

Barbara ZAJĄC, Irena GOŁĘBIOWSKA

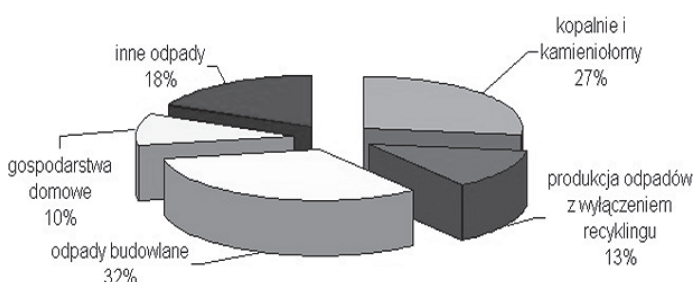
e-mail: zajacbar@poczta.onet.pl

Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Zagospodarowanie odpadów budowlanych

Wprowadzenie

27 krajów EU plus Chorwacja, Norwegia, Szwajcaria i Turcja wg danych Eurostatu (2011 i 2012) wytworzyło w 2008 roku 2,6 miliarda ton odpadów (tj. 5,4 tony na osobę), z których 3,7% stanowią odpady niebezpieczne. Skład tych odpadów jest następujący (Rys. 1): 32% odpadów pochodzi z budowy i z działalności rozbiórkowej, 27% z kopalni i kamieniołomów, 13% z produkcji (wyluczając recykling), 10% z gospodarstw domowych, a 18% stanowią inne odpady [Material Resources and Waste – 2012 Update].



Rys. 1. Skład odpadów wytworzonych w 2008 roku przez 27 krajów EU plus Chorwacja, Norwegia, Szwajcaria i Turcja [Material Resources and Waste – 2012 Update]

Zgodnie z jednolitym tekstem ustawy o odpadach [Obwieszczenie MS, 2007] za odpady uważa się każdą substancję, przedmiot należący do jednej z kategorii określonych w załączniku nr 1 do ustawy, których posiadacz pozbyswa się, zamierza się pozbyć lub do ich pozbycia się jest zobowiązany. Odpady klasyfikuje się w zależności od źródła powstania na 20 grup [Rozporządzenie MS, 2001]. Odpady budowlane są zaliczane do grupy 17, która to grupa zawiera odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych).

Na terenie budowy oprócz odpadów z grupy 17 powstają również odpady komunalne (grupa 20) oraz odpady opakowaniowe z grupy 15. Ponadto, odpady budowlane występują również w grupie odpadów komunalnych. Ilość odpadów budowlanych wytworzonych w Polsce w 2008 roku wyniosła 3,5 mln ton (z tego 2,8 mln ton było poddanych odzyskowi, unieszkodliwionych zostało 0,34 mln ton a zmagazynowanych 0,34 mln ton), a były to głównie: złom metali 40%, gleba i ziemia 30,7%. Prognozuje się, że w Polsce w latach 2014-2022 nastąpi powolny wzrost masy wytworzonych odpadów z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych. I tak, w roku 2014 przewiduje się 4,26 mln ton a w roku 2022 – 5,6 mln ton odpadów budowlanych. Ustawa z 27.04.2001 r. o odpadach wprowadziła obowiązek opracowywania planów w gospodarce odpadami, które są aktualizowane co 4 lata. Pierwszy krajowy plan gospodarki odpadami, wprowadzono w 2010 roku [Uchwała RM, 2010].

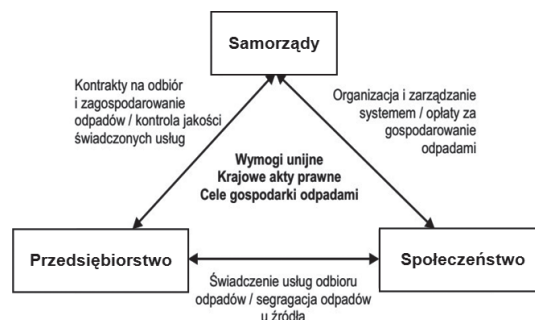
Priorytetem w zakresie kształtowania gospodarki odpadami jest zapobieganie powstawaniu odpadów. Celem nadrzędnym w zakresie gospodarowania odpadami z budowy i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej jest rozbudowa infrastruktury technicznej, zbieranie selektywne, przetwarzanie (recykling) oraz ponowne wykorzystywanie niektórych elementów rozbiórkowych.

Na rys. 2 i 3 pokazano schematy przedstawiające, kolejno - hierarchie sposobów zagospodarowania odpadów i system gospodarowania odpadami, opracowane według dyrektywy ramowej [Dyrektywa UE, 2008]. Zagospodarowanie odpadów według tej dyrektywy obejmuje następujące fazy postępowania, przy zachowaniu kryterium ważności: zapobieganie wytwarzaniu odpadów, przygotowanie do ponownego użycia, recykling, odzysk energii oraz najmniej pożądany etap – unieszkodli-

wianie na składowiskach. Gospodarowanie odpadami zdeterminowane jest prawidłowym sformułowaniem celów gospodarki odpadami, które będą realizowane w oparciu o krajowe akty prawne i wymogi unijne. Z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego ważne jest, aby odpady budowlane były w jak najwyższym stopniu stosowane w nowych produktach, przy najniższym obciążeniu środowiska i przy kosztach optymalnych.



Rys. 2. Hierarchia pożądanych sposobów postępowania z odpadami sporządzona według dyrektywy ramowej UE2008/98WE [Kubik., 2013]



Rys. 3. Zależność efektywnego systemu gospodarowania odpadami w Polsce od współpracy samorządów, mieszkańców i przedsiębiorstw [Kubik, 2013]

Celem niniejszej pracy była analiza i opis stanu recyklingu odpadów budowlanych w Polsce na tle innych krajów UE. Przedstawiono również podstawowe właściwości kruszywa recyklingowych oraz możliwości ich użycia w betonach i innych materiałach budowlanych.

Stan recyklingu odpadów budowlanych w Polsce na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej

Polska po wejściu do Unii Europejskiej została zobowiązana do przestrzegania dyrektywy europejskich dotyczących systematycznego wzrostu ilości przetwarzanych odpadów metodą recyklingu. Recykling to odzysk, który polega na powtórny przetworzeniu odpadu w procesie produkcyjnym w celu uzyskania materiału o przeznaczeniu pierwotnym lub o innym i który zyskuje wartość towaru.

W latach 2005-2006 wg [Tojo i Fischer, 2011] całkowity recykling odpadów budowlanych i rozbiórkowych (które nie są niebezpieczne) w Polsce wyniósł 28,3%, podczas gdy w Holandii wynosił 98,1%, w Danii 94,9% a w Niemczech 86,3% i znacząco przekroczył wartość celową recyklingu założoną na 2020 rok (Tab. 1). Przez West Frame Directive [Dyrektywa 2008/98/EC] UE wprowadziła 70% wartość celową recyklingu, która ma być osiągnięta w 2020 r. [Tojo i Fischer, 2011].

W tab. 1 przedstawiono recykling odpadów budowlanych osiągnięty w 18 krajach w latach 2005-2006. Kraje takie jak Dania, Niemcy

i Holandia poddają recyklingowi duże ilości betonu, cegły, płytek i dachówek ceramicznych oraz asfaltu. Można to uzasadnić wprowadzeniem w tych krajach obowiązku segregacji odpadów, ponownego użycia i recyklingu oraz wprowadzeniem opłat za składowanie odpadów. Tymczasem w Polsce zasadniczy udział w ogólnej ilości materiałów poddanych recyklingowi stanowi drewno, szkło, metale, tworzywa oraz gips. Z danych przedstawionych w tab. 1 wynika, że recykling w Polsce pod względem ilościowym i asortymentowym znacząco odbiega od recyklingu w wiodących krajach UE.

Tab. 1. Recykling materiałów budowlanych i rozbiórkowych w tonach na mieszkańca oraz udziały % [Tojo i Fischer, 2011]

Kraj	ΣR		Recykling całkowity		Beton, cegła, płytki ceramiczne, dachówka		Asfalt		Drewno, szkło, metal, tworzywo, gips		Zemia z pogłębienia oraz ziemia i kruszywo spod torów kolejowych		Odpad budowlany	
	%	t/os.	t/os.	%	t/os.	%	t/os.	%	t/os.	%	t/os.	%	t/os.	%
NL	98,1	1,55	0,34	22,1	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0	1,14	74,0	
DK	94,9	1,07	0,31	29,0	0,18	17,0	0,02	1,6	0,41	39,0	0,00	0,0	0,0	
EST	91,9	1,64	0,16	10,1	0,06	3,7	0,34	21,0	0,88	54,0	0,00	0,0	0,0	
D	86,3	1,93	0,38	19,6	0,22	12,0	0,00	0,1	1,37	71,0	0,38	20,0		
IRL	79,5	3,14	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	1,88	60,0	0,45	14,0		
B	67,5	0,75												
GB	64,8	1,22												
F	62,3	3,42	0,00	0,0	0,00	0,0	0,03	0,9	0,00	0,0	3,39	99,0		
N	61,0	0,16	0,13	79,3	0,00	0,0	0,02	14,0	0,00	0,0	0,01	4,3		
LT	59,7	0,11												
A	59,5	0,48	0,12	26,0	0,12	25,0	0,00	0,0	0,03	6,2	0,21	44,0		
LV	45,8	0,02												
PL	28,3	0,13	0,00	0,6	0,00	0,0	0,12	93,0	0,01	5,2	0,00	0,1		
FIN	26,3	0,41												
CZ	23,0	0,27	0,04	14,3	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0		
H	15,5	0,08	0,01	15,3	0,02	7,1	0,04	51,0	0,02	19,0	0,01	7,1		
E	13,6	0,12												
CY	0,7	0,01												

t/os. – tony na mieszkańca

ΣR – całkowity recykling odpadów budowlanych, %

Aktualnie w krajach Unii Europejskiej, w tym i w Polsce, proces przetwarzania odpadów budowlanych odbywa się głównie metodą tradycyjną. Składa się ona z następujących etapów: separowanie materiałów, sortowanie wstępne (segregacja gruzu na gruz ceglany, betonowy, ceramikę, drewno, pręty zbrojeniowe, materiały bitumiczne itp.), kruszenie poszczególnych, posegregowanych partii gruzu i sortowanie na żądane frakcje. W przypadku elementów żelbetowych stosuje się magnetyczną separację zbrojenia. Kruszenie betonu odbywa się w kruszarkach udarowych, szcękowych lub/i stożkowych. Gruz betonowy i asfaltowy jest przerabiany przez stacjonarne i mobilne stacje kruszenia. Do produkcji kruszywa z cegły stosuje się podobne zestawy urządzeń jak w przypadku produkcji kruszywa betonowego. Najwyższej jakości kruszywo recyklingowe otrzymuje się myjąc je w trakcie przetwarzania gruzu. Usuwa się w ten sposób kurz i zanieczyszczenia organiczne. W Holandii wprowadzenie *technologii mokrej* odgrywa znaczącą rolę we wdrożeniu zastosowania kruszywa recyklingowego betonowego [CCANZ Technical Report, 2011]. Jest to jednak technologia droga.

Możliwości zastosowania kruszyw recyklingowych

Kruszywo recyklingowe (KR) jest to kruszywo otrzymane z przetworzenia materiału nieorganicznego, uprzednio użytego w budownictwie. KR zawiera różnego rodzaju materiały pochodzące z odpadów budowlanych tzn.: beton, kawałki cegły, zaprawę, dachówki itp. Najczęściej

stosowanymi w budownictwie kruszywami recyklingowymi są kruszywa recyklingowe z betonu (KRB) oraz kruszywa recyklingowe z cegły (KRC).

KRB jest kruszywem otrzymywanym z pokruszenia betonu a KRC jest kruszywem otrzymywanym z pokruszenia cegły. Podczas kruszenia cegły powstaje więcej pyłów niż podczas kruszenia betonu lub kruszywa naturalnego. Pyły nie są pożądane w wyrobie, ponieważ redukują jego gęstość, pogarszają urabialność mieszanki i obniżają wytrzymałość produktu [Zajac, 2008]. KRB różni się od kruszywa naturalnego (KN) tym, że składa się głównie z dwóch materiałów a mianowicie: z kruszywa oryginalnego i przylegającej do niego zaprawy. Właściwości KR zależą od procesu jego produkcji oraz od właściwości odpadu budowlanego. Charakterystyki kruszyw recyklingowych różnią się istotnie w zależności od budowy, z której pochodzi odpad. Ponadto w ramach tej samej budowy charakterystyka odpadu może być różna w zależności od właściwości źródła pochodzenia odpadu. Kruszywo recyklingowe ma znacznie gorsze właściwości chemiczne i fizyko-mechaniczne niż kruszywo naturalne.

Zaczyn cementowy przylegający do ziaren kruszywa jest jedną z głównych przyczyn niższej jakości KRB. Duża liczba porów i pustek, które powszechnie występują dookoła ziarna kruszywa stwarza słabe połączenie między kruszywem i starą zaprawą cementową. Zaczyn cementowy przylegający do ziaren kruszywa powoduje, że KRB ma mniejszą gęstość, większą porowatość i wyższą pojemność absorpcyjną wody niż KN. Nieregularny, wydłużony kształt ziaren KR/KRB, oprócz dużej pojemności absorpcyjnej jest kolejną istotną wadą tego kruszywa. Ze względu na znacznie większą zawartość dobrego kruszywa naturalnego w KRB grubym (> 4 mm) niż w drobnym (< 4 mm), zalecane jest stosowanie do produkcji nowego betonu tylko KRB grubego. KRB drobne zawiera więcej zaczynu cementowego, który absorbuje wodę i powoduje, że produkcja betonu jest bardzo trudna. Zaczyn cementowy przylegający do ziaren kruszywa może zawierać chlorki i siarczany, które są bardzo niekorzystne dla wyrobów, do produkcji których będzie stosowane KRB. Gips jest najczystszy źródłem zanieczyszczenia KRB siarczanami. Można go usunąć przez selekcję ręczną odpadu, jeszcze przed procesem kruszenia [CCANZ Technical Report 2011].

Optymalny kształt ziaren osiąga się przez podwójne kruszenie betonu odpadowego [Rao i in., 2007]:

I. kruszenie: redukcja wielkości odpadu do 50 mm i usuwanie kawałków stali za pomocą elektromagnesu,

II. kruszenie: redukcja wielkości ziaren do 7÷14 mm i 14÷20 mm.

W przypadku mycia kruszywa recyklingowego na budowie nie jest ono wolne od zanieczyszczeń – ciągle może występować około 1,4% zanieczyszczeń [Yang i in., 2011].

Przed zastosowaniem kruszywa recyklingowego do produkcji materiałów budowlanych potrzebna jest kontrola jego jakości.

Podstawowe, aktualne zastosowania kruszywa recyklingowego betonowego i kruszywa recyklingowego ceglano jest następujące:

- betonowe nawierzchnie chodników, dróg tymczasowych, podbudowa dróg, poboczy dróg, betony bitumiczne, itp.,
- produkcja krawężników, barier, elementów umocnień nabrzeży, rynien, ekranów dźwiękochłonnych, itp.

W kraju i na świecie prowadzone są liczne badania nad rozszerzeniem możliwości zastosowania kruszyw recyklingowych w nowych produktach budowlanych. Z badań tych wynika, że:

1. W przypadku betonu z KRC gęstość betonu jest do 17% niższa niż betonu z KN. W zależności od procentu zamiany kruszywa naturalnego grubego i naturalnego drobnego odpowiednim KRC w betonie z KRC w stosunku do betonu z KN - wytrzymałość na ściskanie jest niższa o 30÷40%, wytrzymałość na zginanie jest niższa o 15÷40%, moduł sprężystości jest niższy o 30÷50%. Im wyższy jest procent zamiany kruszywa (KN), kruszywem (KRC) tym wyższy jest skurcz i przepuszczalność wody [Debieb i Kenai, 2008]. Gęstość betonu z KRC jest niższa niż betonu z kruszywem (KN) i wynosi 2000÷2080 kg/m³ [Zajac, 2008].
2. W przypadku betonu z KRB w porównaniu z betonem z KN: wytrzymałość na ściskanie jest o 15÷40% niższa, wytrzymałość betonu na zginanie jest mniejsza o ok. 10%, spadek modułu sprężystości wynosi 6÷33%, wzrost skurczu wynosi 20÷50%, wzrost pelzania waha

- się w granicach 30÷60%. Odporność na ścieranie jest mniejsza niż betonu z kruszywem naturalnym. Mrozoodporność, nasiąkliwość i przesiąkliwość, głębokość karbonatyzacji, absorpcja wody i przenikanie powietrza oraz jonów chlorkowych betonu przy niewielkim procencie zamiany kruszywa naturalnego na recyklingowe (do 30%), różnią się nieznacznie w stosunku do betonu z kruszywem naturalnym [CCANZ Technical Report, 2011]. Właściwości betonów z kruszywem recyklingowym można poprawić stosując dodatki w postaci mikrokrzemionki i metakaolinu [Kou i in., 2011].
3. W przypadku betonu składającego się z recyklingowego kruszywa z cegły oraz z recyklingowego kruszywa z betonu (po 50%) występuje mniejsza urabialność mieszanki aniżeli w przypadku kruszywa naturalnego i dlatego mieszanka jest trudno zagęszczalna i trudna do zatarcia. W przypadku betonu składającego się z recyklingowego kruszywa z cegły do 20% oraz z recyklingowego kruszywa betonowego do ok. 80% – będzie on dobrej jakości [Yang i in., 2011].
 4. Do produkcji betonowej kostki nawierzchniowej zastosować można mieszankę KRB i KRC. Wyniki badań wskazują, że wysoka absorpcja wody przez pokruszoną cegłę powoduje redukcję gęstości, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie oraz twardości badanej kostki. Przy zastosowaniu 50% recyklingowego kruszywa betonowego i 50% recyklingowego kruszywa ceglano otrzymuje się nawierzchniową kostkę chodnikową spełniającą minimalne wymagania normowe. W przypadku zamiany 25% KRB recyklingowym kruszywem z cegły (KRC), otrzymuje się beton spełniający warunki normowe nawierzchniowej kostki drogowej [Rathje i in., 2006].
 5. Użycie drobnego kruszywa recyklingowego, otrzymanego ze ściennego gruzu ceglano, do produkcji cegieł cementowo-piaskowych umożliwia otrzymanie cegieł z dobrymi cechami fizyko-mechanicznymi. Cechy te są podobne do właściwości cegieł z kruszywem naturalnym w przypadku gdy procent drobnego kruszywa recyklingowego będzie ograniczony do 50÷75% [Ismail i Yaacob, 2010].
 6. Istnieje możliwość zastosowania pyłu ceglano jako wypełniacza mineralnego w mieszance asfaltowej. W pracy [Chen i in., 2011] porównywano dwa rodzaje mieszank asfaltowych: z recyklingowym pyłem ceglano i pyłem z kamienia wapiennego. Na podstawie tych badań stwierdzono, że mieszanka z recyklingowym kruszywem ceglano miała lepsze właściwości mechaniczne, większą odporność na zmęczenie i działanie wody oraz większą odporność na powstawanie kolein przy temperaturze 60°C niż mieszanka z wypełniaczem wapiennym.
 7. Kruzywo recyklingowe betonowe może znaleźć zastosowanie w stabilizacji ścian ziemnych, zbrojonych metalowymi, profilowanymi blachami (zamiast wypełnienia ziemią). Jednak ściany z betonowym kruszywem recyklingowym powinny zawierać odpowiedni drenaż i wysoko przepuszczalną tkaninę filtrującą. Stosowane kruszywo recyklingowe nie może zawierać siarczanów oraz domieszek asfaltu ze względu na korozję zbrojenia i pęcznienie betonu [Rathje i in., 2006].

Wnioski

Utylizacja odpadów budowlanych zależy od ich jakości i rodzaju:

- **Kruzywo recyklingowe betonowe niskiej jakości** (nieplukane kruszywo zawierające zanieczyszczenia) jest stosowane m.in. do: podbudowy dróg drugorzędnych, wykonywania nasypów, drenażu, wypełnień, itp.
- **Kruzywo recyklingowe betonowe średniej jakości** (kruszywo grube, plukane o właściwościach fizyko-mechanicznych zbliżonych do kruszywa naturalnego) może być stosowane do produkcji betonu przy udziale nawet do 100% w zależności od projektowanej klasy betonu i uregulowań normowych danego kraju.

Według norm światowych betonowe kruszywo recyklingowe jest klasyfikowane ze względu na jego skład i gęstość, a jego stosowanie w betonie jest ograniczone do kruszywa grubego.

Sposób rozbiórki obiektu budowlanego istotnie wpływa na jakość pozyskiwanego odpadu. Najwyższą jakością odpadu można uzyskać stosując selektywną rozbiórkę budowli, w wyniku której otrzymuje się różnego rodzaju materiały odpadowe posegregowane w zależności od ich właściwości.

Kontrola jakości kruszywa recyklingowego jest niezbędna, aby móc wykorzystać je do produkcji betonu i innych materiałów budowlanych. Chociaż kruszywo recyklingowe betonowe jest kruszywem o niższej jakości niż kruszywo naturalne i ma negatywny wpływ na właściwości fizyko-mechaniczne nowego produktu, to jednak liczne badania pokazują, że takie kruszywo może być stosowane do betonu konstrukcyjnego o ograniczonej wytrzymałości i do produkcji nowych materiałów budowlanych.

Potencjalne kierunki utylizacji odpadów budowlanych muszą być rozpatrywane w szerokiej perspektywie z uwagi na ideę rozwoju zrównoważonego. Konieczna jest ocena wpływu na środowisko procesu przetwarzania odpadów budowlanych oraz ocena oddziaływania na środowisko nowego produktu w całym cyklu życia [Zajac i Gołębiowska, 2012]. Nowy produkt powinien być zaprojektowany w taki sposób, aby w przyszłości mógł być ponownie użyty.

LITERATURA

- CCANZ Technical Report, 2011. *Best practice guide for the use of recycled aggregates in new concrete*. Cement & Concrete Association of New Zealand (09.2014) [http://www.ccanz.org.nz/images/document/Recycled Aggregates in New Concrete.pdf](http://www.ccanz.org.nz/images/document/Recycled%20Aggregates%20in%20New%20Concrete.pdf)
- Chen M-z., Lin J-t., Wu Sh-p., Liu C-h. 2011. Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture. *Constr. Build. Mater.*, **25**, 1532-1536. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.08.005
- Debieb F., Courard L., Kenai S., Degeimbre R., 2010. Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. *Cement Concrete Comp.*, **32**, 421-426. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2010.03.004
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. Dz.Urz. UE L 312/3 z 22.11.2008
- Hansen T.C.(Ed.) 1992. *Recycling of demolished concrete and masonry*. Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete. Report 6, RILEM (ISBN: 0-419-15820)
- Ismail S., Yaacob Z., 2010. Properties of bricks produced with recycled fine aggregate. *World Academy of Science Engineering and Technology*, ISI 43, **4**, nr 7, 878-882
- Kou S-c., Poon Ch-s., Agrela F., 2011. Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. *Cement Concrete Comp.*, **33**, 788-795. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2011.05.009
- Kubik M., 2013. *Rynek zagospodarowania odpadów komunalnych w Polsce. Odpady komunalne w nowym systemie*. I. Ogólnopolski Kongres Recyklingu. Deloitte Polska, Warszawa (09.2014) <http://mzgk.chrzanow.pl/media/download/5516af82-b293-4a3c-93d9-1f8afaa88823#>
- Material Resources and Waste, 2012 - Update. *The European Environment State and Outlook 2010*. European Environment Agency (09.2014) http://www.eea.europa.eu/publications/material-resources-and-waste-2014/at_download/file
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 1 lutego 2007 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o odpadach. Dz.U. 2007 nr 39 poz. 25
- Rao A., Jha K.N., Misra S., 2007. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Res. Conserv. Recycl.*, **50**, 71-81. DOI: 10.1016/j.resconrec.2006.05.010
- Rathje E., Trejo D., Folliard K., 2006. *Potential use of crushed concrete and recycled asphalt pavement as backfill for mechanically stabilized earth walls*. Center for Transportation Research the University of Texas at Austin. Project Summary Report 0-4177-S (09.2014) http://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/rti/psr/0_4177_s.pdf
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.09.2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. 2001 nr 112 poz. 1206
- Tojo N., Fischer Ch., 2011. Europe as recycling society. European Recycling Policies in relation to the actual recycling achieved. European Environment Agency (09.2014) <http://sep.eionet.europa.eu/wp/ETCSCP2per2011>
- Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014” z dnia 24.12.2010 r., MP 2010, nr 10, poz. 101, art.1183
- Yang J., Du Q., Bao Y., 2011. Concrete with recycled aggregate concrete and crushed clay bricks. *Constr. Building Mater.*, **25**, 1935-1945. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.063
- Zajac B., 2008. Właściwości betonu z kruszywem recyklingowym z cegły. *Inż. Ap. Chem.*, **47**, nr 5, 62-63
- Zajac B., Gołębiowska I., 2012. Ocena cyklu życia konstrukcji betonowej. *Inż. Ap. Chem.*, **51**, nr 5, 265-267