

Dr Andrzej Czulak

## **Politereftalan etylenu (PET): produkcja, cena, rynek i jego właściwości - opracowanie**

- źródło: internet

### **Czym jest politereftalan etylenu (PET)?**

Politereftalan etylenu powszechnie znany jako PET lub PETE jest najczęściej stosowanym polimerem na świecie. Jest to naturalnie przezroczyste i półkryształiczne tworzywo sztuczne, szeroko stosowane w produktach codziennego użytku. W przemyśle włókienniczym polimer PET jest lepiej określany mianem "poliestru". Jest szeroko stosowany jako włókno odzieżowe, ponieważ stanowi doskonałą barierę dla wilgoci, a także do butelkowania i pakowania. Największy udział w produkcji tworzyw PET stanowią włókna syntetyczne (do 60%), a pozostałe 30% przypada na produkcję butelek światowego zapotrzebowania.



Materiał PET składa się z polimeryzowanych cząstek monomeru tereftalanu etylenu, a gdy te dodatkowo są połączone z innymi materiałami, takimi jak włókno szklane lub nanorurki węglowe, ich wytrzymałość wzrasta. PET jest uważany za bezpieczny, mocny, lekki, elastyczny i nietoksyczny surowiec, który można łatwo poddać recyklingowi.

Tworzywa sztuczne PET stały się światowym numerem jeden w branży opakowań. Jest on powszechnie stosowany do konfekcji wielu produktów spożywczych i napojów, ponieważ jest higieniczny, mocny, lekki, zachowuje świeżość produktów i nie pęka. Najczęściej stosuje się go do pakowania wody i napojów gazowanych. Pojemniki PET można łatwo zidentyfikować na podstawie trójkątnego kodu identyfikacyjnego, który znajduje się na pojemnikach PET (Butelki lub słoiki).

### **Historia żywicy PET**

Obecnie politereftalan etylenu (PET) stał się jednym z najszerzej stosowanych, uniwersalnych i godnych zaufania tworzyw sztucznych na świecie. Ponad połowę światowego popytu na włókna i butelki syntetyczne zaspokajają tworzywa PET. PET został po raz pierwszy przygotowany w Stanach Zjednoczonych w połowie lat 40. ubiegłego wieku, kiedy to naukowcy poszukiwali polimeru, który mógłby być wykorzystywany do produkcji nowych polimerów tekstylnych. Później te poliestry zostały nazwane przez DuPont "Dacron".

Ponadto pod koniec lat 50-tych naukowcy znaleźli sposób na rozciągnięcie cienkiego wytłaczanego arkusza PET w celu stworzenia folii, który jest obecnie szeroko stosowany jako folie rentgenowskie lub fotograficzne. Do lat siedemdziesiątych XX wieku opracowano nową technologię formowania PET w mocne i lekkie butelki, a w 1977 r. wyprodukowano również butelki PET z recyklingu.

### **Produkcja żywicy PET**

Politereftalan etylenu (PET) jest produkowany głównie w drodze polimeryzacji glikolu etylenowego i kwasu tereftalowego. Glikol etylenowy i kwas tereftalowy są uważane za elementy składowe żywicy PET. Ponadto żywice te są podgrzewane do temperatury topienia, która może być łatwo formowana w przedmioty o dowolnym kształcie. Obecność dużych pierścieni benzenowych w procesie dodaje polimerom elementom wykonanym z PET sztywności i wytrzymałości, zwłaszcza gdy łańcuchy polimerowe ułożone są równolegle względem siebie.

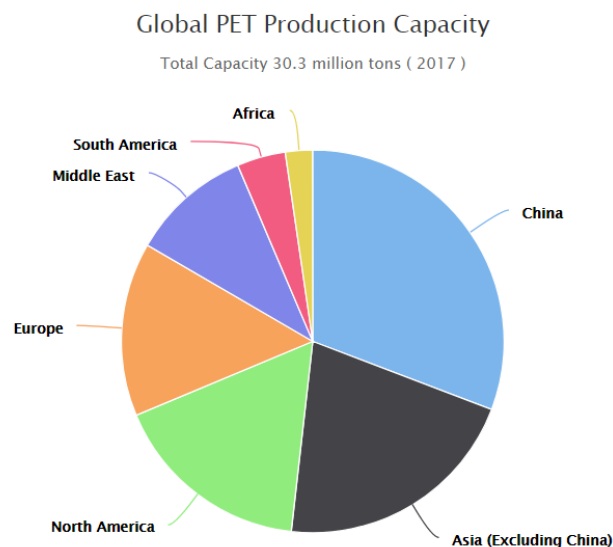
Mówiąc dokładniej, gdy dwa surowce - glikol etylenowy PET i kwas tereftalowy - połączone są w podciśnieniu i przy wysokiej temperaturze, powstają długie łańcuchy polimeru. W miarę zagęszczania mieszanki powstają dłuższe łańcuchy i proces ten zostaje zatrzymany po osiągnięciu odpowiedniego łańcucha. Ponadto, kiedy polimer PET jest trzymany w wyższych temperaturach, zaczyna krystalizować się, staje się nieprzezroczysty i bardziej sztywny. Ta skryształizowana forma PET jest używana do przygotowywania innych produktów, takich jak pojemniki i tace, które mogą być również ponownie podgrzewane.

### Światowa produkcja i rynek żywicy PET

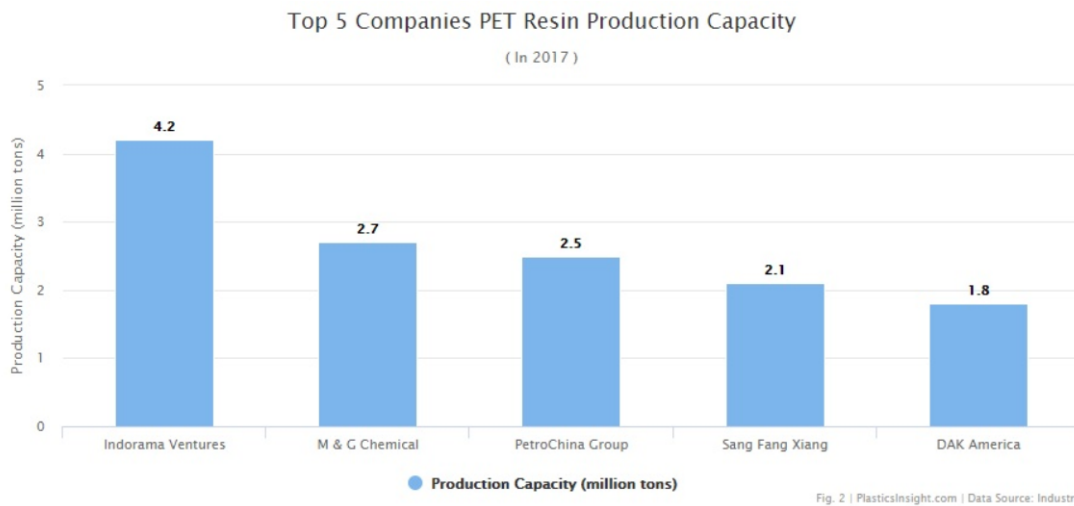
W 2017 roku światowe moce produkcyjne żywicy PET wyniosły 30,3 mln ton. Światowa produkcja zdominowana była przez Chiny, które odpowiadały za 30,8% całkowitej produkcji polimerów PET. Na region azjatycki, z wyłączeniem Chin, przypadało 21% udziału w produkcji.

Region Ameryki Północnej miał 16,9% udziału w rynku wraz z wiodącym krajem produkującym w Stanach Zjednoczonych. Nowa fabryka PET firmy MG Chemical of Corpus Christi w Teksasie (USA) ma światową skalę i zdolność produkcyjną wynoszącą 1,1 mln ton rocznie.

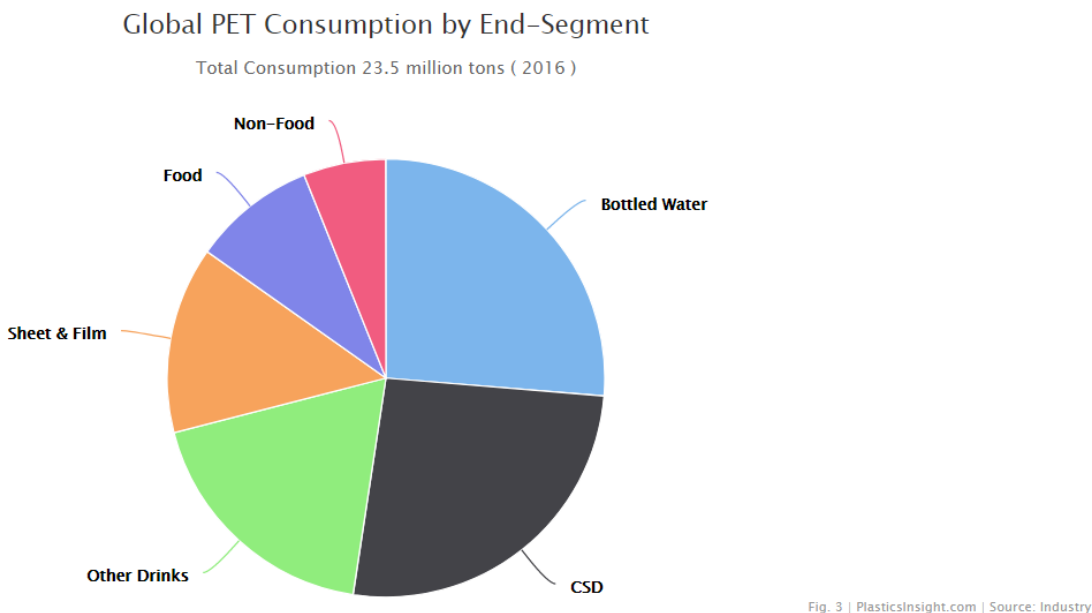
Na region europejski przypadało 14,7% całkowitych mocy produkcyjnych PET, a następnie Bliski Wschód (10,2%), Ameryka Południowa (4,1%) i Afryka (2,3%).



W produkcji polimerów PET dominuje niewiele firm. Indorama Ventures była największym na świecie producentem polimerów PET o zdolnościach produkcyjnych 4,2 mln ton w 2017 roku. Inne wiodące firmy to MG Chemical o zdolności produkcyjnej 2,7 mln ton, Zhejiang Yisheng Petrochemical Co (2,5 mln ton), Sang Fang Xiang (2,1 mln ton) i DAK America (1,8 mln ton).



## Rynek żywicy PET



Chiny są nie tylko największym na świecie producentem żywicy PET, ale również największym konsumentem. Rynek żywicy PET jest napędzany przez sektor napojów butelkowanych oraz folii i arkuszy. Rynek żywicy PET wraz z rPET w 2016 roku wyniósł 23,5 mln ton.

Na rynku produktów końcowych dominowała butelkowana woda, której udział w rynku wyniósł 26,3%. W porównaniu do butelek CSD (Carbonated Soft Drink) udział tego produktu w żywicy PET wyniósł 26,1%. Przystawienie się na spożywanie więcej wody butelkowanej niż gazowanego napoju bezalkoholowego wynika z tego, że konsumenci stają się być coraz zdrowsi i zmniejszają spożycie cukru.

Pozostałe główne sektory, w których spożywano żywicę PET to: folia i arkusze (13,8 %), żywność (9,1 %) oraz produkty nieżywnościowe (6,1 %).

Przewiduje się, że w nadchodzących latach rynek opakowań z PET będzie się powiększać, ponieważ opakowania z PET coraz częściej zastępują szkło i metalowe pojemniki. Czynnikiem napędzającym stosowanie pojemników PET w krajach rozwijających się jest rosnący dochód i zmieniający się styl życia.

## **Właściwości żywicy PET**

Tworzywa sztuczne PET są tworzywem konstrukcyjnym o wysokiej wytrzymałości i sztywności, przeznaczonym do szerokiego zakresu zastosowań. Tworzywa sztuczne PET są powszechnie stosowanymi tworzywami termoplastycznymi, szczególnie w przemyśle opakowaniowym i tekstylnym. Polimery te są uprzywilejowane w stosunku do innych ze względu na ich właściwości różnicujące:

- Dobra odporność termiczna i niskie pęczanie nawet w podwyższonych temperaturach.
- Dobra stabilność dzięki niskiej absorpcji wody
- Niska absorpcja wody (z wyjątkiem nylonów)
- Doskonała odporność na chemikalia (Kwasy i zasady rozcieńczone, oleje i smary, węglowodory i alkohole)
- Dobra stabilność koloru i właściwości ściernie
- Podstawowe właściwości fizyczne materiałów PET -
- Wytrzymałość na rozciąganie 2,5 N/mm i udarność 1,5-3,5 KJ/m
- Współczynnik rozszerzalności cieplnej  $70 \cdot 10^{-6}$
- Gęstość 1,37 g/cm<sup>3</sup>

PETE jest tworzywem sztucznym naturalnie przezroczystym. Wyjątkowe właściwości żywicy PET polegają na tym, że nie wchodzi w reakcję z wodą i żywnością, co sprawia, że nadają się do opakowań konsumpcyjnych. Może być półsztywny do sztywnego i jest bardzo lekki. Jest ono odporne na pękanie, co oznacza, że są dobrym zamiennikiem dla pojemników na gaz.

## **Zastosowania żywicy PET**

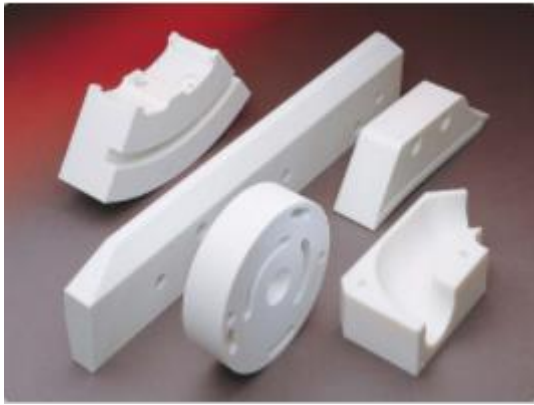
Żywice PET są polimerami wydajnościowymi. Oferują one szeroki zakres zastosowań na rynkach końcowych. Tworzywa sztuczne PET zajmują znaczącą pozycję na takich rynkach jak transport, przemysł motoryzacyjny, elektryczny/elektroniczny, urządzenia gospodarstwa domowego, opakowania i przemysł tekstylny.

Ponieważ materiał PET jest doskonałą barierą dla wody i wilgoci, jest on szeroko stosowany w przemyśle opakowaniowym, zwłaszcza do opakowań konsumpcyjnych (butelki z wodą, napoje bezalkoholowe, pakowana żywność). Wysoka wytrzymałość mechaniczna polimerów sprawia, że folie PET znajdują zastosowanie w taśmach, takich jak nośniki taśm magnetycznych lub nośniki taśm samoprzylepnych, które są wrażliwe na nacisk. Krystalizowane tworzywa PET stosowane są do produkcji blach, które są odporne zarówno na temperatury zamarzania jak i pieczenia w piekarniku.

Żywice PET są podgrzewane do stopionej cieczy, a następnie łatwo wytłaczane do pożądanego kształtu. Żywice PET wykonane z połączenia cząsteczek szklanych lub włókien szklanych okazują się trwalsze i wytrzymalsze. Żywice te są stosowane w różnych sektorach w zależności od ich właściwości, co jest wymogiem produktu. Do najważniejszych i wielkoskalowych zastosowań tworzyw PET należą m.in:

### **Druk trójwymiarowy**

Politereftalan etylenu jest mocnym i elastycznym polimerem, który doskonale nadaje się do druku 3D. Druk trójwymiarowy wymaga połączenia elastyczności i wytrzymałości, które można łatwo osiągnąć przy użyciu żywic PET. PET jest powszechnie znany z emitowania mniejszego zapachu niż jakikolwiek inny materiał, taki jak akrylonitryl-butadien-styren (ABS) lub kwas polilaksacyjny (PLA) stosowany w druku 3D.



### **Formowanie wtryskowe**

Politereftalan etylenu jest szeroko stosowany w technice wtryskiwania tworzyw sztucznych w postaci granulek do produkcji wyrobów o skomplikowanych kształtach. Właściwości materiału PET sprawiają, że nadaje się on do procesu formowania wtryskowego. Ponieważ PET jest higroskopijny, musi być osuszony przed użyciem w maszynie formierskiej. Skurcz tworzywa PET jest niski, ale zależy również od wielu czynników, takich jak temperatura, czas wiązania, grubość ścianek formy, temperatura formy i rodzaj zastosowanych dodatków.

### **Obróbka CNC**

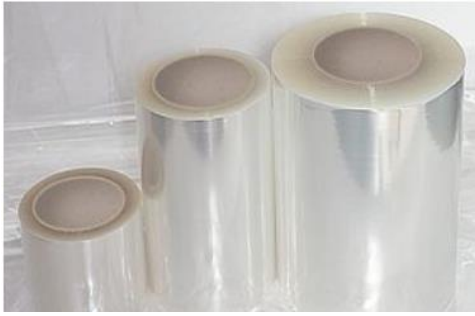
Materiały PET są szeroko stosowane jako zapasy arkuszy do maszyn CNC. Maszyna CNC jest używana do wytwarzania wielu produktów, w których materiał PET jest używany jako podstawowy materiał w procesie produkcyjnym.

### **Folia i arkusz PET**

Politereftalan etylenu jest przede wszystkim wykorzystywany do produkcji arkuszy i folii, które są następnie wykorzystywane do produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych. Folie i arkusze PET są powszechnie stosowanymi arkuszami z tworzyw termoplastycznych, ponieważ oferują szereg korzyści, takie jak:

- Folie PET wraz z arkuszami zapewniają wysoką barierowość, doskonałe właściwości chemiczne oraz wytrzymałość na rozciąganie.
- Można je łatwo modyfikować w kształtach butelek lub innych plastikowych materiałów eksploatacyjnych.
- Oferują one większą stabilność i odporność na rozrywanie produktu.
- Są to folie lekkie i tańsze.

Folie PET są stosowane na bardzo szeroką skalę na całym świecie, ale nadal istnieją pewne ograniczenia dostępne w przypadku tych folii, które działają w zależności od ich zastosowania. Folie PET mogą być toksyczne, ponieważ mogą uwalniać ftalany w niektórych przypadkach, co może mieć wpływ na konsumpcyjne produkty żywnościowe. Innym problemem, z którym boryka się również stosowanie folii i arkuszy PET, jest przepuszczalność gazu. Przepuszczalność gazu często powoduje problemy z pakowaniem gazowanych napojów bezalkoholowych.



## Butelka PET

Większa część produkowanej żywicy PET jest wykorzystywana do produkcji butelek PET. Te butelki lub pojemniki są używane do szerokiej gamy produktów konsumpcyjnych, takich jak napoje bezalkoholowe, napoje alkoholowe, detergenty, leki i kosmetyki. Produkowane butelki z tworzyw PET można podzielić na dwie szerokie kategorie: butelki z wodą butelkowaną i napoje bezalkoholowe gazowane. Butelki wykonane z żywicy PET można łatwo poddać recyklingowi i ponownie wykorzystać do produkcji nowego produktu. Butelki PET są maksymalnym produktem z tworzyw sztucznych w segmencie końcowym rynku tworzyw sztucznych. Nadmiar produkcji plastikowych butelek PET w ostatnich latach zaczął oddziaływać na nasze środowisko (wysypiska śmieci i oceany lub inne zbiorniki wodne). W celu utrzymania równowagi w stosowaniu butelek PET recykling stał się koniecznością. Recyklowany PET może być dalej wykorzystywany do wytwarzania produktów niższej jakości, takich jak dywany, pojemniki lub butelki PET niższej jakości.



Korzyści z butelek PET:

- Są lekkie, łatwe w transporcie i bezpieczne w użyciu.
- Można je łatwo ponownie uszczelnić lub poddać recyklingowi w celu wyprodukowania nowych produktów.
- Butelki PET można łatwo formować na różne złożone kształty.
- Produkcja butelek PET z wykorzystaniem żywicy PET zapewnia producentom wysoki poziom elastyczności.
- Są one niedrogie i łatwo dostępne.

Nadmiar produkcji butelek PET w ostatnich latach zaczął oddziaływać na nasze środowisko (wysypiska śmieci i oceany lub inne zbiorniki wodne). W celu utrzymania równowagi w stosowaniu butelek PET recykling stał się koniecznością. Recykling PET może być dalej wykorzystywany do wytwarzania produktów niższej jakości, takich jak dywany, pojemniki lub butelki PET niższej jakości.

## **Zalety i wady żywic PET**

Politereftalan etylenu oferuje szeroki zakres zastosowań, szczególnie w sektorze opakowań. Żywice PET są powszechnie stosowane w produkcji butelek, pojemników i taśm opakowaniowych. Okazuje się doskonałym materiałem barierowym, zapobiegającym transferowi chemikaliów, co czyni go najbardziej odpowiednim dla przemysłu spożywczego i kosmetycznego. Żywica PET jest powszechnie stosowanym tworzywem termoplastycznym, ponieważ oferuje wiele korzyści, takich jak:

- Polimery są łatwo dostępne i niedrogie.
- Polimery PET są bardzo odporne na wilgoć i odporne chemicznie na substancje organiczne i wodę.
- Charakteryzuje się wysokim stosunkiem wytrzymałości do wagi.
- Jest wysoce przezroczysty i odporny na pękanie (nie pęka jak opakowanie szklane).
- Materiały PET są w różnych kształtach i kolorach, które oferują dobry wybór w produkcji atrakcyjnych produktów.

Politereftalan etylenu można łatwo poddać recyklingowi. Tworzywa PET są jednym z najczęściej odzyskiwanych tworzyw sztucznych i są ponownie wykorzystywane do produkcji takich produktów jak pojemniki, izolacja śpiworów, tkaniny poliestrowe, dywany itp.

Chociaż politereftalan etylenu jest maksymalnie używanym tworzywem termoplastycznym i jest stosowany prawie we wszystkich produktach z tworzyw sztucznych, które są używane w naszym codziennym życiu, polimery te mają pewne ograniczenia, takie jak:

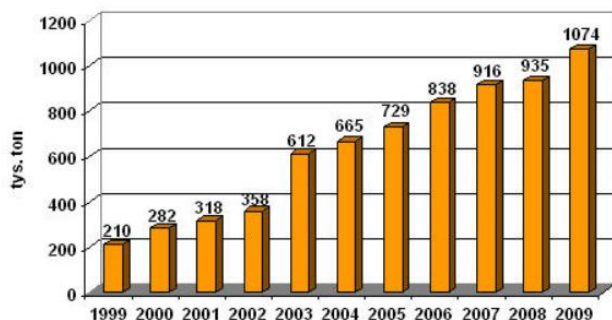
W porównaniu do innych polimerów polimer PET ma niższą odporność termiczną.

Żywice PET są nawet podatne na utlenianie. Na przykład nie są one używane do przechowywania piwa lub wina, ponieważ ich okres przydatności do spożycia jest tak długi, że może dojść do degradacji smaku.

Tworzywa PET nie ulegają biodegradacji, co może być dobre lub złe w zależności od ich zastosowania.

## **Recykling żywic PET**

Recykling produktów z tworzyw termoplastycznych jest powszechny w ostatnich latach. Termoplasty, takie jak żywice PET, są stosunkowo łatwe do recyklingu, ponieważ łańcuch polimerowy ulega łatwo rozkładowi w niskich temperaturach. Tworzywa PET są poddawane recyklingowi na bardzo szeroką skalę na całym świecie. Recykling politereftalanu etylenu określa się mianem RPET (Recyklowany politereftalan etylenu). Według PETRA (PET Resin Association), amerykański wskaźnik recyklingu PET wynosi około 30%, a w Unii Europejskiej prawie 52%. W 2015 r. na całym świecie poddano recyklingowi prawie 1,8 mld PET, który wykorzystano do produkcji różnych produktów końcowych.



Recykling butelek PET w krajach UE

Proces recyklingu PET może być różny dla różnych zakładów, ale ogólne etapy tego procesu są następujące:

- Butelki są segregowane indywidualnie, a niechciane materiały są usuwane ręcznie lub za pomocą zautomatyzowanego systemu.
- Aby zapobiec wszelkim zanieczyszczeniom, butelki są dokładnie czyszczone wewnątrz i na zewnątrz w celu usunięcia wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń.
- Po oczyszczeniu butelki są sortowane przy użyciu techniki promieniowania podczerwonego w celu określenia rodzaju polimerów obecnych w butelkach. Butelki są również sortowane według koloru (niebieski, naturalny zielony lub mieszany).
- Kolejne butelki rozdrabnia się na płatki, które należy ponownie umyć. Nawet ten krok może zostać pominięty i butelki mogą być bezpośrednio stopione, aby uzyskać różne kształty.
- W końcu rozdrobniony PET, tworzywa sztuczne są topione w celu dalszej produkcji granulatu z tworzyw sztucznych.
- RPET produkowany po recyklingu żywicy PET jest wykorzystywany do produkcji szeregu produktów segmentu końcowego, takich jak części samochodowe, pojemniki PET, arkusze i folie, taśmy przemysłowe, bagaż, włókna dywanowe z poliestru oraz w odzieży (koszulki, odzież sportowa, obuwie sportowe itp.).



#### Korzyści środowiskowe recyklingu Tworzywa sztuczne PET

Recykling PET może być bardzo pomocny dla zrównoważonego rozwoju. Może pomóc w osiągnięciu równowagi w ekosystemie, która jest silnie zaburzona przez nadmiar produkcji tworzyw sztucznych. Recykling PET może przyczynić się do zmniejszenia zależności od ropy naftowej i gazu, zmniejszenia ilości odpadów pochodzących z oceanów i wysypisk oraz emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.