;
- **plastomery** – polimery, których odkształcenie nie przekracza 100 % oraz następuje pod wpływem temperatury. Dzielą się one na polimery termoplastyczne (termoplasty) oraz polimery utwardzalne (duroplasty):
  - termoplasty – polimery, które pod wpływem wzrostu temperatury mięknią, natomiast po ponownym jej spadku z powrotem twardnieją, jest to proces odwracalny oraz powtarzalny (przykład zastosowania: modyfikacja betonu). Przykładem takiego polimeru jest polietylen, polipropylen, polistyren;
  - duroplasty – polimery, które po odkształceniu poddane działaniu związków chemicznych, zwanych utwardzaczami (chemoutwardzalne) bądź temperatury (termoutwardzalne), zachowują kształt – jest to proces nieodwracalny (przykład zastosowania: odlewy elektroniczne). Przykładem polimerów termoutwardzalnych jest żywica epoksydowa.

Na rysunku 3 przedstawiono podział polimerów ze względu na ich właściwości:



**Rysunek 3.** Podział polimerów [8]

Polimery ze względu na pochodzenie dzielą się na: polimery naturalne i syntetyczne. Polimery naturalne to np. białka – występujące w komórkach roślinnych i zwierzęcych; celuloza – bardzo ważny składnik ścian komórek roślin; kauczuk naturalny – otrzymywany z soku poszczególnych drzew tropikalnych. Natomiast polimery syntetyczne to polimery od początku wytwarzane przez człowieka, np. polietylen, polipropylen, poli(chlorek winylu) [7]. Na rysunku 4 przedstawiono przykłady zastosowania polimerów.



**Rysunek 4.** Przykłady zastosowania konkretnych polimerów\* [3]

\* rozwinięcie skrótów nazw polimerów: PP – polipropylen, PE – polietylen, PVC – poli(chlorek winylu), PUR – poliuretan, PET – poli(tereftalan etylu), PS – polistyren

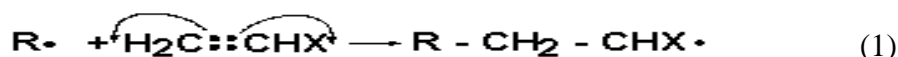
### 2.1.2. Otrzymywanie polimerów

Polimery otrzymywane są z merów w wyniku reakcji polimeryzacji. Ze względu na mechanizm tej reakcji można wyróżnić polimeryzację addycyjną oraz polikondensację. [9],[10]

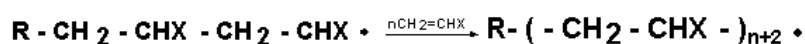
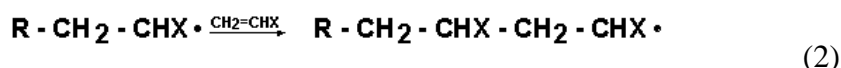
Polimeryzacja addycyjna występuje w przypadku reakcji monomerów nienasyconych – posiadających w swojej strukturze wiązania wielokrotne, które w wyniku tej reakcji pękają. W tej reakcji nie powstają żadne związki poboczne. [9]

Proces polimeryzacji addycyjnej jest wieloetapowy:

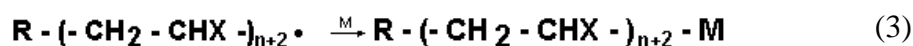
1. Etap inicjacji: następuje aktywacja monomeru – powstaje aktywny jon lub rodnik (zależy to od zastosowanego inicjatora oraz rodzaju polimeryzacji, może być jonowa lub rodnikowa). W wyniku tego etapu powstaje produkt przejściowy, który w dalszej części reakcji będzie się łączył z kolejnymi monomerami [9]:



2. Etap wzrostu łańcucha: produkt przejściowy łączy się z kolejnymi monomerami. Ten etap składa się z bardzo szybko przebiegających reakcji łańcuchowych, wynikiem których jest otrzymanie makrocząsteczki, która może składać nawet z 10 000 cząstek monomerów [9]:



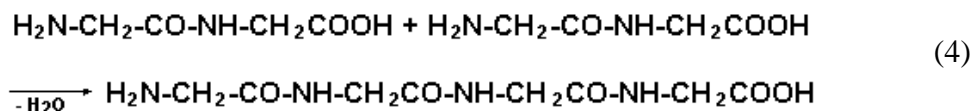
3. Etap zakończenia wzrostu łańcucha: w tym etapie następuje koniec wzrostu łańcucha polimeru oraz dezaktywacja rodników bądź jonów [9]:



Polimery otrzymywane w wyniku tej reakcji to np. polietylen, polistyren, poli(chlorek winylu). [9],[10]

Natomiast polikondensacja jest to reakcja, której mechanizm polega na wielu następujących po sobie reakcjach kondensacji pomiędzy monomerami, w jej wyniku powstaje produkt uboczny, którym bardzo często jest cząsteczka wody bądź inna nieorganiczna mała cząsteczka, np. amoniak, chlorowodór. Reakcja pomiędzy dwoma

takimi samymi monomerami to homo polikondensacja, natomiast reakcja pomiędzy różnymi to hetero polikondensacja [9]:



Jest wiele przykładów polimerów wytwarzanych w tej reakcji, jednak najbardziej popularne to: poliamidy, poliuretany, poliestry. [9],[10]

Niekiedy reakcje tworzenia polimerów nie przebiegają schematycznie, wyjątkiem może być np. synteza poliuretanów, dlatego dokładniejsza charakterystyka reakcji tworzenia polimerów opiera się na mechanizmach reakcji. Ważnym aspektem jest tutaj sposób, w jaki następuje wzrost cząsteczki polimeru, czy przebiega on w sposób łańcuchowy i reakcje następują po sobie, czy w sposób lawinowy. [9]

W tabeli 1 przedstawiono cechy charakterystyczne oraz porównanie powyżej opisanych reakcji poliaddycji i polikondensacji:

**Tabela 1.** Porównanie reakcji [5],[9]

| <b>Polimeryzacja addycyjna</b>  | <b>Polikondensacja</b>  |
|---|---|
| Monomer posiada grupy funkcyjne, które wymagają aktywacji                   | Monomer posiada grupy funkcyjne zdolne do bezpośredniej reakcji           |
| Konieczna jest inicjacja reakcji  | Brak konieczności inicjacji reakcji                                       |
| Polimeryzacja łańcuchowa  | Polimeryzacja stopniowa   |
| Brak produktów ubocznych reakcji  | Występują produkty uboczne reakcji  |
| Skład polimeru i monomeru jest taki sam                                     | Różny skład chemiczny polimeru i monomeru                                 |
| Stopień polimeryzacji jest równy ilorazowi masy molowej polimeru i monomeru | Stopień polimeryzacji charakteryzowany przez średnią masę molową polimeru |
| Zwykle proces nieodwracalny   | Zwykle proces odwracalny  |
| Monomer o wysokiej czystości chemicznej                                     | Istotna jest liczba grup funkcyjnych w monomerze                          |

### 2.1.3. Metody przetwórstwa

Przetwórstwo tworzyw sztucznych jest bardzo istotnym tematem, ponieważ jest to zbiór działań i zjawisk, dzięki którym polimer staje się gotowym do użycia produktem. Najbardziej istotnym etapem jest nadawanie tworzywom sztucznym ostatecznego kształtu. Bardzo dużą zaletą tworzyw sztucznych jest to, iż przy niewielkim udziale energii oraz w odpowiednich warunkach można im nadać dowolny kształt – wiąże się to z niskimi kosztami produkcji skomplikowanych kształtów na skalę masową w porównaniu z innymi materiałami. [10]

Nadanie odpowiedniego kształtu tworzywu odbywa się dzięki zdolności materiałów do odkształceń w stanie płynnym, a następnie utwardzeniu wyrobu za pomocą chłodzenia (termoplasty) lub sieciowania (duropłasty). [10]

Tworzywo sztuczne może zostać poddane obróbce tylko w określonym składzie cząsteczki, odpowiedniej strukturze oraz postaci. Do tego celu służą specjalne czynności, które nazywają się procesami obróbki wstępnej i ich zakres obejmuje produkcję polimeru z surowych produktów, poprzez reakcję polimeryzacji, aż do gotowego tworzywa sztucznego gotowego do formowania. W zależności od rodzaju tworzywa oraz późniejszej metody przetwórstwa dobiera się odpowiednią metodę przygotowawczą:

- rozdrabnianie – takie metody polegają na działaniu mechanicznym na materiał i eliminacji sił kohezji, które tam występują, np. mielenie w młynach kulowych, granulowanie w granulatorach nożowych;
- mieszanie wstępne – metoda ta umożliwia równomierne rozmieszczenie wszelkiego rodzaju dodatków w tworzywie w stanie ciekłym, co gwarantuje odpowiednie ich działanie w całej objętości wyrobu gotowego, przykłady takich maszyn to mieszalnik V oraz mieszalnik statyczny;
- homogenizacja – metoda ta gwarantuje utrwalenie jednorodnej mieszanki; po stopieniu zawartego w mieszance polimeru otrzymuje się ciecz o bardzo dużej lepkości, która zostaje poddana ścinaniu – stałe składniki ulegają rozdrobnieniu, natomiast całość dodatkowo jest mieszana, cały ten proces zachodzi w mieszalniku ciśnieniowym;
- konfekcjonowanie – ma na celu otrzymanie tworzywa sztucznego w postaci granulatu, możliwe jest to dzięki połączeniu procesu homogenizacji

z dodatkowymi elementami tnącymi, np. nożami krążkowymi, które tną tworzywo w określony granulat;

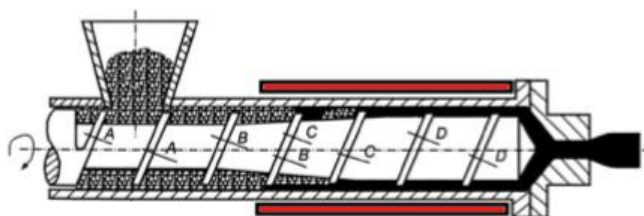
- suszenie – jest to bardzo istotna metoda wstępnego przygotowania tworzywa, ponieważ wilgoć podczas przetwórstwa może negatywnie wpłynąć na estetykę oraz właściwości gotowego produktu, np. suszenie w złożu fluidalnym, suszenie próżniowe. [10]

W zależności od kształtu oraz przeznaczenia wyrobów stosuje się różne metody przetwórstwa tworzyw sztucznych, jednak do najbardziej popularnych metod można zaliczyć między innymi: wytłaczanie, wytłaczanie z rozdmuchem, wtryskiwanie, prasowanie, kalandrowanie, formowanie rotacyjne, odlewanie i wiele innych. [10]

Krótkie opisy oraz schematy mechanizmów kilku popularnych metod formowania tworzyw sztucznych przedstawiają się następująco:

## I. WYTŁACZANIE

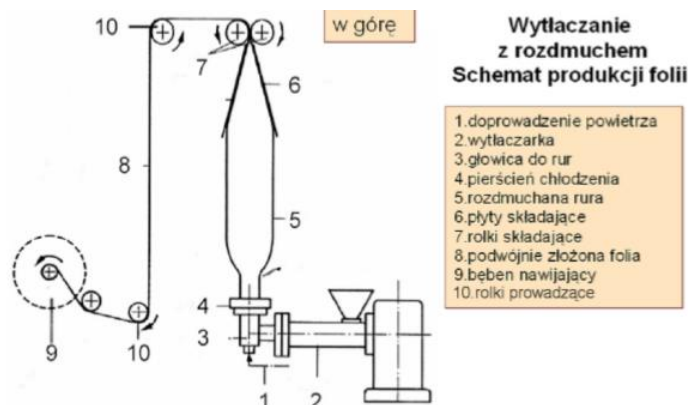
Tworzywa sztuczne do tego procesu mają postać granulatu, płatków, wiór lub proszku. Tak przygotowane tworzywo wprowadzane jest do wytłaczarki za pomocą zasobnika, następnie przenoszone jest, np. za pomocą podajników ślimakowych, do cylindra – znajduje się tam ślimak, który cały czas się obraca, dzięki czemu tworzywo transportowane jest w głąb cylindra (rys.5). Kolejno tworzywo transportowane jest przez ogrzewaną część cylindra, gdzie ulega upłynnieniu i homogenizacji. Jednorodny materiał przenoszony jest do głowicy, gdzie tworzywo jest finalnie formowane i zachowuje kształt ustnika. [10],[11]



**Rysunek 5.** Schemat procesu wytłaczania [10]

## II. WYTŁACZANIE Z RODMUCHEM

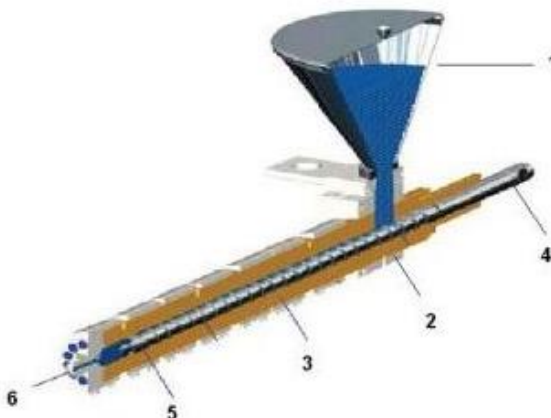
Mechanizm tej metody polega na wytworzeniu rury cienkościennej, która zostaje poddana natychmiastowemu rozdmuchaniu powietrzem o nieznacznym nadciśnieniu (rys.6). Tak otrzymany materiał zostaje odebrany za pomocą urządzenia odbierającego. Na skalę produkcyjną stosuje się proces „w górę”, który jest łatwy do kontrolowania. [11]



**Rysunek 6.** Schemat wytłaczania z rozdmuchaniem [11]

## III. WTRYSKIWANIE

Jest to metoda cykliczna, w której wykorzystywany jest materiał w postaci granulatu. Tworzywo transportowane jest do ogrzewanego cylindra, gdzie zostaje stopione. Następnie tworzywo w takiej postaci zostaje wtrysnięte przez dyszę do gniazda formującego. W tym miejscu zostaje ono zestalone i usunięte z formy, w postaci gotowej i utwardzonej wypraski (rys. 7). W ten sposób przebiega cykl procesu, po usunięciu z formy gotowego wyrobu, proces rozpoczyna się od nowa. [10]



**Rysunek 7.** Schemat procesu wtryskiwania: 1- zasobnik, 2 – elementy grzewcze, 3 – cylinder, 4 – ślimak, 5 – zawór zwrotny, 6 – dysza wtryskowa [12]

#### IV. ODLEWANIE ROTACYJNE

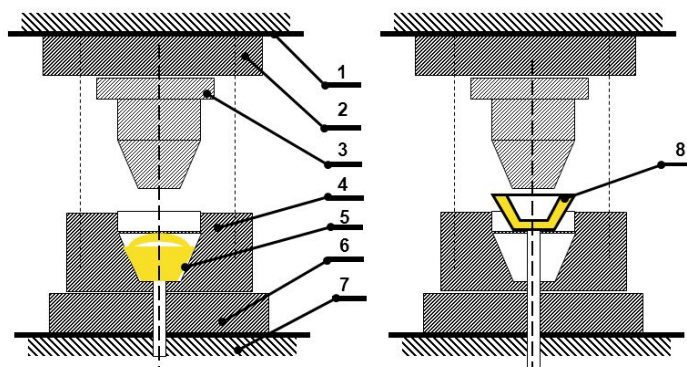
W tej metodzie wykorzystywana jest siła odśrodkowa. Tworzywo w postaci granulatu wprowadzane jest do formy, gdzie ulega stopnieniu w jej gnieździe. Następnie forma zaczyna się obracać, dzięki czemu tworzywo ulega zestaleniu (rys. 8). Kolejno forma jest zatrzymywana i z jej środka wyjmowany jest gotowy odlew. [13]



Rysunek 8. Forma do odlewania rotacyjnego [13]

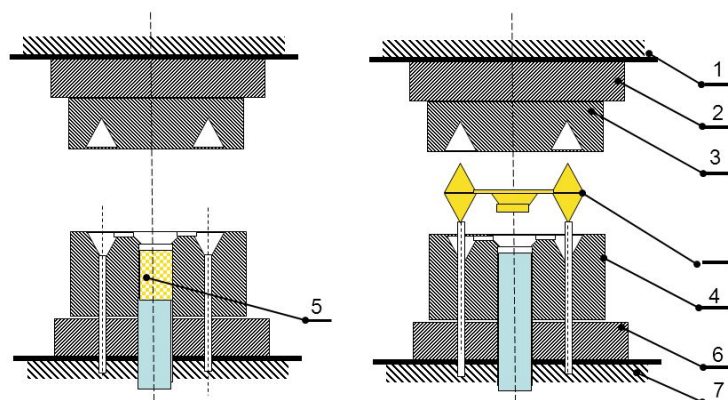
#### V. PRASOWANIE

Tworzywo chłodne lub wstępnie ogrzane wprowadzane jest do zamkniętego gniazda formującego. Następnie materiał ulega uplastycznieniu i stopnieniu, dzięki czemu forma jest wypełniona tworzywem bardzo dokładnie. Kolejno materiał zostaje zestalony i jest gotowy do wyjęcia z formy (rys. 9). Rodzaje prasowania: tłoczne i przetłoczne (rys. 10). [10]



Oznaczenia: 1.stół ruchomy, 2 płyta mocująca formę do stołu ruchomego, 3. stempel, 4. matryca, 5. zasypane tłoczywo, 6. płyta mocująca stała, 7. stół stały dolny, 8. wypraska

Rysunek 9. Schemat prasowania tłoczego [13]



Oznaczenia: 1.stół ruchomy, 2 płyta mocująca formę do stołu ruchomego, 3. stempel, 4. matryca, 5. zasypane tłoczywo do komory przetłoczonej, 6. płyta mocująca stała, 7. stół stały dolny, 8. wypraska

**Rysunek 10.** Schemat prasowania przetłocznego [13]

W tabeli 2 zostały przedstawione metody przetwórstwa tworzyw sztucznych oraz kategorie gotowych wyrobów, które można otrzymać każdą z metod. Metody te są dosyć zróżnicowane, głównie ze względu na skomplikowanie kształtu oczekiwanych wyrobów, ich dokładność oraz właściwości tworzyw sztucznych. W poniższej tabeli przedstawiono podział metod przetwórstwa oraz przykładowe produkty. [5]

**Tabela 2.** Podział metod ze względu na otrzymywane wyroby [5]

| Metoda przetwórstwa               | Wyroby   |
|-----------------------------------|--|
| wytłaczanie                       | profile, rury, płyty, folie osłony kabli i profili   |
| wytłaczanie z rozdmuchem          | wyroby puste w środku: butelki, pojemniki  |
| kalandrowanie                     | folie, taśmy, panele, płyty  |
| wtryskiwanie                      | kształtki, np. pojemniki, pokrywki, szczoteczki do zębów, skrzynki na butelki, naczynia, koła zębate, obudowy      |
| prasowanie                        | kształtki, płyty, korpusy, profile, laminaty, płyty drukowane, gniazdka i wtyczki                                  |
| formowanie rotacyjne              | duże zbiorniki, kubły na śmieci, beczki, zbiorniki paliwa  |
| spienianie                        | bloki, płyty, taśmy, kształtki, różnego typu pianki  |
| odlewanie                         | folie, bloki, kształtki, powłoki   |
| termoformowanie                   | kubki, opakowania, wanny, kadłuby łodzi, różne wyroby o małej grubości ścianki i dużych rozmiarach, obudowy, meble |
| wytłaczanie powlekające i wylanie | powlekanie tkanin, papieru, drewna i blach   |
| odlewanie i zalewanie             | różnego typu kształtki, hermetyzacja wyrobów   |
| odlewanie ze spienianiem          | wypełnienia pustych przestrzeni, powłoki, duże kształtki   |

## 2.2. Tworzywa sztuczne a zdrowie

Obecnie każdego dnia mamy do czynienia z tworzywami sztucznymi w każdej dziedzinie. W niektórych przypadkach nawet nie zdajemy sobie z tego sprawy, ale na ten moment ciężko sobie wyobrazić bez nich codziennie życie. Jednak, nie każdy materiał jest korzystny dla naszego zdrowia, dlatego nie każdy powinien mieć np. styczność z żywnością. [14]

Na wszystkich opakowaniach, począwszy od kosmetyków aż po żywność oraz zabawki dla dzieci umieszczone są symbole, które dokładnie określają z jakim materiałem mamy do czynienia. Na rys.11 przedstawiono przykładowe symbole graficzne oraz ich znaczenie:



Rysunek 11. Przykładowe oznaczenia tworzyw sztucznych [14]

**1 – PET** – bardzo popularne oznaczenie, można je spotkać na naczyniach jednorazowych oraz wszelkiego rodzaju opakowaniach, np. butelkach po wodzie mineralnej. Jest to materiał bardzo trwały, ale bardzo toksyczny dla ludzkiego zdrowia – zaburzają gospodarkę hormonalną, oraz środowiska – dla przykładu butelka z PET ulega rozkładowi przez około 100 lat. Rzeczy z takim oznaczeniem nie powinno się podgrzewać, wystawiać na działania słońca oraz ponownie używać.

**2 – HDPE** – polietylen o bardzo wysokiej gęstości, jest jednym z najbardziej bezpiecznych tworzyw sztucznych. Można go wielokrotnie wykorzystywać, przechowywać w nim żywność. Z tego materiału wykonuje się: opakowania na mleko, rury, opakowania na chemię gospodarczą. Jako dużą zaletę można również uznać, że materiał ten jest w 100% ekologiczny i nadaje się do całkowitego recyklingu.

**3 – PVC** – bardzo szkodliwy zarówno dla człowieka, jak i środowiska poli(chlorek winylu). Może wydzielać toksyny szczególnie podczas procesu spalania. Ograniczono jego używanie jako opakowania dla żywności, wykonuje się z niego rury, stolarkę okienną, wykładziny podłogowe.

**4 – LDPE** – dosyć bezpieczny polietylen, który charakteryzują się małą gęstością. Jest bezwonny i mało odporny termicznie, można go powtórnie używać. Wytwarza się z niego wiele rodzajów opakowań, także do żywności, np. folię spożywczą, opakowania na musztardę, bądź wszelkiego rodzaju sosy, torebki foliowe.

**5 – PP** – uznaje się go za jeden z bezpieczniejszych i nie wywołujących wpływu na organizm tworzyw sztucznych, dopóki nie podgrzeje się go do bardzo wysokiej temperatury, która powoduje szybki rozkład, natomiast nie wpływa na niego bardzo niska temperatura, dlatego można go przechowywać w zamrażalce. Wykorzystuje się go do produkcji przykładowo kubeczków na jogurty, opakowań na margarynę, woreczków na sypkie produkty.

**6 – PS** – polistyren, najpopularniejszą odmianą tego tworzywa jest styropian. Jest szkodliwy dla zdrowia, może wydzielać toksyny, działa szkodliwie na układ nerwowy i ma działanie rakotwórcze, dlatego nie powinien być stosowany do produkcji opakowań do żywności bądź naczyń. Niestety często obecny jest w jednorazowych kubkach na gorące napoje bądź w pojemnikach na jedzenie serwowane na wynos.

**7 – inne** – tworzywa sztuczne, których nie da się jednoznacznie zidentyfikować. Nie powinny być używane do produkcji opakowań do żywności oraz nie powinno się ich ponownie używać, ponieważ w skład tej grupy wchodzi również tworzywa, które są szkodliwe. Przykładem takiego związku z tej grupy jest BPA – toksyczny bisfenol, który działa degradująco na układ nerwowy i może zwiększyć ryzyko zachorowania na depresję, schizofrenię czy Alzheimera. [14],[15]

### **2.3. Tworzywa sztuczne a ekologia**

Nie od dzisiaj wiadomo, że temat ekologii i dbania o środowisko jest bardzo ważny i wymaga coraz większego zaangażowania pośród ludzi. Już w 1970r. zagadnienie to było bardzo szeroko omawiane na światowej scenie politycznej, rok ten został nazwany European Conservation Year, czyli Rokiem Zachowania Środowiska w Europie. Czy coś zmieniło się od tego czasu? Można powiedzieć, że niewiele. Pomimo, że ciągle rośnie świadomość społeczeństwa dotycząca problemu, zapotrzebowanie na tworzywo sztuczne nadal wzrasta. Światowa produkcja tworzyw sztucznych w 2018 roku osiągnęła poziom

360 milionów ton rocznie, natomiast w samej Europie wyprodukowano 62 milionów ton. [3],[16]

Ocena cyklu życia produktu, pozwala ocenić wpływ tworzywa sztucznego na środowisko. Jest to technika, która określa potencjalne zagrożenie środowiska, skupia się nie tylko na końcowym efekcie, ale również na całym procesie technologicznym, poczynając od wytworzenia produktu, aż po jego recykling. Takie generalne spojrzenie na proces pozwala określić, który materiał jest najlepszy dla środowiska. [17],[18]

Jako przykład można podać badanie wykonane przez naukowców, którzy porównali ze sobą opakowanie po napoju wykonane ze szkła, PET oraz puszkę aluminiową. Podczas analizy wyników, na samym początku zwrócili oni uwagę na ilość wytworzonego CO<sub>2</sub> – butelki szklane generowały najwięcej tego szkodliwego gazu cieplarnianego w porównaniu z puszką oraz butelką PET. Porównując dalej, podczas produkcji puszek aluminiowych, jako produkt uboczny powstaje, tzw. czerwone błoto, które jest zabójcze dla ludzi oraz zwierząt i roślin. Z obserwacji wynikało, że najlepsza dla środowiska będzie butelka PET, która ma na nie najmniejszy wpływ, jednak czas jej rozkładu jest niewyobrażalnie długi i trwa od 100 do 1000 lat. [19],[20]

Taką butelkę można oczywiście poddać recyklingowi, jednak nie jest to takie proste jakby się mogło wydawać. Na butelkę składają się takie elementy jak: nakrętka, uszczelka oraz etykieta – każde wykonane z innego materiału, a co za tym idzie mają różną temperaturę topnienia, co uniemożliwia stopienie jej w całości w jednym procesie, co z kolei generuje wysokie koszty. W Polsce tylko niewielką ilość odpadów poddaje się takiemu procesowi recyklingu. [20]

W tym przypadku bardzo ważnym aspektem jest segregacja odpadów. Jest to istotne również ze względu na wspomniany już recykling tworzyw sztucznych – jeśli odpady są w odpowiedni sposób segregowane to istnieje możliwość poddania ich recyklingowi na większą skalę. W Polsce na początku 2020 roku weszły w życie nowe zasady segregowania śmieci, powstały dokładne wytyczne jakie odpady wrzucać do odpowiednich pojemników. Największą jednak zmianą jest to, że stało się to obowiązkowe. Na skale całego kontynentu, najlepiej z segregacją śmieci radzi sobie Szwecja oraz Niemcy. W Szwecji dzieci od najmłodszych lat uczone są dbania o środowisko i wyrzucania papierków w odpowiednie miejsca, nie do pomyślenia jest dla nich wyrzucenie chociażby małego papierka po cukierku na ziemię. Najlepiej widać to w statystykach: w Polsce na wysypiska trafia ok. 90% odpadów, w Szwecji – 3%.

W tabeli 3 przedstawiono czas rozkładu najczęściej używanych tworzyw sztucznych [19],[20]:

**Tabela 3.** Czas rozkładu przykładowych tworzyw sztucznych [20]

| MATERIAŁ          | PRZYKŁAD                  | CZAS                   |
|-------------------|---------------------------|------------------------|
| Tworzywo sztuczne | Butelka PET               | 100 – 1000 lat         |
|                   | Torba foliowa             | ok. 400 lat            |
|                   | Papierek po cukierku      | ok. 450 lat            |
|                   | Pielucha                  | ok. 450 lat            |
| Papier            | Bilet autobusowy          | 3 miesiące             |
|                   | Gazeta                    | 6 tygodni              |
| Metal             | Puszka                    | do 10 lat              |
|                   | Aluminiowa puszka         | do 200 lat             |
|                   | Szlachetne złoto / srebro | nie podlega rozkładowi |

Jeśli chodzi o globalne zaśmiecanie środowiska, najbardziej rzucającym się w oczy przykładem jest zanieczyszczanie mórz i oceanów. Obecnie szacuje się, że w oceanach może znajdować się nawet 150 milionów ton tworzyw sztucznych. Wynika to z wielu czynników, jednak główną przyczyną jest niewydolność systemu recyklingu, przeciążenie systemu zarządzania odpadami oraz ogromne zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne. Zanieczyszczenie to ma wielkie negatywne skutki dla środowiska i różnorodności biologicznej, powoduje wymieranie zagrożonych gatunków roślin i zwierząt, wpływa również na różne gałęzie gospodarki, takie jak turystyka, żegluga, rybołówstwo, nie mówiąc już o zdrowiu ludzi. [21][22]

Wielka Pacyficzna Plama Śmieci znajdująca się na Pacyfiku, pomiędzy Hawajami a Kalifornią (rys. 12-13), osiągnęła niewyobrażalne rozmiary: 130 000 ton odpadów i 1,6 mln km<sup>2</sup> – to około 5 razy więcej niż powierzchnia naszego kraju. Jest to jeden z 5 takich tworów na świecie. [23]

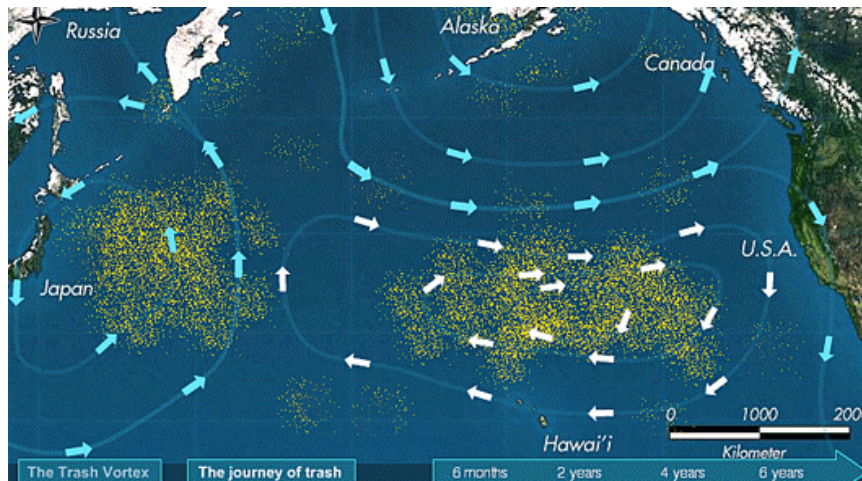


**Rysunek 12.** Lokalizacja Wielkiej Pacyficznej Plamy Śmieci [23]



**Rysunek 13.** Wyspa śmieci na oceanie [23]

Tworzenie się takiego pływającego wysypiska śmieci jest bardzo proste – prądy morskie, wiatry oraz pływy zbierają pływające plastiki, co powoduje tworzenie wirujących plam, których powierzchnia, zliczając wszystkie istniejące plamy śmieci na świecie, pokrywa około 40% powierzchni oceanów. Na rysunku 14 przedstawiono strzałki, które odpowiadają występującym prądom morskim oraz rozmieszczenie plam śmieci na Oceanie Spokojnym: [23]



**Rysunek 14.** Mapa rozkładu wysp śmierci na Oceanie Spokojnym [23]

Wprowadzane są już doraźne sposoby walki z zanieczyszczeniem oceanów: w Stanach Zjednoczonych, szczególnie w Kalifornii wprowadzono zmiany w kanalizacji, zastosowano elementy mechanicznie filtrujące odpady, co spowodowało ograniczenie ilości tworzyw sztucznych wpadających do wód przybrzeżnych. Również w tym samym miejscu wprowadzono zakaz używania jednorazowych torebek foliowych. [23][24]

Podsumowując, aby uniknąć utonięcia w odpadach nie tylko z tworzyw sztucznych, ale wszystkich produkowanych przez człowieka, należy zwiększać świadomość ludzi odnośnie tego problemu, zmusić ich w jakikolwiek sposób do segregowania odpadów, dzięki czemu znacznie ułatwiony będzie recykling tych odpadów. W dobrze rozwiniętych krajach w Europie, takich jak Szwajcaria, Szwecja Niemcy bądź Dania, wykorzystywany jest jeszcze jeden sposób na ponownego wykorzystania odpadów - wykorzystywane są do odzyskiwania z nich energii. Najpopularniejszą formą odzyskiwania energii są spalarnie miejskie, przykładem może być Wiedeń, gdzie spalarnia znajduje się w centrum miasta. Produkowanie paliw alternatywnych SRF - *Solid Recovered Fuel* jest kolejną formą odzyskiwania energii – proces ten polega na koncentracji kalorycznej odpadu, a następnie przetworzenie go zgodnie ze specyfikacjami. Tak wytworzone paliwa mogą być wykorzystywane np., w cementowniach, elektrociepłowniach bądź papierniach. [25]

Na rysunku 15 przedstawiono sposób zagospodarowania 29,1 miliona ton odpadów po konsumenckich (są to odpady po zakończeniu fazy użytkowania), które zostały zgromadzone w Europie w 2018 roku. [3]



**Rysunek 15.** Procentowy udział wykorzystania odpadów po konsumenckich w Europie w 2018r. [3]

W tabeli 4 przedstawiono procentowy udział tworzyw sztucznych, które składowane są obecnie na wysypiskach śmieci:

**Tabela 4.** Procentowy udział tworzyw sztucznych składowany na wysypiskach [28]

| L.p. | Tworzywo                                | Symbol         | %udział |
|------|---|----------------|---------|
| 1    | Polietylen                              | małej gęstości | 22      |
|      |   | dużej gęstości | 17      |
| 2    | Polipropylen                            | PP             | 23      |
| 3    | Poli(chlorek winylu)                    | PVC            | 18      |
| 4    | Poli(tereftalan etylenu)                | PET            | 7       |
| 5    | Polistyren                              | PS             | 7       |
| 6    | Kopolimer akrylonitryl- butadien-styren | ABS            | 4       |
| 7    | Poliwęglan                              | PC             | 2       |

### 2.3.1. Ograniczenie wpływu tworzyw sztucznych na środowisko

Parlament Europejski stworzył dyrektywę, która ma spowodować ograniczenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko. Dotyczy to głównie naczyń jednorazowych oraz pozostałych małych wyrobów i ich wykorzystania w życiu codziennym przez obywateli Unii Europejskiej. Dyrektywa została ostatecznie przyjęta w marcu 2019 roku i ma zostać wdrożona w 2021 roku. [26]

Wprowadzenie dyrektywy uzasadniono ciągle rosnącą ilością odpadów z tworzyw sztucznych zarówno w morzach, jak i oceanach. Ma to śmiertelny wpływ na cały ekosystem wodny, wiele gatunków zwierząt i roślin wymiera, natomiast skutki takiego zanieczyszczenia dotyczą bezpośrednio również człowieka i jego zdrowie. Jednocześnie zauważony został problem w gospodarce zarządzania odpadami – śmieci znajdujące się w morzach i oceanach stanowią dla ludzkości ważny materiał, który mógłby zostać ponownie wprowadzony do obrotu w gospodarce, w przetworzonej postaci. [26]

Głównymi założeniami przytoczonej dyrektywy jest ograniczenie i zapobieganie niekorzystnym skutków użycia tworzyw sztucznych dla środowiska – szczególnie dotyczy to środowiska wodnego, poprzez użytkowanie na ogólnoswiatową skalę określonych produktów jednorazowych. Odpady z takich przedmiotów są zazwyczaj lekkie, przez co bardzo łatwo są przenoszone przez wiatr oraz prądy morskie. Dyrektywa również zakłada bardziej drastyczne działania, a mianowicie całkowicie wyklucza z użytku niektóre produkty, np. jednorazowe słomki czy talerze z tworzywa sztucznego. [26]

Przedstawiona w takiej postaci dyrektywa może być rozumiana w jeszcze szerszej skali – mianowicie jest ona wstępem do wprowadzenia w całej Unii Europejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym – w obecnych czasach, kiedy popyt na tworzywa sztuczne ciągle wzrasta, kluczowym aspektem jest inteligentne zarządzanie zasobami. Tutaj bardzo ważnym czynnikiem jest wpływ wydobycia i wykorzystania surowców na środowisko i klimat na Ziemi. Mądre gospodarowanie i wykorzystanie ma szansę pozytywnie przyczynić się do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> oraz zużycia energii. [26],[27]

Na rysunku 16 przedstawiono typowy cykl gospodarki o obiegu zamkniętym:



**Rysunek 16.** Schemat gospodarki o obiegu zamkniętym [27]

Wdrożona dyrektywa ma również zapewnić wsparcie dla przedsiębiorstw, które będą proponować nowatorskie rozwiązania produktów wielorazowego użytku, nowych modeli działalności oraz alternatywnych, ekologicznych produktów jednorazowych. [26]

### 2.3.2. Przykład procesu recyklingu na podstawie butelki PET

Jako przykład procesu recyklingu tworzyw sztucznych posłużę się ponownym wykorzystaniem poli(tereftalanu etylenu), z którego produkowane są bardzo popularne obecnie butelki PET. Zapotrzebowanie na takie butelki jest niewyobrażalnie wysokie. Bardzo ciekawe obliczenia przeprowadzili Anglicy: podliczając wszystkie zużyte i wyrzucone butelki w ciągu zaledwie jednego roku, utworzyłyby one wieżę wysoką na 28 milionów kilometrów, co jest równoważne 73-krotnej odległości od Ziemi do Księżyca. Jeśli chodzi o recykling tego materiału, trwają intensywne badania i prace nad jego ponownym użyciem. Spotykane są już polary, bielizna, bluzy i skarpetki wykonane z przetworzonego tworzywa po butelkach. Dla przykładu na jedną bluzę potrzeba 35 butelek. Włókna otrzymane po recyklingu PET wykorzystywane są jako wypełniacze, np. do poduszek bądź materacy. [28]

Proces recyklingu butelek PET jest bardzo czasochłonny i wieloetapowy. Pierwszy etap polega na wstępnym sortowaniu odpadów za pomocą różnicy w gęstościach polimerów. Następnie butelki zostają poddawane prasowaniu i w formie bel dostarczane są do zakładu, w którym będą przetwarzane. Kolejny etap jest bardzo ważny, ponieważ polega na oddzieleniu innych polimerów od PET, nakrętki, zanieczyszczenia, itp. zostają usunięte, po czym następuje kolejne sortowanie odpadów, mianowicie butelki są rozdzielane ze względu na kolor. Później następuje oddzielenie naklejek i etykiet z butelek, mycie i suszenie odpadów. Tak przygotowany materiał

można poddać mieleniu na drobne płatki, które następnie zostaną stopione w wyciarkarce. Stopiony polimer zostaje poddany procesowi wyciarkania, jako produkt widoczne są nitki polimeru, które zostają pocięte na małe kawałeczki, zwane fachowo granulatem. Tak przetworzony materiał można ponownie użyć. [28]

#### 2.4. Proces biodegradacji

Ostatnimi czasy coraz więcej odpadów tworzyw sztucznych jest składowane na wysypiskach śmieci, zwiększa się przez to problem z ich zagospodarowaniem. Spowodowało to rozpoczęcie prac nad nowoczesnymi biodegradowalnymi materiałami polimerowymi. Powinny one charakteryzować się właściwościami tworzyw sztucznych (wytrzymałość, twardość, odporność na wysoką temperaturę, itp.), natomiast ich całkowity rozkład powinien zachodzić np. w wyniku kompostowania. Obecnie na całym świecie taki trend ulega ciągłemu postępowi, natomiast materiały biodegradowalne nowej generacji są produkowane na skalę przemysłową. [28]

Degradacja jest procesem wieloetapowym, który ma nieodwracalne skutki w rozkładzie tworzywa, powodując istotne zmiany w strukturze chemicznej – rozerwanie wiązań kowalencyjnych łańcucha głównego. Polimer traci właściwości użytkowe, pogarszają się jego właściwości mechaniczne, traci połysk, staje się przezroczysty, zmniejsza się jego masa cząsteczkowa, materiał staje się bardziej kruchy oraz zmianie ulega jego powierzchnia. [28],[29]

Proces degradacji można podzielić ze względu na czynniki, które go powodują:

- abiotyczna – zachodzi pod wpływem różnego rodzaju promieniowania: elektromagnetycznego, ciepła, aktywnych związków oraz sił mechanicznych;
- biotyczna – zachodzi pod wpływem działania czynników biologicznych, organizmów żywych, najczęściej są to enzymy produkowane przez bakterie, grzyby. Polimery, które ulegają temu procesowi można nazwać „zielonymi” – przyjaznymi środowisku, biodegradowalnymi. Biodegradacja może być właściwa (zdolność materiału do biodegradacji wyznaczona na podstawie badań laboratoryjnych, która odbyła się w warunkach idealnych, kontrolowanych) oraz całkowita/ostateczna (materiały ulegają rozkładowi za pomocą mikroorganizmów). [28],[30]

Proces biodegradacji, której dotyczy niniejszy rozdział, zachodzi dzięki procesom metabolicznym – są to reakcje biochemiczne, gdzie naturalnymi katalizatorami są enzymy produkowane przez mikroorganizmy. Na początku związek chemiczny, który ma ulec rozkładowi musi się dostać do środka bakterii – najczęściej zachodzi to dzięki procesowi dyfuzji biernej bądź specyficznemu systemowi transportowemu, przez błony cytoplazmatyczne oraz ścianę komórkową. Wewnątrz komórki przebiega mnóstwo reakcji, które powodują powstanie materii organicznej (biomasy), wody oraz gazów takich jak: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oraz NH<sub>4</sub>, jako produktów końcowych procesu biodegradacji (w zależności od warunków otoczenia). Zdarza się również, że proces biodegradacji kończy się poza komórką mikroorganizmów. Bardzo ważnym aspektem jest tutaj również pojęcie bioasymilacji. Jest to proces, który polega na przyswojeniu produktu biodegradacji przez środowisko. Ma to wielkie znaczenie patrząc przez pryzmat ekologii. [28],[30],[31]

Na proces biodegradacji mają wpływ następujące czynniki:

- **chemiczne i fizyczne:**

- promieniowanie słoneczne / foto degradacja – powoduje rozpad cząstek za pomocą promieniowania, jest to pierwszy etap rozkładu materiału, zaraz przed udziałem mikroorganizmów. Powoduje on zerwanie wiązań chemicznych dzięki energii świetlnej. Istnieją oczywiście wyjątki wśród polimerów, które nie absorbują tego rodzaju promieniowania – są to związki nieposiadające grup funkcyjnych, inicjacja procesu biodegradacji następują tutaj dzięki chromoforom (np. zanieczyszczenia produkcyjne, zanieczyszczenia atmosferyczne, śladowa obecność metali);
- degradacja utleniająca – rozkład zachodzący pod wpływem tlenu, jego szybkość zależy od obecności wiązań podwójnych w strukturze rozkładanego materiału. W przypadku najczęściej używanych polimerów, takich jak PE, PS bądź PP, proces utleniania zachodzi przed biodegradacją;
- temperatura – proces ten nie wpływa bezpośrednio na proces degradacji tworzyw sztucznych, jednak działa jako katalizator takich procesów jak hydroliza, utlenianie śladowych zanieczyszczeń bądź procesy fotochemiczne;

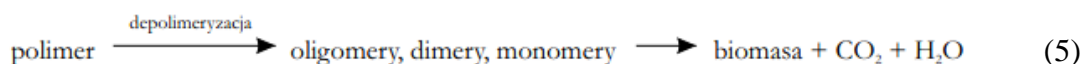
- woda – ma istotny wpływ na procesy degradacji, jednak jej skuteczność zależy od wielu czynników, zarówno fizycznych jak i chemicznych materiałów polimerowych. Jednak jej obecność jest nieoceniona, ponieważ powoduje hydrolizę oraz rozzerwanie nietrwałych wiązań, sprzyja tworzeniu się aktywnych grup oraz rozwojowi mikroorganizmów;

- **czynniki biologiczne:**

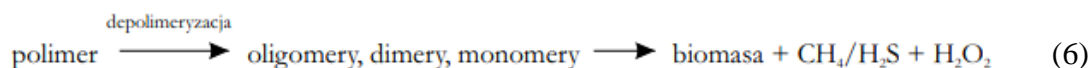
- mikroorganizmy – ich udział polega na rozkładzie złożonych cząstek organicznych do prostych związków za pomocą różnego rodzaju enzymów. [28],[29]

W procesie zachodzą różne reakcje biochemiczne w zależności od enzymu występującego w mikroorganizmach. Pierwszym rodzajem reakcji jest utlenianie, które zachodzi dzięki obecności enzymów reagujących z tlenem, który pełni istotną rolę w metabolizmie organizmów. Inną reakcją jest hydroliza enzymatyczna. W zależności od warunków otoczenia reakcji przebiegają one według poniższych schematów: [28]

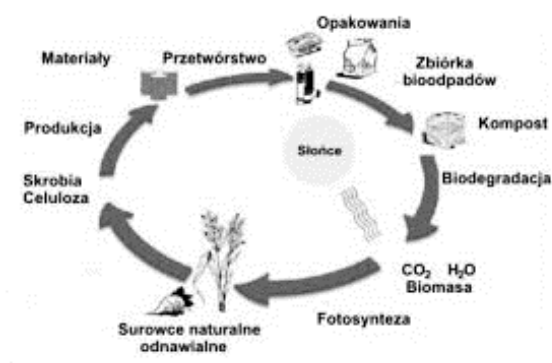
- biodegradacja aerobowa - w warunkach tlenowych:



- biodegradacja anaerobowa - w warunkach beztlenowych (występują one na wysypiskach śmieci, na większej głębokości ok. 2-3 metry, głęboko w glebie):



Na rysunku 17 przedstawiono schemat procesu biodegradacji:



Rysunek 17. Schemat procesu biodegradacji [28]

Szybkość reakcji biodegradacji jest zależna od wielu czynników. Rodzaj polimeru, jego powierzchnia właściwa, ciężar cząsteczkowy (im większy ciężar, tym niższy stopień rozkładu), stopień porowatości i twardości, budowa morfologiczna (struktura amorficzna polimerów lepiej ulega rozkładowi niż budowa krystaliczna), hydrofobowość / hydrofilowość (polimery hydrofilowe łatwiej ulegają biodegradacji), oraz warunki atmosferyczne procesu: temperatura, pH otoczenia, wilgotność, obecność mikroorganizmów oraz warunki odpowiednie dla ich rozwoju – to wszystko warunkuje szybkość i powodzenie procesu. Istnieje również kilka zależności tego procesu dotyczących budowy polimerów, które również mają wpływ na jego wynik:

- polimery, które w swojej strukturze w łańcuchu głównym posiadają hetero pierwiastki (atomy pierwiastków inne niż atomy węgla) – ulegają szybszemu rozkładowi za pomocą mikroorganizmów,
- struktury rozgałęzione charakteryzują się większą odpornością na mikroorganizmy niż struktury proste polimerów,
- rodzaj obecnych grup funkcyjnych również ma wpływ na proces biodegradacji, zależność wygląda następująco (kolejność od najbardziej do najmniej podatnych): estrowe > eterowe > amidowe > uretanowe. [28],[30]

Istnieje również kilka zabiegów, które pozwolą kontrolować podatność materiałów polimerowych na proces biodegradacji:

- wprowadzenie do otoczenia rozkładu substancji, które ulegają bio rozkładowi, np. celuloza czy skrobia,
- wprowadzenie do środowiska reakcji dodatkowych grup funkcyjnych, które są wrażliwe na rozkład fotochemiczny bądź hydrolizę, np. grupy estrowe,
- wprowadzenie do środowiska reakcji substancji działających katalitycznie na proces utleniania, będący wprowadzeniem do procesu biodegradacji. [28],[31]

#### **2.4.1. Materiały biodegradowalne**

Materiały biodegradowalne – pojęcia tego używa się w przypadku tworzyw, które całkowicie pochodzą z naturalnych źródeł oraz w przypadku tworzyw, które tworzą mieszaniny polimerów naturalnych z syntetycznymi, które albo w ogóle nie ulegają albo ulegają częściowej degradacji biologicznej. W takim przypadku rozkładowi ulegają tylko

niektóre składniki tworzywa, natomiast pozostałości są rozprowadzane w środowisku. Degradacja takiego materiału trwa średnio od kilku miesięcy do kilku lat, pomimo to w porównaniu z tradycyjnymi tworzywami sztucznymi, których rozkład może zająć nawet 1000 lat, jest to dość krótki czas rozkładu. [28],[31]

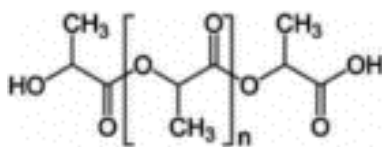
Materiały biodegradowalne można podzielić na dwie grupy:

- częściowo biodegradowalne: mieszaniny polimerów naturalnych i syntetycznych oraz kopolimery szczepione;
- całkowicie biodegradowalne: polimery naturalne, polimery syntetyczne z naturalnych monomerów, polimery syntetyczne z monomerów naturalnych i syntetycznych, polimery mikrobiologiczne oraz modyfikowane polimery naturalne. [28]

Produkcja materiałów biodegradowalnych nie jest jeszcze popularna na całym świecie, co skutkuje tym, że procesy produkcyjne nie są jeszcze do końca przetestowane, a ich doskonalenie ciągle trwa. Nadal występuje wiele problemów, z którymi muszą zmierzyć się producenci takich przedmiotów użytkowych. Konieczne są zmiany w technologiach produkcyjnych, które doprowadzą do ograniczenia ilości energii koniecznej do otrzymania takich tworzyw – jest ono około 10% większe niż zużycie wymagane do otrzymania tworzyw konwencjonalnych. Co więcej problem jest również w samych materiałach, ponieważ właściwości mechaniczne tworzyw biodegradowalnych są czasami znacznie gorsze niż tworzyw syntetycznych. [28]

Jednak dominującym aspektem jest fakt, że takie tworzywa ulegają całkowitemu rozkładowi dzięki biodegradacji, a co za tym idzie nie jest konieczne składowanie odpadów przez wiele lat – bardzo pozytywnie wpływa to na kondycję środowiska naturalnego. [28],[30]

Pierwszym przykładem takiego materiału jest *poli(kwas mlekowy)* – *PLA* [28]:



(7)

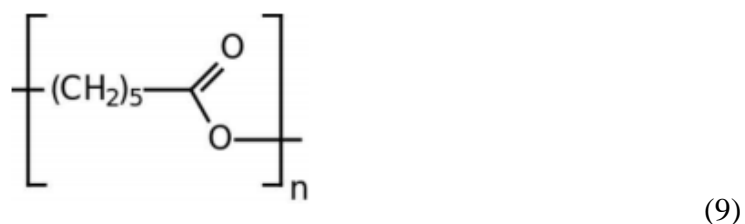
Jego otrzymywanie na skalę przemysłową zachodzi jedną z dwóch metod: polikondensacja kwasu mlekowego bądź polimeryzacja z otwarciem pierścienia cyklicznego laktydu. Istnieje również możliwość otrzymania tego materiału z mączki kukurydzianej. [28]

Kolejny przykład biodegradowalnego materiału to **polihydroksymaślan – PHB**. Jego wzór strukturalny przedstawiono na równaniu (8) [28]:



Jest to polimer należący do poliestrów alifatycznych, który ulega rozkładowi za pomocą bakterii z gleby, wód powierzchniowych czy ścieków. W przemyśle stosowany jest jako wypełniacz. [28]

Następny polimer, który możemy zaliczyć do tej grupy to **polikaprolakton – PCL** [28]:



Otrzymuje się go w reakcji polimeryzacji z otwarciem pierścienia kaprolaktanu. Stosowany jest do produkcji implantów oraz nici chirurgicznych – w organizmie człowieka zachodzą reakcje hydrolizy wiązań estrowych, co powoduje powolną, trwającą około 2 lata degradację tego materiału. [28]

Kolejny materiał to: **poli(kwas glikolowy) – PGA** [28]:



Poliester alifatyczny, który otrzymywany jest w reakcji polimeryzacji otwarcia pierścienia glikolidu. Charakteryzuje się wysoką sztywnością oraz odpornością na rozpuszczalniki organiczne. Stosowany jest w medycynie do produkcji nici

chirurgicznych, które są całkowicie resorbowalne – po około 14 dniach tracą 50% wytrzymałości, natomiast całkowitemu rozkładowi ulegają po około pół roku. [28]

#### **2.4.2. Badanie stopnia degradacji tworzyw w środowisku naturalnym**

Istota takich badań jest bardzo przydatna: pomagają one określić w jakim stopniu polimery ulegają degradacji, czas jaki do tego potrzebują, jak zachowują się produkty takiego rozpadu i jaki mają wpływ na środowisko. W tym badaniu oceniany jest stopień degradacji, czyli ocena zmian, które zachodzą w otoczeniu, gdzie przebiegał proces biodegradacji oraz zmian, które zachodzą w materiale na skutek oddziaływania na niego otoczenia i mikroorganizmów. [32]

Podczas wykonywania badania koniecznie trzeba zwrócić uwagę na następujące aspekty. Po pierwsze wielkość próbki musi być odpowiednia, ponieważ tworzywa sztuczne charakteryzują tendencję: im większa jest powierzchnia właściwa próbki, tym szybciej następuje rozkład. Dlatego próbka powinna być możliwie jak największa w stosunku do objętości całego układu, z jakiego pobiera się próbkę. Kluczową sprawą jest dobór podłoża do takiego badania – odbywa się to indywidualnie dla każdego materiału. Ziarna gleby powinny mieć około 2 mm średnicy, muszą umożliwiać swobodny dostęp tlenu i wody do próbek, jak również równomierny rozkład próbki w układzie badawczym. Temperaturę oraz pH również dobiera się odpowiednio w zależności od badanego materiału, z prowadzonych na przestrzeni lat badań wynika, że najbardziej optymalne wartości temperatury mieszczą się w zakresie 10-27°C. [28][32]

Bardzo często takie badania prowadzone są w podłożu kompostowym – mieszanka pozostałości roślinnych, takich jak trawy, liście, które uległy już rozkładowi, posiadająca odpowiednią ilość substancji mineralnych i organicznych. Rodzaj i wszystkie właściwości podłoża w tym przypadku ponownie dobiera się indywidualnie do badanego materiału. Temperatura prowadzenia badania jest wyższa niż w zwykłej glebie i oscyluje w granicach 56-65°C. W tym przypadku badane jest stężenie wydzielanego CO<sub>2</sub>, wilgotność środowiska, wartość pH oraz ilość zużytego O<sub>2</sub>. [28][32]

Jako środowisko takich badań stosuje się również układy wodne – w wodach rzecznych, w jeziorach, w specjalnie przygotowanych roztworach o odpowiedniej zawartości mikroorganizmów bądź związków chemicznych. Badaniu podlega tutaj

zużycie tlenu oraz ilość wydzielonego dwutlenku węgla, za pomocą różnych metod laboratoryjnych bada się ubytek masy materiału oraz jego skład chemiczny. [28]

## **2.5. Nowoczesne materiały naturalne do produkcji naczyń jednorazowych**

Pierwsze wzmianki o biodegradowalnych tworzywach sztucznych pojawiły się już w latach 90'. Jednak ich pojawienie nie przyniosło zamierzonych efektów i wielkiego przełomu w ekologii. Największą zaletą tych tworzyw jest ich szybki rozkład, jednak wtedy bardzo słabo wypadło to w badaniach. Przez wiele lat rozwój tych technologii doprowadził do momentu, w którym obecnie możemy kupować już produkty ulegające całkowitej degradacji. Najczęściej spotykane polimery naturalne / biopolimery to celuloza, skrobia, glikogen, kolagen – stanowią one bardzo ważny materiał budulcowy żyjących organizmów. Wykorzystywane w procesach produkcji przedmiotów użytkowych mogą spowodować ograniczenie niekorzystnego wpływu na środowisko, emisję gazów cieplarnianych oraz zużycie energii. [33]

Obecnie popularne jest wiele alternatywnych materiałów dla tworzyw sztucznych w produkcji naczyń jednorazowych. Poniżej znajduje się kilka przykładów, tych najbardziej popularnych oraz najciekawszych. [33]

### **I. PLA – poli(kwas mlekowy)**

Jest to polimer, który wspomniałam już w poprzednim rozdziale, gdzie opisałam w jaki sposób jest otrzymywany. Dodatkowo materiał ten otrzymywany jest z naturalnych surowców, takich jak mączka kukurydziana bądź przez procesy mikrobiologiczne w procesie fermentacji cukrów. [28]

Materiał ten otrzymany ze skrobi kukurydzianej wykorzystywany jest do produkcji naczyń jednorazowych. Najpierw skrobie umieszcza się w wysokiej temperaturze, gdzie eliminowana jest glukoza, która później zostaje poddana fermentacji na kwas mlekowy. Zebrany zostaje poddany procesowi polimeryzacji, czego produktem jest właściwy PLA. Ta skomplikowana produkcja zużywa około 65 % mniej energii niż wyprodukowanie tworzywa sztucznego z ropy. [34]

Naczynia jednorazowe z PLA mogą być poddane maksymalnie temperaturze 45 °C, dlatego takie opakowania nie nadają się ani do mikrofal ani do piekarnika. W niskich temperaturach -20/-25 °C materiał zacznie krzepnąć i łatwo ulega zniszczeniu, dlatego nie

nadaje się do zamrażarki, jednak bardzo dobrze poradzi sobie w lodówce. Materiał ten jest również odporny na wodę.

Z PLA może wytworzyć następujące naczynia jednorazowe: miski z wieczkami, np. na sałatki; słomki, kubki na kawę, herbatę bądź zupę.

Wyniki badań pokazują, że rozkład takiego naczynia trwa 45-90 dni – potrzeba do tego dostępu powietrza, wilgoci oraz ciepła, ważna jest również obecność bakterii i grzybów w glebie. Jeśli chodzi jednak o kompostowanie tego materiału w warunkach domowych – trwa ono trochę dłużej, kilka miesięcy. [34]

PLA również w połączeniu ze skrobią termoplastyczną pozyskaną z mąki ziemniaczanej wykorzystywany jest do produkcji popularnych jednorazówek (rys. 18). Granulat utworzony z mieszanki PLA i skrobi jest termoplastyczny, dlatego możliwe jest otrzymywanie produktów popularnych dla tworzyw sztucznych metodami wtrysku i wytłaczania. Połączenie tych dwóch substytutów daje większą odporność termiczną naczyń niż produkty z samego PLA. Zastąpienie części PLA w mieszance spowodowało również spadek ceny produktów. [35]



**Rysunek 18.** Granulat oraz sztuczce z PLA i skrobi ziemniaczanej [35]

## **II. PCL – polikaprolakton**

Jest to również jeden z naturalnych polimerów, którego metoda otrzymywania została opisana w rozdziale 2. Jest to materiał charakteryzujący się elastycznością, niską temperaturą zeszklenia oraz niską temperaturą topnienia – około 60 °C. W połączeniu ze skrobią stosowany jest do produkcji naczyń jednorazowych oraz folii. Mieszanka ze skrobią jest całkowicie biodegradowalna i możliwa jest jej utylizacja poprzez kompostowanie. [28]

### III. Otręby pszenne

Otręby spożywcze jako produkt uboczny produkcji mąki również znalazł zastosowanie podczas produkcji naczyń jednorazowych (rys. 19). Z tony takiego materiału można wytworzyć około 10 000 sztuk. Naczynia wykonane z otrąb mogą służyć zarówno do podawania ciepłych jak i posiłków na zimno. Bez problemu mogą być stosowane w piekarniku oraz mikrofalówce – są odporne na wysokie temperatury. Cechują się również dużo wytrzymałością oraz stabilnością. Czas rozkładu takiego produktu trwa zaledwie 30 dni. Naczynia otrzymywane są metodą prasowania.

Z otrąb produkowane są talerzyki, miseczki oraz półmiski. Z otrąb można również wyprodukować sztucce, jednak w ich przypadku dodaje się PLA. [36]



**Rysunek 19.** Naczynie jednorazowe z otrębów [36]

### IV. Pestki awokado

Pestki awokado (rys. 20) są kolejnym bardzo ciekawym i niecodziennym materiałem wykorzystywanym do produkcji naczyń jednorazowych. Technologia została wymyślona przez naukowców z Meksyku. Jest to kraj, który specjalizuje się w eksporcie awokado na cały świat, dlatego pestki z awokado stały się przedmiotem badań naukowców – było ich bardzo dużo i były powszechnie dostępne. Materiał ten jest całkowicie biodegradowalny i ulega całkowitemu rozkładowi w czasie około 240 dni. Z tworzywa produkowane są jednorazowe słomki oraz sztucce. [37]



**Rysunek 20.** Pestki z awokado i naczynia jednorazowe z pestek awokado [37]

## **V. Bagassa – trzcina cukrowa**

Bagassa jest to produkt uboczny z trzciny cukrowej (rys. 21). Trzcina cukrowa rośnie w krajach tropikalnych, jest to ogromna trawa. Z trzciny cukrowej produkowany jest cukier, sok z tej trawy tłoczony jest w punktach przetwórczych, a to co pozostanie z niej to bagassa. Tak otrzymana zostaje poddana zmiążdżeniu oraz oczyszczeniu. Na koniec jest ona zmieniona w postać płatków, z których następnie produkuje się opakowania, np. na posiłki na wynos, oraz jednorazowe naczynia wykorzystywane w gastronomii. [34]

Produkty z bagassy są odporne na wysokie temperatury, ale tylko w określonym czasie, dlatego nie powinno się jej umieszczać w piekarniku, a jedynie w mikrofalce. Za to odporne są na niskie temperatury, dlatego spokojnie można używać je w lodówce bądź zamrażalce. Jest również odporna na wodę, jednak tylko przez 12-24 h, po upływie tego czasu zaczyna nasiąkać wodą i przeciekać. [34]

Bagassa jest w pełni biodegradowalna, całkowicie rozkłada się w ciągu 45-60 dni, w zależności od warunków procesu rozkładu. Materiał ten nie zawiera ani jednej toksycznej substancji, która mogłaby zagrozić ekosystemowi. [34]



**Rysunek 21.** *Trzcina cukrowa / bagassa / produkt końcowy [34]*

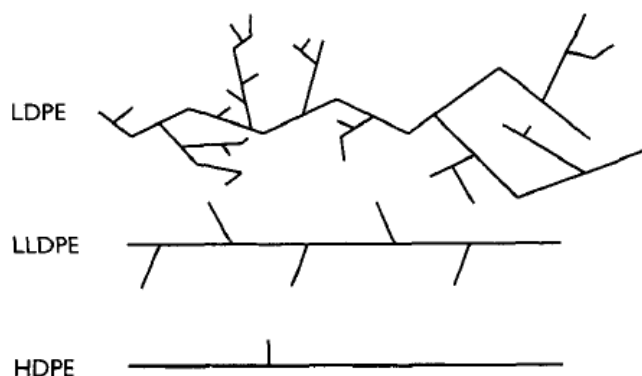
Jako przykłady takich materiałów można wymienić jeszcze bardzo popularne w produkcji naczyń jednorazowych drewno, papier oraz skrobię kukurydzianą. Z bardziej „egzotycznych” przykładów są bambus oraz liść palmowy. [33],[34]

Tworzywa z surowców naturalnych nie są oczywiście najlepszym rozwiązaniem problemu, jednak mogą nam bardzo pomóc w utrzymaniu stanu środowiska na poziomie jaki aktualnie mamy bądź nawet lepszym. Są to również dosyć nowoczesne rozwiązania, dlatego nadal mogą się pojawiać problemy w ich segregacji bądź recyklingu. Jeśli zapotrzebowanie na produkty z tworzyw sztucznych będzie ciągle wzrastać mogą okazać się dla nas, jako dla ludzkości, jedynym rozwiązaniem jeśli chodzi o wspomniane wcześniej dobro naszej planety. [33]

### 3. Proces produkcji produktów jednorazowych z tworzywa sztucznego

W tym rozdziale skupiono się na opisie procesu produkcji jednorazowych naczyń oraz opakowań wykonanych z tworzyw sztucznych. Jako przykład przytoczono bardzo popularną oraz powszechnie używaną torbę jednorazową, która może mieć niewyobrażalnie dużo zastosowań. [38],[39]

Materiały, z których najczęściej wytwarza się te przedmioty codziennego użytku to: rodzina polietylenów – LDPE, czyli polietylen o małej gęstości, LLDPE – liniowy polietylen o małej gęstości, HDPE – polietylen o dużej gęstości, MDPE – polietylen o średniej gęstości oraz ULDPE – polietylen o bardzo małej gęstości. Jako alternatywę można zastosować również PP – polipropylen (rys. 22). Wszystkie te materiały są termoutwardzalne, dlatego po doprowadzeniu ich w stan ciekły można formować z nich dowolne kształty. [38],[39]



Rysunek 22. Różne struktury polietyleny [38]

Torby jednorazowe otrzymywane są metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniami. Proces produkcji takiej torby rozpoczyna się od przygotowania granulatu o wysokiej i niskiej gęstości, następnie tak przygotowana mieszanka umieszczana jest w specjalnej beczce, czyli wytłaczarce. Kolejno materiał jest podgrzewany do określonej temperatury, która jest zależna od materiału, którego używany w procesie. Gdy tworzywo sztuczne osiągnie stan płynny, jest gotowe do precyzyjnego wyciskania. Kolejno poddawane jest procesowi wydmuchiwania przez okrągłą matrycę, czego efektem jest otrzymanie nadmuchanego bąbelka plastiku. Następnie taki pęcherzyk jest nadmuchiwany poziomo – pozwala to osiągnąć równomierne rozprowadzenie materiały w całej objętości. Tak przygotowany produkt zostaje poddany procesowi chłodzenia. Końcowym etapem

procesu jest przepuszczenie rozciągniętego, wystudzonego oraz nadmuchiwanego pęcherza przez sekwencję rolek zaciskowych, co spowoduje spłaszczenie folii. Tak przygotowaną folię można zrolować na rdzenie (rys. 23). Można również sterować grubością i wymiarami otrzymanego produktu za pomocą zmiany prędkości rolek zaciskowych. [40]



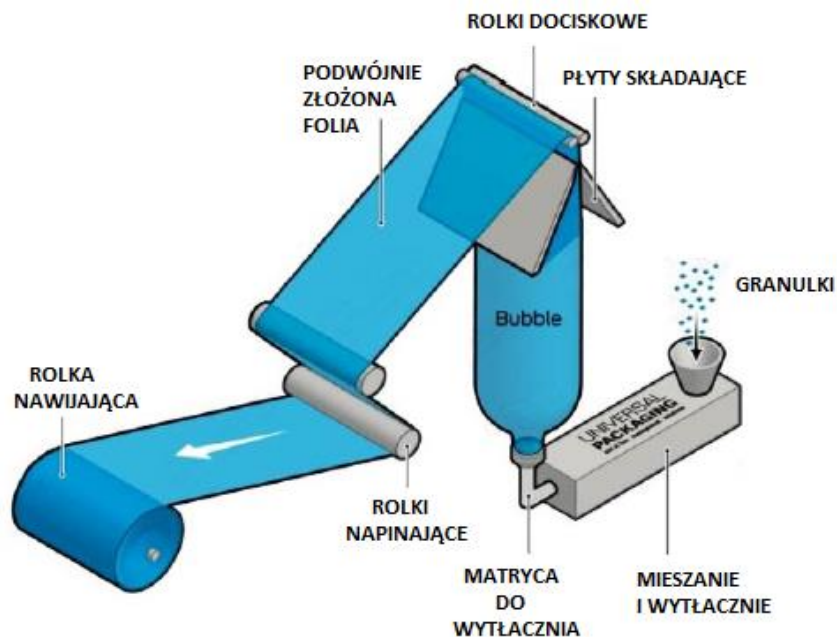
**Rysunek 23.** Folia otrzymane w procesie wytłaczania folii rozdmuchiwanej [39]

Następnie takie zwoje folii trafiają do działu przetwarzania – folia jest przetwarzana na jednorazowe reklamówki, bądź worki. Rolki są rozwijane i poddawane działaniu fali elektrostatycznej, jednak jest to opcjonalny etap procesu. Wykonanie jego zależy od przeznaczenia produktów, ponieważ jest on konieczny w przypadku drukowania na foliowych torebkach wszelkiego rodzaju napisów, obrazków, itp. [40]

Kolejnym etapem, albo po procesie nadrukowywania albo bezpośrednio po procesie wytłaczania, folia jest przycinana do zamówionych wymiarów za pomocą gorących noży, które równocześnie łączą ze sobą zakończenia woreczków. Ostatnim etapem całego procesu produkcji jest podawanie folii do specjalnych maszyn przeznaczonych do produkcji toreb. Tam wykonywane są górne i dolne zgrzewy oraz wycinane są uchwyty. [39]

Opisywany powyżej proces produkcji powoduje oczywiście odpady, np. podczas wycinania uchwytów do reklamówek. Co ciekawe wszystkie produkty uboczne, które pozostają po wycinaniu elementów toreb nie są marnowane, tylko wykorzystywane w procesie produkcyjnym kolejnych partii. [40]

Na rysunku 24 przedstawiono opis procesu produkcji otrzymywania toreb jednorazowych z tworzyw sztucznych:



Rysunek 24. Schemat procesu produkcji foliowych toreb jednorazowych [40]

### 3.1. Metodologia WCM i jej zastosowanie

*World Class Manufacturing* - WCM, po polsku Produkcja Klasy Światowej, jest to metoda stosowana w przemyśle, której zadaniem jest wzrost poziomu systemu organizacyjnego firmy oraz ciągłe doskonalenie logistyki produkcji poprzez wzrost jakości produkowanych wyrobów oraz redukcji jej kosztów. Główną ideą przyświecającą WCM jest brak: wypadków, awarii, strat, odpadów i defektów. Nadrzędnymi celami tej metodologii są:

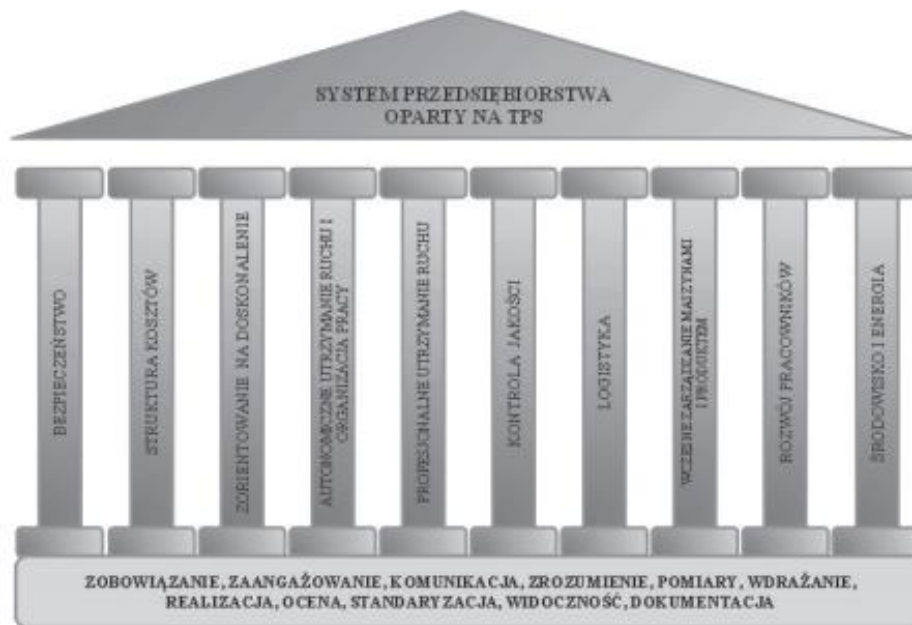
- maksymalizacja wyników produkcji, przy zachowaniu założonego celu jakościowego oraz logistyki;
- rozwój systemu produkcyjnego oraz jego ukierunkowanie na wzrost konkurencyjności;
- wzrost kompetencji personelu. [38],[39]

Bardzo istotne są również koncepcje, na których opiera się ta metoda:

- TQC – Total Quality Control – związana z kontrolą jakości, nacisk jest kładziony na pracę ludzi, a dopiero w drugiej kolejności na maszyny i metody działania;

- TPM – Total Productive Maintenance – związana z wyposażeniem, szczególnie z maszynami, dąży do osiągnięcia największej możliwej wydajności;
- TIE – Total Industrial Engineering – związana z rozwojem przemysłu w firmie;
- JIT – Just in Time – związana z produkcją, zakłada dostarczanie potrzebnych elementów w odpowiednim czasie. [38],[40]

Metodologia WCM w przedsiębiorstwie opiera się na 10 filarach technicznych i 10 podstawowych zasadach zarządzania. Każdy z filarów posiada 7 stopni głębokości użytkowania, natomiast jego skutki oceniane są przez 5 poziomów wydajności. Na rysunku 25 przedstawiono filary WCM: [39]



**Rysunek 25. Filary WCM [41]**

Każdy z filarów posiada również lidera – osobę odpowiedzialną za nadzorowanie działań w dążeniu do określonego celu oraz jej rozliczania z ich osiągnięcia. Każdy ma określone cele i ścieżkę realizacji, na które składa się 7 kroków, które wykonane po kolei pozwalają rozwiązać dany problem:

- 1/ Identyfikacja problemu;
- 2/ Zrozumienie sytuacji i ustalenie celów;
- 3/ Analiza przyczyn problemu;
- 4/ Ustalenie planu działania;
- 5/ Zdefiniowanie i wdrożenie środków zapobiegawczych;
- 6/ Monitorowanie wyników zastosowanych działań;

## 7/ Standaryzacja i wdrożenie działań. [40]

Wprowadzenie WCM do przedsiębiorstwa wymaga ciągłego doskonalenia wszystkich pracowników firmy, począwszy od kierownictwa aż do robotników. Zmiana sposobu pracy powinna być szybko widoczna i łatwa do oceny. Każdy pracownik powinien świadomie wprowadzać zmiany w swojej codziennej pracy oraz zdawać sobie sprawę, że zwracana jest większa uwaga na jego postawę podczas pracy. [41]

#### 4. Analiza procesu produkcji naczyń biodegradowalnych

W rozdziale opisano materiały oraz proces produkcji naczyń biodegradowalnych na przykładzie naczyń z otrębów.

Materiał, który stosuje się w tej metodzie może być mieszaniną:

- 95 – 100% wagowych otręb pszennych (powstają jako produkt uboczny podczas produkcji mąki, w celu oddzielenia otręb od ziarna poddaje się je procesowi nawilżania wodą) – w postaci sypkiej. Ich cechą jest struktura włóknista – daje im to zdolność do pochłonięcia do 45% wody jako wilgoci związanej strukturalnie; nie powoduje to utraty sypkości. W tej metodzie otręby powinny posiadać od 7% do 45% wilgoci związanej strukturalnie oraz ich ziarna powinny mieścić się w zakresie 0,01 – 2,80mm;
- ewentualne 5% wagowych - są to dodatki w postaci: substancji impregnujących, dodatki smakowe, zapachowe bądź barwiące, niewłókniste napełniacze, substancje utrzymujące wilgoć. Są to dodatki, które mogą, ale nie muszą występować w materiale, zależy to od wymaganych właściwości oraz przeznaczenia. [45]

Pierwszym etapem produkcji – nie jest on obligatoryjny, polega na zmieszaniu otrębów z ewentualnymi dodatkami, proces ten odbywa się w warunkach suchych. Z tak przygotowanej mieszaniny odmierza się odpowiednią ilość i umieszczana ona jest w formie, jest to najczęściej ona dwuczęściowa, jednak może być również wieloczęściowa. Po umieszczeniu mieszaniny w formie zostaje ona zamknięta, poddana działaniu równocześnie kilku czynników: temperatury w wysokości 20-450°C oraz ciśnienia 1-10 MPa, w tym przypadku korzystnie jest realizować proces następująco: przed całkowitym zamknięciem forma powinna zostać uszczelniona po czym dopiero zamknięta drugą częścią – wytworzy się wtedy ciśnienie wewnątrz formy. Zamiast zastosowania ciśnienia możliwe jest również wykorzystanie siły nacisku 100 t/cm<sup>3</sup> przy ciśnieniu tłoka do 320 MPa, działanie to trwa do kilkudziesięciu sekund, idealnymi urządzeniami do tego są np. prasa hydrauliczna, mechaniczna. [45]

Podczas przygotowania próbki korzystne dla produktu końcowego jest wstępne poddanie działaniu temperatury oraz ciśnienia – wartości takie same jak w samym procesie produkcji. Przed umieszczeniem w formie mieszaniny powinna ona zostać

podgrzana – dotyczy to wszystkich części formy, ponownie dla produktu końcowego korzystne jest aby każda z części była podgrzana do innej temperatury, co pozwala kierować kierunkiem uwalniania się pary wodnej. Finalnie dzięki temu możliwe jest zaplanowanie, która z powierzchni będzie mniej porowata. [45]

Powracając do samego procesu produkcji, czas, w którym forma z mieszaniną w środku są poddawana temperaturze i naciskowi bądź ciśnieniu wynosi kilkadziesiąt sekund. Istnieją tutaj dwie możliwości: może to być jeden cykl lub kilka cykli po parę sekund ze zmiennym, naprzemiennym obciążeniem. Aby stosować tylko jeden cykl konieczna jest odpowiednia forma, która posiada szczeliny albo otwory – para wodna powinna być cały czas odprowadzana. [45]

Wszystkie parametry procesu: temperatura, wysokość ciśnienia i nacisku, zawartość wilgoci oraz ziarnistość otrębów dobiera się w zależności od wymaganych właściwości produktu końcowego – wielkości, kształtu oraz grubości ścianek. [45]

Jedną z zalet opisanej metody jest jej powtarzalność, zarówno jeśli chodzi o wymiary produktów, jak również ich wytrzymałość mechaniczną. Co więcej, podczas tego procesu nie są produkowane odpady, pozwala on na wykorzystanie w pełni naturalnego surowca. Metoda ta umożliwia również otrzymanie dowolnych kształtów naczyń jednorazowych. Produkty końcowe cechują się brakiem pęknięć, wysoką wytrzymałością, odpornością na przesiąkanie, odpornością na wysoką temperaturę, nadają się idealnie do przechowywania gorących posiłków. Bardzo ciekawą i niespotykaną cechą takich opakowań jest zdolność do przewietrzania zawartości, np. służąc jako pojemnik dla produktów sypkich – jest to możliwe dzięki specyficznej strukturze produktu. [45]

Porównując otrzymane produkty do opakowań z tworzyw sztucznych, dużą zaletą tych pierwszych jest czas, który potrzeba do całkowitej biodegradacji: wynosi on do 30 dni. Z kolei naczynia z otrębów cechują się znacznie lepszą wytrzymałością mechaniczną, parametrami użytkowymi oraz estetyką w porównaniu z innymi tego typu przedmiotami z materiałów biodegradowalnych. [45]

Otrzymane w tej metodzie produkty zostały poddane następującym badaniom:

- badanie nasiąkliwości dla wody i oleju – polegało na określeniu czasu po jakim produkt pochłonie wybrane płyny, jako przykładowe zostały wybrane woda oraz olej – wyniki zostały zamieszczone w tabeli poniżej;
- badanie sensoryczne – polegające na określeniu przekazywania smaku i zapachu otrębów do wybranych wzorców. [45]

W tabeli 5 przedstawiono wyniki badań:

**Tabela 5.** Wyniki badań nasiąkliwości [45]

| L.P. | RODZAJ BADANIA                         | CZAS           | OBSERWACJE  |
|------|--|----------------|---|
| 1    | Nasiąkliwość wody o temperaturze 20°C  | po 3 minutach  | Pęcznienie warstwy będącej w kontakcie z wodą             |
|      |  | po 12 minutach | Rozwłóknienie całej warstwy będącej w kontakcie z wodą    |
|      |  | po 30 minutach | Dalsze rozwłóknienie powierzchni, brak oznak przeciekania |
|      |  | po 70 minutach | Woda przecieka przez produkt                              |
| 2    | Nasiąkliwość oleju o temperaturze 20°C | przez 60 minut | Struktura materiału bez zmian                             |
|      |  | po 60 minutach | Olej przenika przez produkt                               |

W badaniu sensorycznym jako wzorce posłużyły mąka oraz cukier puder. Dla obu wynik był bardzo zbliżony, w przypadku cukru pudru zmianie uległ smak, na który wpłynęły otręby – ich smak i zapach był bardzo wyraźnie wyczuwalny. W przypadku mąki – smak i zapach otrąb był również wyraźnie odczuwalny. [45]

## 5. Wnioski

Z przeglądu literatury i analizy własnej wyciągnięto następujące wnioski:

- 1) Gromadzenie tworzyw sztucznych na wysypiskach jest bardzo szkodliwe dla środowiska. Rozwiązaniem tego problemu jest wprowadzenie tworzyw biodegradowalnych do gospodarki.
- 2) Optymalizacja procesu produkcji jednorazowych toreb foliowych wpływa na wydajność procesu. Jednocześnie możliwe jest stosowanie nowoczesnych biodegradowalnych materiałów w istniejących już liniach produkcyjnych. Jednak problem polega na wyższych kosztach związanych z zakupem takich materiałów.
- 3) Produkcja naczyń z otrębów jako surowiec wykorzystuje naturalny odpad z produkcji mąki oraz nie produkuje żadnych produktów ubocznych. Co więcej naczynia takie rozkładają się całkowicie w ciągu 30 dni.
- 4) Materiały biodegradowalne stają się coraz bardziej popularne oraz są coraz częściej wykorzystywane w lokalach gastronomicznych.
- 5) Najważniejsze, że problem środowiskowy, który występuje, jest widoczny, społeczeństwo jest tego świadome i podejmowane są pewne działania w celu jego eliminacji. Jednak jest to problem globalny, potrzebne są drastyczne działania aby go ciągle i skutecznie minimalizować. Materiały biodegradowalne wydają się najlepszym, dostępnym rozwiązaniem, które powinno być w jak największym stopniu wykorzystywane.

## 6. Bibliografia

- [1] K. Borkowski – „Przemysł tworzyw sztucznych – materiałów XXI wieku”, *Mechanik* 04/2015, str. 278-282.
- [2] Encyklopedia – „Tworzywa sztuczne – definicja”, dostęp internetowy: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Tworzywa\\_sztuczne](https://pl.wikipedia.org/wiki/Tworzywa_sztuczne), 14.08.2020r.
- [3] Raport PlasticsEurope - „Tworzywa sztuczne – Fakty 2019; Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie”, 2019.
- [4] I. Hyla – „Tworzywa sztuczne: własności, przetwórstwo, zastosowanie”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, str. 80-106, Gliwice 2000.
- [5] J. Pielichowski, A. Puszyński – „Chemia polimerów”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, str. 116 – 160, Kraków 2004.
- [6] Z. Floriańczyk, S. Penczek – „Chemia polimerów tom III. Polimery naturalne i polimery o specjalnych właściwościach”, Oficyna wydawnicza PW, str. 120 - 134, Warszawa 1998.
- [7] W. Łużny – „Wstęp do nauki o polimerach”, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo – Dydaktyczne, str. 19-20, 27-32, Kraków 1999.
- [8] Katedra Inżynierii Elementów Lekkich, Odlewnictwa i Automatyki Politechniki Wrocławskiej – „Klasyfikacja technologiczna”  
[www.tworzywa.pwr.wroc.pl/pl/dydaktyka/klasyfikacja-technologiczna](http://www.tworzywa.pwr.wroc.pl/pl/dydaktyka/klasyfikacja-technologiczna),  
20.08.2020r.
- [9] J. Bana, W. Stolarski – „Elementy chemii polimerów”, dostęp internetowy: [https://zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/chemia/a\\_e\\_chemia/8\\_chemia\\_organiczna/08\\_00\\_00.htm](https://zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/chemia/a_e_chemia/8_chemia_organiczna/08_00_00.htm), 07.09.2020.
- [10] K. Wilczyński – „Przetwórstwo tworzyw sztucznych”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, str. 22 – 158, Warszawa 2000.
- [11] J. Stasiak – „Wytłaczanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane”, *Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego*, Bydgoszcz 2007.
- [12] WordPress.com. – „Cel wzmacniania polimerów”, dostęp internetowy: <https://produkcjatorzyw.wordpress.com/tag/toczenie/>, 08.09.2020.
- [13] Plastipol – „Nowoczesne metody przetwórstwa”, dostęp internetowy: <https://plastipol.pl/technologie/nowoczesne/>, 08.09.2020.

- [14] M. Gościński – „*Plastik plastikowi nie równy*”, dostęp internetowy: <https://ulicaekologiczna.pl/recykling/plastik-plastikowi-nierowny>, 09.09.2020.
- [15] Świat Wiedzy – „*Symbole na tworzywach sztucznych, czyli jak rozszyfrować toksyczny plastik*”, dostęp internetowy: <https://www.odkrywamyzakryte.com/symbole-na-tworzywach-sztucznych/>, 09.09.2020
- [16] J. W. Nicholson – „*Chemia polimerów*”, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, str. 16 – 31, Warszawa 1996.
- [17] Encyklopedia - „*Life Cycle Assessment*”, dostęp internetowy: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Life\\_Cycle\\_Assessment](https://pl.wikipedia.org/wiki/Life_Cycle_Assessment), 12.10.2020
- [18] Z. Kowalski, J. Kulczycka., M. Góralczyk - „*Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA)*”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [19] Ł. Chrzanowski, M. Sydow, M. Woźniak - „*Plastik przyjazny środowisku*”, Polityka, str. 72, 2014.
- [20] Noweko „*Czas rozkładu tworzyw sztucznych – wybraliśmy te najczęściej używane*”, dostęp internetowy: <https://noweko.pl/czas-rozkladu-tworzyw-sztucznych-wybralismy-te-najczesciej-uzywane/> , 12.10.2020.
- [21] I. Tessnow-von Wysocki, P. Le Billon - „*Plastics at sea: Treaty design for a global solution to marine plastic pollution*”, Environmental Science and Policy, 2019.
- [22] A. Karasińska – „*Wielka Pacyficzna Plama Śmieci jest większa, niż przypuszczano. I rośnie*”, Polityka, dostęp 15.11.2020
- [23] D. Dobrowolski – „*Morze plastiku*”, dostęp internetowy: <https://dominik-dobrowolski.blog.ekologia.pl/morze-plastiku,1715> , 15.10.2020.
- [24] Ch. J. Moore – „*Choking the Oceans With Plastic*”, dostęp internetowy: [https://www.nytimes.com/2014/08/26/opinion/choking-the-oceans-with-plastic.html?\\_r=0](https://www.nytimes.com/2014/08/26/opinion/choking-the-oceans-with-plastic.html?_r=0) , 15.10.2020
- [25] Raport PlasticsEurope – „*Odzysk. Odzysk i recykling odpadów. Recykling odzysk*”, dostęp internetowy: <https://www.ekologia.pl/srodowisko/ochrona-srodowiska/recykling-i-odzysk-energii-z-tworzyw-zuzytych,5791.html>, 15.10.2020.
- [26] Polska Izba Bankowości Spółdzielczej – „*Ograniczenie wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko*”, dostęp internetowy: <http://www.fapa.org.pl/10-aktualnosci/149-ograniczenie-wplywu-niektorych-produktow-z-tworzyw-sztucznych-na-srodowisko>, 18.10.2020.

- [27] Parlament Europejski – „Gospodarka o obiegu zamkniętym: Definicja, znaczenie i korzyści” dostęp internetowy: <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/economy/20151201STO05603/gospodarka-o-obiegu-zamknietym-definicja-znaczenie-i-korzysci-wideo> , 18.10.2020.
- [28] I. Stachurek - „*Problemy z biodegradacją tworzyw sztucznych w środowisku*”, Zeszyty naukowe wyższej szkoły zarządzania ochroną pracy, Katowice 2012.
- [29] Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady - *W sprawie wpływu stosowania oksydegradowalnych tworzyw sztucznych, w tym oksydegradowalnych plastikowych toreb na zakupy, na środowisko naturalne*; Bruksela 2018.
- [30] S. Bahl, J. Dolma, J. Jyot Singh, S. Sehgal - „*Biodegradation of plastics: A state of the art review*”, Materials Today: Proceedings, 2020.
- [31] B. Grabowska - „*Biodegradacja tworzyw polimerowych*”, Archives of Foundry Engineering, 2010.
- [32] A. Gutowska, M. Michniewicz, D. Ciechańska, M. Szalczyńska - „*Metody badania biodegradowalności materiałów biomasowych*”, Chemik, Łódź 2013.
- [33] J. Leszczyński – „*Zróbmy sobie plastik z...*”, dostęp internetowy: <https://www.plastech.pl/wiadomosci/Zrobmy-sobie-plastik-z-14122> , 18.10.2020..
- [34] „*Ekologiczne naczynia zastąpią te plastikowe: mają wiele zalet i tylko parę wad*” dostęp internetowy: <https://www.top-opakowania.pl/artykuly/ekologiczne-naczynia-zastapia-te-plastikowe-maja-wiele-zalet-i-tylko-pare-wad#1>, 18.10.2020.
- [35] Portal komunalny – „*Polscy naukowcy wynaleźli biodegradowalne sztucce*”, dostęp internetowy: <https://portalkomunalny.pl/polscy-naukowcy-wynalezli-biodegradowalne-sztucce-388241/>, 18.10.2020.
- [36] J. Smolińska – „*Sprzedają organiczne naczynia i sztucce, które zastępują plastik*”, dostęp internetowy: <https://mambiznes.pl/wlasny-biznes/sprzedaja-organiczne-naczynia-sztucce-ktore-zastepuja-plastik-93785>, 18.10.2020.
- [37] N. Czechowski – „*Biodegradowalne sztucce wykonane z pestek awokado*”, dostęp internetowy: <https://swiatoze.pl/biodegradowalne-sztucce-wykonane-z-pestek-awokado/>, 18.10.2020.
- [38] S. Vanhamel, Ch. Masy - „*Production of Disposable Bags: A Manufacturer's Report*”, Single-Use Technology in Biopharmaceutical Manufacture, 2011.
- [39] R. A. R.C. Gopura, T. S. S. Jayawardene - „*A study on a poly-bag manufacturing system preliminary analysis and simulation*” , Conference Paper, 2009.

- [40] Encyklopedia Zarządzania – „Metoda WCM” - dostęp internetowy: [https://mfiles.pl/pl/index.php/Metoda\\_WCM](https://mfiles.pl/pl/index.php/Metoda_WCM) , 21.10.2020.
- [41] K. Łyp-Wrońska - „*World Class Manufacturing methodology as an example of problems solution in Quality Management System*”, Key Engineering Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, 2016.
- [42] M. Parkash, S. Pihic - „*Resource efficient manufacturing of plastic bags*”, MG110X Bachelor thesis in Industrial Production, Szwecja, 2017.
- [43] K. Stanek, P. Czech, J. Barcik - „*Metodologia World Class Manufacturing (WCM) w fabryce FIAT AUTO POLAND S.A.*”, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport z 71., 2011.
- [44] A. Piasecka-Głuszak - „*Implementacja World Class Manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym na rynku polskim*” , Ekonomia XXI wieku, 2017.
- [45] J. Wysocki : „*Material do wytwarzania biodegradowalnych kształtek, zwłaszcza naczyń i opakowań oraz sposób wytwarzania biodegradowalnych kształtek, zwłaszcza naczyń i opakowań*” , Opis patentowy PL195130, Zambrów.