

Wykorzystanie materiałów antropogenicznych w gospodarce o obiegu zamkniętym

Dr hab. inż. Janusz Sokołowski
Katedra Technologii Chemicznej PW

Wykorzystanie materiałów antropogenicznych w gospodarce o obiegu zamkniętym

Model gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga wprowadzenia mechanizmów zamkniętego obiegu w każdym ogniwie łańcucha wartości: w fazie projektowania, tworzenia modeli biznesowych i rynkowych, wyborów konsumpcyjnych, zapobiegania powstawaniu odpadów oraz efektywnego sposobu ich zagospodarowania, w tym sposobu efektywnego zagospodarowania minerałów antropogenicznych (MA), które powstają każdego roku w warunkach polskiej energetyki węglowej oraz innych gałęziach przemysłu w ilościach milionów ton.

Źródła minerałów antropogenicznych

Podstawowym źródłem energii elektrycznej i ciepłej w Polsce jest spalanie węgla kamiennego i brunatnego (84%, 2013 rok), udział pozostałych nośników jest nieznaczny. Węgiel to zasób, który nadal będzie dominował w miksie energetycznym Polski stanowiąc dla nas główne źródło energii, nawet do 50% w 2050r., co sprawia, że Polska w dobie prowadzonej przez Unię Europejską polityki pro ekologicznej stoi przed ogromnym wyzwaniem emisyjnym. Takie realia nie są spowodowane brakiem chęci w dążeniu do rozwijania produkcji energii ze źródeł odnawialnych ale troską o konkurencyjność rodzimej gospodarki. W procesie termicznego przekształcenia tych surowców, a dokładnie zawartej w nim materii organicznej obok powstających gazów, tworzone są bezpostaciowe tlenki nieorganiczne, stanowiące minerały antropogeniczne, zwane także ubocznymi produktami spalania (UPS).

Kody klasyfikacyjne UPS według katalogu odpadów

Wytwarzane uboczne produkty spalania, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie Katalogu Odpadów, zaliczane są do odpadów grupy 10 – „Odpady z procesów termicznych”, podgrupy 01 – „Odpady z elektrowni i innych zakładów energetycznego spalania paliw”. Jako produkty wytwarzane są: gips, który jest produktem odsiarczania spalin metodą wapienno gipsową oraz popiół lotny wykorzystywany w przemyśle jako dodatek do betonu.

10 01 01 – żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów,

10 01 02 – popioły lotne z węgla,

10 01 05 – stałe odpady z wapienno gipsowych metod odsiarczania spalin,

10 01 07 – produkty z wapienno gipsowych metod odsiarczania gazów odlotowych odprowadzane w postaci szlamu,

10 01 15 – popioły paleniskowe, żużle i pyły z kotłów ze współspalania inne niż wymienione w 10 01 14,

10 01 17 – popioły lotne ze współspalania inne niż wymienione w 10 01 16,

10 01 24 – piaski ze złóż fluidalnych (z wyłączeniem 10 01 82),

10 01 80 – mieszanki popiołowo – żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych,

10 01 81 – mikrosfery z popiołów lotnych,

10 01 82 – mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z wapienno gipsowych metod odsiarczania gazów odlotowych (metody suche i półsuche odsiarczania spalin oraz spalanie w złożu fluidalnym).

Odpady z działalności wydobywczej i przetwórczej

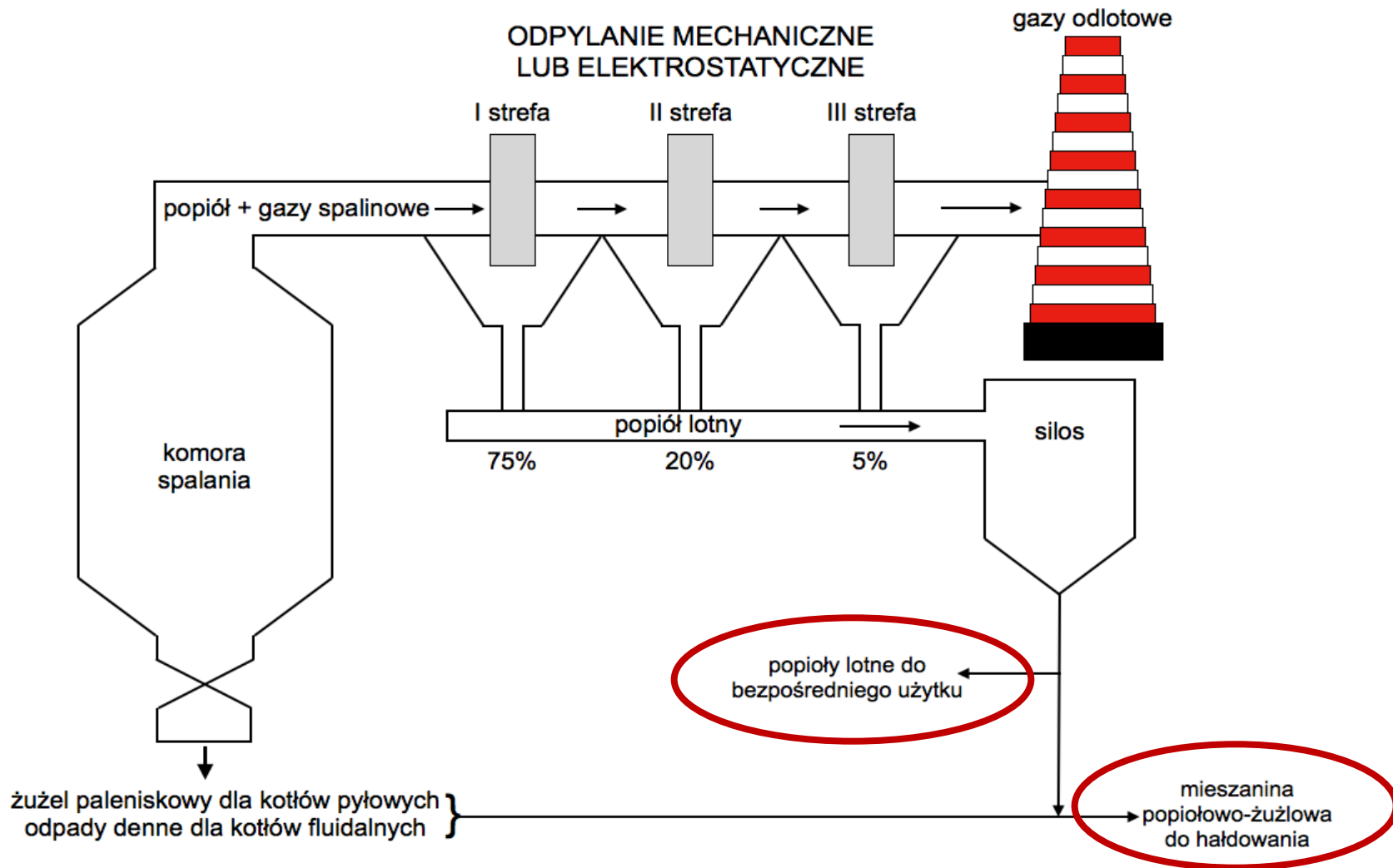
Każdego roku w Europie wytwarza się blisko 150 mln ton ubocznych produktów spalania węgla, z których ponad 100 mln ton powstaje w 28 krajach członkowskich Unii Europejskiej, z czego ponad 20 mln ton w Polsce.

Odpady – wytwarzanie i nagromadzenie [mln t.]			
Pochodzenie i rodzaj odpadów		Wytworzone w ciągu roku	Nagromadzone
Przemysł wydobywczy	Odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopalin	34,36	454,42
	Odpady z floatacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych	30,23	613,94
	Odpady z wydobywania kopalin innych niż rudy metali	5,82	75,22
Przemysł energetyczny	Mieszanki popiołowo-żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych	11,47	276,63
	Popioły lotne z węgla	4,48	27,24
	Mieszanki popiołów lotnych i odpadów stałych z wapienowych metod odsiarczania gazów odlotowych	3,76	0,02
Przemysł hutniczy	Żużle z procesów wytapiania (wielkopieczowe, stalownicze)	2,63	3,75
Razem:		92,75	1451,22

UPS a Minerale Antropogeniczne (MA)

Określenia opisujące uboczne produkty spalania ulegały zmianie. Początkowo definiowane były jako odpady z procesów energetycznego spalania węgla, produkty uboczne z węgla, produkty spalania węgla itp. Tradycyjne określenie ubocznych produktów spalania jako odpady jest nie trafne, z uwagi na negatywne skojarzenie wartościowego materiału z produktem bezużytecznym. Definiowanie ubocznych produktów spalania jako „odpady” spowodowało wprowadzenie wielu nowych strategii przemysłowych, dlatego niezbędne stało się nadanie przez odpowiednie ciała legislacyjne bardziej postępowych definicji oraz sposobów kategoryzacji tych materiałów. Termin uboczne produkty spalania był określeniem wprowadzonym w celu zmiany wizerunku i podkreślenia ich potencjału, należy do nurtu ekologii przemysłowej, której ideą jest poszukiwanie rozwiązań pozwalających na wykorzystywanie produktów ubocznych jednego przemysłu jako surowców innego. Przedstawione sposoby określania ubocznych produktów spalania bezpośrednio wskazują i wiążą je z substratem z jakiego powstały – węglem oraz procesem spalania, natomiast żadne nie określa w sposób jawny tego czym konkretnie jest produkt po procesie termicznego spalania węgla. Definicją trafną jest określenie ubocznych produktów spalania jako minerały antropogeniczne.

Schemat blokowy procesu spalania w jednostkach energetyki zawodowej



Charakterystyka popiołów lotnych

GLÓWNE SKŁADNIKI

MINERALNE

- gliniany
- ferryty
- glinoferryty
- kwarc
- trydymit
- krystobalit
- korund
- tlenek wapnia
- tlenek magnezu
- mullit
- hematyt
- magnetyt

OBRÓBKA TERMICZNA

1400 - 1600°C

- składniki krystaliczne (do 50% mas.)
- szkliwa
- zdehydroksylowane substancje ilaste
- mikrosfery
- niespalony węgiel

GLÓWNE SKŁADNIKI

CHEMICZNE

- SiO_2
- Al_2O_3
- Fe_2O_3
- CaO
- MgO
- K_2O
- Na_2O
- SO_3
- niespalony węgiel

Uboczne produkty spalania węgla

UPS wytwarzane są wraz z elektrycznością i parą w elektrowniach i elektrociepłowniach opalanych węglem kamiennym lub brunatnym, zaś zagospodarowywane głównie w przemyśle materiałów budowlanych, inżynierii lądowej, drogownictwie, pracach konstrukcyjnych w górnictwie podziemnym oraz do rekultywacji i przywracania wyrobisk po kopalniach odkrywkowych. Jako substancje powstające w wyniku działalności przemysłowej w tak dużej skali, zostały poddane procedurom wynikającym z rozporządzenia REACH.

Rozległe badania i prace poprzedzające samą rejestrację, sporządzone w zakresie i formacie szczegółowo wyspecyfikowanym przez rozporządzenie REACH, pozwoliły na jednoznaczne wykazanie, iż są to substancje bezpieczne dla ludzi i środowiska i z tego punktu widzenia doskonale nadają się do dalszego stosowania w ramach licznych rozwiązań materiałowych i produktowych.

Co to jest REACH?

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczące bezpiecznego stosowania chemikaliów, poprzez ich rejestrację i ocenę oraz w niektórych przypadkach udzielanie zezwoleń i ograniczenia handlu i stosowania niektórych chemikaliów (Dz. U. L 136 z 29.05.2007r.)

Rozporządzenie REACH, obowiązuje bezpośrednio, bez potrzeby wprowadzania do prawa polskiego. Weszło w życie w dniu 1 czerwca 2007 r. i zastępuje kilkadziesiąt dotychczas obowiązujących wspólnotowych aktów prawnych, zarówno rozporządzeń, jak i dyrektyw wprowadzonych do prawa polskiego ustawą o substancjach chemicznych i ich mieszaninach.

Wymagania dla UPS

Uboczne produkty spalania należą do tych minerałów antropogenicznych, które są obecne w licznych normach technicznych dotyczących bardzo szeroko pojętego budownictwa, z których kluczowe są następujące normy europejskie:

- EN 197-1 Cement,
- EN 206 Beton,
- EN 12620 Kruszywa do betonu,
- EN 450 Popiół lotny do betonu,
- EN 14227 Mieszanki spajane hydraulicznie,
- EN 13282 Spoiwa drogowe.

Zakres dziedzin, w których wykorzystanie ubocznych produktów spalania węgla jest uwzględnione przez normy materiałowe i produktowe, pokazuje, jak ważnej i znaczącej części gospodarki to dotyczy.

Ochrona zasobów naturalnych

Ochrona zasobów naturalnych i racjonalnego, wydajnego gospodarowania nimi to bezpośredni cel i kontekst gospodarki obiegu zamkniętego. Dotyczy to szczególnie skierowania minerałów antropogenicznych jako kruszyw do produkcji na ich bazie określonych wyrobów i produkcji samych kruszyw, ze względu na skalę potrzeb ich zagospodarowania.

Klasyfikacja kruszyw:

- **Kruszywa naturalne** stanowią kruszywa pochodzenia mineralnego i poza obróbką mechaniczną nie zostały poddane innej obróbce.
- **Kruszywa sztuczne** są to kruszywa pochodzenia mineralnego, uzyskuje się w wyniku prowadzenia procesów przemysłowych obejmujących modyfikację termiczną lub inną. Kruszywa sztuczne mogą być również produkowane z wtórnych surowców odpadowych, które powstają w energetyce (popioły oraz żużel), hutnictwie żelaza i metali kolorowych oraz ciepłownictwie, przemyśle ceramicznym i górnictwie.
- **Kruszywa z recyklingu** to kruszywa powstające w wyniku przeróbki materiału nieorganicznego zastosowanego poprzednio w budownictwie: beton z robót wyburzeniowych, kruszywa z podbudów i nasypów, inne surowce z robót wyburzeniowych.

Kruszywa alternatywne

Kruszywa sztuczne i z recyklingu w literaturze określane są mianem kruszyw alternatywnych, produkowanych z surowców odpadowych pochodzących z głównych gałęzi przemysłu:

- **Energetyki:** popiół lotny ze spalania węgla, popiół lotny z kotłów fluidalnych, żużel z kotłów elektrownianych, popiół denny ze spalania węgla, popiół denny z kotłów fluidalnych;
- **Hutnictwa żelaza i stali:** żużel wielkopiecowy granulowany (szklisty), żużel wielkopiecowy chłodzony powietrzem (krystaliczny), żużel z konwertora tlenowego (żużel konwertorowy), żużel z elektrycznego pieca łukowego (z produkcji stali węglowej), żużel z elektrycznego pieca łukowego (z produkcji nierdzewnej/wysokiej jakości stali stopowej);
- **Przemysłu metali nieżelaznych:** żużel pomiedziowy, żużel molibdeniczny, żużel cynkowy, żużel pofosforowy;
- **Odlewnictwa:** piasek odlewniczy, żużel z pieca odlewniczego;
- **Górnictwa węglowego i skalnego:** łupek węglowy przepalony, odpady z węgla kamiennego (łupki przywęglowe), wcześniej wyselekcjonowane odpady z górnictwa węglowego i skalnego;
- **Prac pogłębiających:** piasek z pogłębiania rzek i zbiorników wodnych, glina pogłębiająca;
- **Budownictwa, recyklingu i przemysłu ceramicznego:** kruszywa z recyklingu betonu, kruszywa z recyklingu cegieł, kruszywa z recyklingu asfaltu, kruszywa z recyklingu odpadów ceramicznych, kruszona cegła murarska;
- **Spalarni stałych odpadów komunalnych:** popiół denny z pieców do spalania odpadów komunalnych (z wyłączeniem popiołów lotnych), popiół lotny z pieców do spalania odpadów miejskich;
- **Pozostałe:** popiół z przemysłu papierniczego, ziemia z prac wykopaliskowych, popiół ze spalania odpadów, popiół ze spalania biomasy, stłuczka szklana, glina pęczniąca.

Zasoby do produkcji kruszyw

Zasoby do produkcji kruszyw [mln. t.]			
Wyszczególnienie	Liczba złóż	Zasoby geologiczne, bilansowe	Zasoby przemysłowe
Kamienie budowlane i drogowe	747	10 663, 50	3 461, 39
Gipsy i anhydryty	15	261, 24	109, 11
Piaski i żwiry	9316	17 972, 50	3 614, 42
Piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych	59	259, 34	34,79
Piaski kwarcowe do produkcji cegły wapienno-piaskowej	105	483, 53	18,51
Piaski podsadzkowe	34	4199	130, 59
Surowce ilaste ceramiki budowlanej	1 219	4087, 04	315, 24
Surowce ilaste dla przemysłu cementowego	28	276, 29	-
Surowce ilaste do produkcji kruszywa lekkiego	41	337, 66	5,60
Wapienie i margle dla przemysłu cementowego	70	12 794, 68	2 115, 59
Razem:	11 600	5 1334,78	9 805, 24

Produkcja kruszyw w wybranych krajach

Kraj	Ogólna ilość wyprodukowanych kruszyw [mln t.]	Ilość kruszyw wyprodukowanych z surowców wtórnych [mln t.]	Udział kruszyw z surowców wtórnych [%]
Austria	100	6	6,0
Belgia	82	16	20,0
Bułgaria	29	1	3,5
Dania	45	3	6,7
Francja	360	25	7,0
Holandia	83	17	20,5
Niemcy	564	98	17,5
Polska	268	5	2,0
Szwajcaria	50	5	10,0
Wielka Brytania	202	54	~ 27,0

Prognoza zapotrzebowania w drogownictwie

W ostatnich latach obserwuje się znaczną intensyfikację w zakresie wydobycia kruszyw ze względu na rosnące potrzeby budownictwa drogowego. Poniżej tabela przedstawiająca prognozę zapotrzebowania na masy ziemne i inne materiały przeznaczone do budowy dróg publicznych w latach 2014 – 2020.

Rok	Autostrady	Drogi ekspresowe	Obwodnice	Modernizacje	Razem
2014	6	5	3	3	17
2015	-	5	3	3	11
2016	-	5	2	6	13
2017	-	6	2	6	14
2018	-	6	2	7	15
2019	-	6	2	8	16
2020	-	5	2	8	15
Razem 2014–2020	6	38	16	41	101

Zagospodarowanie minerałów antropogenicznych z energetyki

- produkcja betonów (komórkowych i kruszywowych, zapraw),
- produkcja ceramiki budowlanej,
- produkcja cementów,
- produkcja spoiw budowlanych,
- produkcja kruszyw granulowanych,
- wyroby gipsowe (płyty gipsowe, spoiwa, tynki, masy szpachlowe),
- budownictwo drogowe (mieszanki hydrauliczne, podbudowy, stabilizacje podłoża, nasypy komunikacyjne),
- technologie górnicze (składnik podsadzki doszczelniającej zroby, w profilaktyce przeciwpożarowej, likwidacji wyrobisk, wzmocnień oraz stabilizacji górniczych),
- makroniwelacje oraz rekultywacje terenów zdegradowanych lub niekorzystnie przekształconych, iniekcje gruntowe, wymiany gruntów,
- rolnictwo,
- technologie znane, stosowane w niewielkiej skali bądź nie wykorzystywane: produkcja tworzyw sztucznych, farb, mas szpachlowych, mas gładzących, papy, zasypek hutniczych, odzysk pyłu magnetytowego, odkwaszanie gleb lub poprawa jej struktury

Zakres zastępowalności

- W gospodarce zakres zastępowalności surowców naturalnych surowcami antropogenicznymi pochodzącymi z energetyki węglowej jest ogromny. Możliwości wykorzystanie minerałów antropogenicznych szacuje się na poziomach:
 - 100% przy budowie nasypów komunikacyjnych
 - 50% przy produkcji podbudów drogowych
 - 35% przy produkcji cementu
 - 10% przy produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych
 - 5% przy produkcji betonu

Korzyści z zagospodarowania minerałów antropogenicznych

Zagospodarowanie surowców mineralnych ma wiele znaczących dla środowiska i gospodarki zalet, do których zaliczyć można:

- realizację strategii Pierwszeństwa dla Wtórnych, poprzez wzrost zagospodarowania odpadów przemysłowych,
- realizację założeń idei gospodarki o obiegu zamkniętym,
- zredukowanie potrzeby zużycia surowców naturalnych,
- zmniejszenie powierzchni składowisk ubocznych produktów spalania,
- zmniejszenie zapotrzebowania na energię,
- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych jako efekt środowiskowy,
- oszczędności związane z budową – wykonanie drogi z udziałem minerałów antropogenicznych jest tańsze nawet o 50%,
- szeroka dostępność materiału,
- popioły stanowią materiał o niskim ciężarze objętościowym co znacznie zmniejsza koszty transportu,
- są materiałami o wysokiej wytrzymałości, mrozoodporności i trwałości,
- zapobieganie degradacji środowiska: terenów kopalni surowców oraz terenów wokół elektrowni.

Cele i działania w obszarze realizacji idei gospodarki o obiegu zamkniętym

- wskazanie oraz opracowanie obszarów zastępowalności surowców naturalnych minerałami antropogenicznymi,
- pełna inwentaryzacja zasobów surowców antropogenicznych kraju wraz z określeniem ich właściwości oraz przydatności,
- pozyskanie pełnych danych dotyczących ilości wytwarzanych surowców antropogenicznych, ilości zalegających na składowiskach, ich lokalizacji i jakości w celu możliwości ich optymalnego wykorzystania,
- opracowanie innowacyjnych technologii dla optymalizacji produkcji na bazie surowców antropogenicznych,
- zapewnienie realnego dostępu do zasobów minerałów antropogenicznych wszystkich zainteresowanych podmiotów,
- analiza procedur dotyczących zamówień publicznych i tego czy zawarte są w nich założenia koncepcji Pierwszeństwa dla Wtórnych,
- wydanie prawnych aktów wykonawczych zawierających realne wymagania związane z realizacją celów gospodarki o obiegu zamkniętym,
- stworzenie katalogu przepisów technicznych dla budownictwa,
- opracowanie w oparciu o badania, statystyki oraz potwierdzone naukowo fakty, strategii oraz narzędzi w celu jak najbardziej wydajnego i pełnego sposobu odzyskiwania surowców o kluczowym dla gospodarki znaczeniu,
- wymiana informacji i doświadczeń dotyczących sposobów realizacji zasad gospodarki obiegowej,
- szukanie nowych rynków zbytu,
- rozszerzenie odpowiedzialności inwestorów za cykl życia wytwarzanych przez nich produktów,
- egzekwowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym.