

Artykuł pochodzi z archiwalnych zasobów firmy EKO-KONSULT sp. z o.o. 80-557 Gdańsk,  
ul. Narwicka 6.

Wszystkie prawa zastrzeżone.

Korzystanie za zgodą firmy EKO-KONSULT [biuro@ekokonsult.pl](mailto:biuro@ekokonsult.pl)



*Kwartalnik „Problemy Ocen Środowiskowych” wydawany cyklicznie w latach 1998 – 2012, przez EKO-KONSULT był jedynym wydawnictwem w Polsce, poświęconym wyłącznie ocenom środowiskowym planowanych inwestycji oraz strategicznym ocenom oddziaływania na środowisko. Dla praktyków OOŚ, ale również dla osób początkujących może nadal stanowić wartościowe źródło wiedzy np. w zakresie prezentowanych case study i przeglądu stosowanych metodyk - w tym kontekście znaczna część artykułów zachowuje sporo aktualności.*

---

Lech J. Sitnik

**Bilans ekologiczny termicznej utylizacji odpadów jako przyczynek w ocenie oddziaływania na środowisko**

## **Wstęp**

Przepisy i zalecenia Unii Europejskiej (np. dyrektywa Rady nr 1999/31/BG z dnia 26 kwietnia 1999r. opublikowana 16 czerwca 1999r.) zmierzają do zaniechania polityki składowania odpadów. Oznacza to, że pierwszoplanowego znaczenia nabiera kwestia ich utylizacji termicznej. Jednocześnie zmienia się pogląd na metody termicznego przekształcania odpadów zwłaszcza, że w ostatnim czasie wprowadzono wiele proekologicznych zmian w uznanych za klasyczne technologiach spalania odpadów oraz wprowadzono na skalę komercyjną nowe metody termicznego przekształcania odpadów – nie będące z założenia ich spalaniem.

Nowa sytuacja prawna wymusza wprowadzenie nowych technologii utylizacji odpadów. Decyzja o wyborze technologii poprzedzona musi być gruntownymi analizami i porównaniami. Jest to zagadnienie bardzo złożone, gdyż uwarunkowania społeczne mogą (ale, jak pokazuje doświadczenie nie muszą) być pochodną analiz porównań bilansów masowych, energetycznych, ekonomicznych i ekologicznych.

## **Metodyka bilansu ekologicznego**

### **PODSTAWY**

Założeniem metody jest to, że w poszczególnym elemencie środowiska naturalnego (np. powietrzu) stężenie danego składnika toksycznego nie może przekroczyć określonej wartości. Ta wartość, traktowana jako graniczna, jest tak określona by stężenie określonej toksyny nie powodowało żadnych zmian w organizmach żywych.

Okazuje się, że graniczne wartości stężeń są dość dobrze znane jedynie w odniesieniu do powietrza i wody pitnej. We wszystkich tych przypadkach, gdzie nie ma norm, lub oficjalnych wytycznych muszą być one stworzone na podstawie analiz odpowiednich danych.

Poszukując tych wartości granicznych trzeba mieć na uwadze, że nie mogą być, ze względu na ochronę środowiska, przekraczane dopuszczalne wartości emisji, a ich koncentracja nie może przekraczać średniego stężenia w danym elemencie środowiska.

### **Wyznaczanie wartości krytycznych**

Wszystkie wartości dla odpadów odnoszone są do ich 1 Mg.

Aby wyznaczyć krytyczną ilość składnika toksycznego należy, w pierwszym etapie, wyznaczyć jego ilość wyemitowaną. Ta ostatnia jest iloczynem danego składnika toksycznego w określonym produkcie oraz ilości tego produktu przypadający na Mg odpadów.

Poprzez podzielenie otrzymanych w ten sposób wartości przez stężenie krytyczne otrzymuje się krytyczną ilość składnika toksycznego na Mg odpadów, w tym elemencie środowiska, do którego omawiany produkt jest emitowany.

#### *Krytyczna ilość spalin*

Dla wyliczenia krytycznej ilości spalin emitowanych do powietrza stosuje się następujące zależności:

**Koncentracja składnika toksycznego (mg/Mg odpadów) = udział spalin (m<sup>3</sup>/Mg odpadów) X stężenie składnika toksycznego w spalinach (mg/m<sup>3</sup>)**

**Krytyczna objętość spalin (m<sup>3</sup>/Mg odpadów) = koncentracja składnika toksycznego (mg/Mg odpadów) / krytyczne stężenie (mg/m<sup>3</sup>)**

**Krytyczna masa spalin (kg/Mg odpadów) = krytyczna objętość spalin (m<sup>3</sup>/Mg odpadów) / gęstość powietrza (kg/m<sup>3</sup>)**

Krytyczną ilość całości spalin wyznacza się jako sumę ilości krytycznych wyliczonych dla poszczególnych składników toksycznych spalin.

### *Krytyczne ilości ścieków*

Obliczenia krytycznych ilości ścieków dokonuje się według następujących zależności:

$$\text{Koncentracja (mg/Mg odpadów)} = \text{udział ścieków (dm}^3\text{/Mg odpadów)} \times \text{stężenie składnika toksycznego w ściekach (mg/dm}^3\text{)}$$
$$\text{Krytyczna ilość ścieków (kg/Mg odpadów)} = \text{koncentracja (mg/Mg odpadów)} / \text{krytyczne stężenie (mg/kg)}$$

Krytyczne ilości w całości ścieków określa się jako sumę wyznaczonych w powyższy sposób poszczególnych składników toksycznych wody.

### *Krytyczne ilości dla ciał stałych*

Obliczenia poszczególnych krytycznych ilości składników toksycznych w ciałach stałych dokonuje się według następujących zależności:

$$\text{Koncentracja (mg/Mg odpadów)} = \text{udział masowy (kg/Mg odpadów)} \times \text{stężenie składnika toksycznego (mg/kg)}$$
$$\text{Krytyczna ilość (kg/Mg odpadów)} = \text{koncentracja (mg/Mg odpadów)} / \text{krytyczne stężenie (mg/kg)}$$

Krytyczne ilości całości ciał stałych określa się jako sumę wyznaczonych w powyższy sposób poszczególnych składników toksycznych ciał stałych.

### *Określenie krytycznych ilości przy zanieczyszczonym już powietrzu*

Wiele składników toksycznych znajduje się w otaczającym nas powietrzu. Musi to być uwzględnione przy wyznaczaniu stężeń krytycznych. W przypadkach takich stężenie krytyczne oznacza się jako różnicę między graniczną wartością emisji a istniejącą koncentracją. Zależności do wyznaczania koncentracji krytycznych przyjęto jak następuje:

$$\text{Koncentracja składnika toksycznego (mg/Mg odpadów)} = \text{udział produktu (m}^3\text{/Mg odpadów)} \times \text{stężenie składnika toksycznego w spalinach (mg/m}^3\text{)}$$
$$\text{Koncentracja krytyczna (mg/m}^3\text{)} = \text{graniczna wartość emisji (mg/m}^3\text{)} - \text{istniejąca koncentracja (mg/m}^3\text{)} + \text{graniczna wartość emisji (mg/m}^3\text{)} \times 0,001$$

**Krytyczna objętość składnika toksycznego (m<sup>3</sup>/Mg odpadów) = koncentracja składnika toksycznego (mg/Mg odpadów) / krytyczne stężenie (mg/m<sup>3</sup>)**

**Krytyczna masa składnika toksycznego (kg/Mg odpadów) = krytyczna objętość (m<sup>3</sup>/Mg odpadów) / gęstość powietrza (kg/m<sup>3</sup>)**

## Wartości krytyczne

Poniższa tabela podaje koncentracje składników służące do wyznaczenia krytycznych ilości w poszczególnych elementach środowiska [1].

**Tabela 1 Koncentracje będące ogólną podstawą dla wyznaczenia krytycznych ilości w poszczególnych elementach środowiska**

Składniki toksyczne	Składowe środowiska				
	Powietrze	Woda	Gleba	Składowisko	Składowisko podziemne
	mg/m <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	Mg/kg	mg/kg	mg/kg
Pył	0,07	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C	0,02	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
S	0,05	30	2600	26000	260000
Cl	0,02	100	1,3	13	130000
NO <sub>x</sub>	0,08	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Pb	0,01	0,05	130	1,3	13000
Cu	0,005	0,01	600	6	60000
Zn	0,001	0,2	700	7	70000
Cd	0,00001	0,005	2	20	200
Hg	0,0001	0,001	13	10	100
PCDD/F	1 *10 <sup>-10</sup>	1 *10 <sup>-9</sup>	1 *10 <sup>-6</sup>	1 *10 <sup>-5</sup>	1 *10 <sup>-4</sup>
CO <sub>2</sub>	600	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*n.s. nie stosuje się*

## Porównywane technologie przetwarzania odpadów

Porównane będą dwie zasadnicze technologie termicznego przetwarzania odpadów tj.

- technologia termicznej selekcji odpadów,
- technologia spalania odpadów w wersjach:
  - bez zeszkliviania popiołów,
  - z zeszklivianiem popiołów.

Z ekologicznego punktu widzenia obie technologie charakteryzują się odmienną filozofią w przekształcaniu.

Termiczna selekcja odpadów to przekształcenie ich do gazu, jego oczyszczenie i wykorzystanie jako paliwa w procesach wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej lub też jako substratu w innych procesach. Ponadto uzyskuje się szereg produktów, które bez dalszego przekształcania mają zastosowanie w przemyśle i budownictwie.

Spalanie to przekształcanie odpadu w inny odpad przy czym nadwyżka energii tego procesu wykorzystywana jest do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Powstają nowe odpady w postaci zanieczyszczonych spalin, żużla i popiołu. Spaliny wymagają oczyszczenia, natomiast z popiołu trzeba wybrać resztki złomu, a następnie go zeszkliwić.

## PROCES TERMICZNEJ SELEKCJI ODPADÓW

Wszelkiego rodzaju odpady komunalne zostają, bez wstępnego przygotowania, sprasowane do 1/10 początkowej objętości i wtłoczone do poziomego kanału. W kanale tym są odpowietrzane, suszone i podgrzewane do temperatury rzędu 600°C.

W tym etapie odpady organiczne są zwęglane. Powstały węgiel (oraz pozostałe, nieorganiczne składniki odpadów tzn. metale i minerały) zostają przetłoczone z poziomego kanału do pionowego, wysokotemperaturowego reaktora, do którego dozowany jest technicznie czysty tlen (nie powietrze).

Przebiegają reakcje endotermiczne i egzotermiczne. Powstaje gaz syntezowy. Reakcje egzotermiczne dostarczają takich ilości ciepła, że temperatura w reaktorze rośnie do ponad 2000°C. W tych warunkach węgiel jest utleniony, a metale i mineralne składniki odpadów topią się do stanu płynnego. Węglowodory i chlorki ulegają rozkładowi do pierwiastków.

Wszystko, co było kiedyś odpadami zmienia stan skupienia i jest albo w postaci płynnej albo gazowej. Frakcja płynna spływa po ściankach reaktora do poziomej wanny, a z niej do kolejnego poziomego kanału gdzie przebiegają reakcje zgazowania i homogenizacji. W kanale tym płynna frakcja ceramiczna (lżejsza) przemieszcza się po płynnej frakcji metalicznej (cięższej). Następuje homogeniczne rozpuszczanie części szkodliwych związków we frakcji ceramicznej. Obie frakcje spływają do basenu z wodą, gdzie zestalają się do dwojakiego rodzaju granulatu:

- ceramicznego, składającego się głównie z krzemionki,

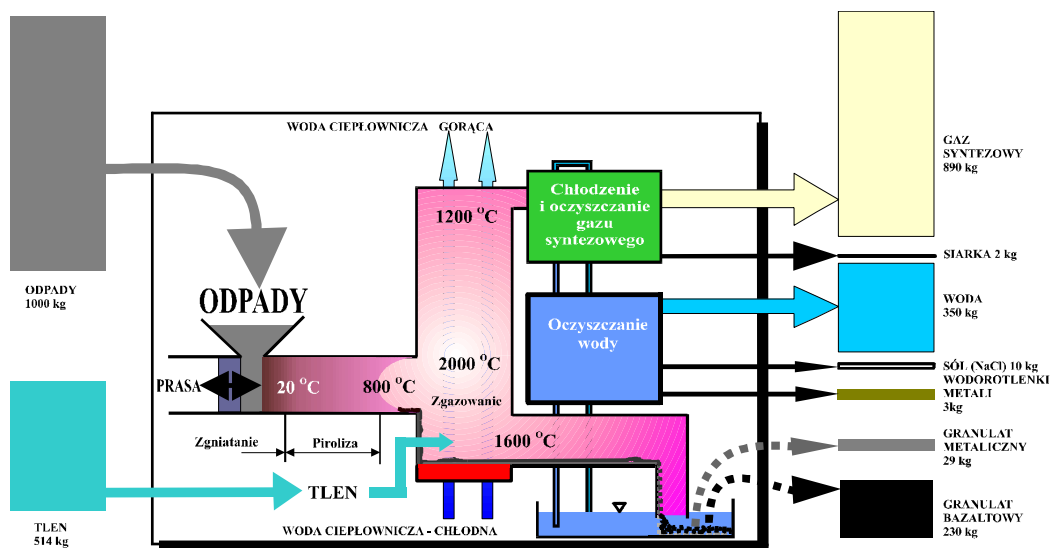
- metalicznego, którego głównym składnikiem jest żelazo.

W reaktorze frakcja gazowa przemieszcza się ku górze. Stąd przedostaje się do płuczki wodnej, gdzie zostaje szokowo schłodzona. Zapobiega to odtwarzaniu się dioksyn i furanów.

Powstały gaz syntezowy zostaje oczyszczony w wielostopniowym procesie oczyszczania i kondensacji. Wszystkie związki szkodliwe zostają z niego praktycznie usunięte, gdyż ich zawartość w gazie jest tak mała, że leży często na granicy wykrywalności.

Reaktor, podobnie jak kocioł gazowy, jest chłodzony. Wytworzone ciepło służy do celów grzewczych.

Proces termicznej selekcji odpadów przedstawia poniższy rysunek przedstawiający schematycznie instalację.



Rysunek 1. Schemat instalacji termicznej selekcji odpadów

## Kondycjonowanie gazu syntezowego

Gaz syntezowy podawany jest różnym zabiegom, mającym na celu zapobieżenie tworzeniu się związków toksycznych (zwłaszcza dioksyn i furanów), oraz usunięcia z niego wtrąceń, które mogłyby być niepożądane zarówno w procesie jego spalania lub też przekształcania chemicznego. Uzyskuje się to przez szokowe chłodzenie oraz wielostopniowe oczyszczanie.

### Szokowe chłodzenie

Gaz syntezowy opuszczający reaktor ma temperaturę 1200°C. Kierowany jest do płuczki, gdzie splukiwany jest strumieniami wody. Efektem jest jego szokowe schłodzenie do temperatury 70°C. Schładzanie to trwa mniej niż 0,1 sekundy, co zapobiega odtwarzaniu się dioksyn i furanów.

Synteza dioksyn i furanów przebiega w temperaturze od 200 do 800°C, a szczególnie szybko w temperaturze od 250 do 300°C. **Zatem w trakcie podgrzewania odpadów, gdy przekraczana jest temperatura 250°C muszą one powstać.** Dalsze podgrzewanie, powyżej temperatury 800°C, powoduje jednak, że dioksyny i furany rozpadają się do prostych związków takich jak CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C, HCl. W trakcie powolnego ochładzania dioksyny i furany powstają na powrót (reakcja „de novo”). Jednak im krócej temperatura gazów mieści się w zakresie od 800 do 250°C, tym powstaje ich mniej. Tę własność reakcji wykorzystuje się w technologii termicznej selekcji odpadów.

**Zapobieganie wtórnemu tworzeniu się rakotwórczych i mutagennych policyklicznych węglowodorów aromatycznych oraz dioksyn i furanów jest bardzo ważne, gdyż ich usuwanie w procesach oczyszczania gazów (np. spalin) jest stosunkowo mało skuteczne.**

Na marginesie warto dodać, że 100 000 Mg odpadów wyprodukowanych rocznie zawiera 5 gramów dioksyn i furanów. W technologii selekcji termicznej redukuje się je do 0,0001 grama na rok w gazie syntezowym i 0,005 grama na rok w granulacie mineralnym.



## Oczyszczanie gazu syntezowego

Oczyszczanie gazu syntezowego przebiega wielostopniowo. Stopnie te to:

- splukiwanie gliceryną,
- splukiwanie wodą o odczynie kwaśnym,
- splukiwanie wodą o odczynie zasadowym,
- osuszanie.

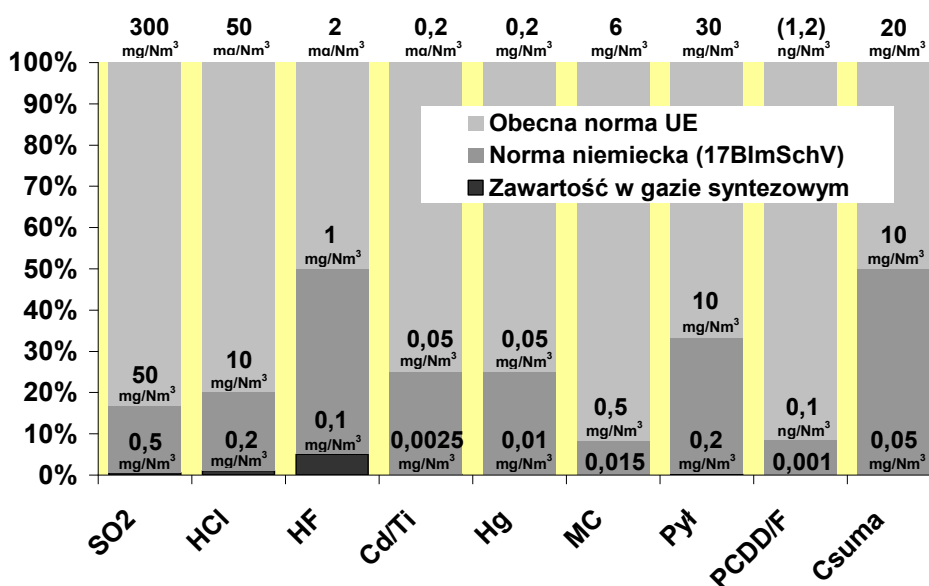
Celem usunięcia z gazu syntezowego resztek wody schładza się go do temperatury około 5°C. Po osuszeniu podgrzewany jest on na powrót i kierowany w złożę węgla aktywnego. Tu usuwane są z niego śladowe resztki zanieczyszczeń. Węgiel aktywny tego złoża, po wyczerpaniu się jego zdolności pochłaniania, wprowadzany jest do odpadów przed ich sprasowaniem.

Średni skład gazu syntezowego przedstawiono w poniższej tabeli.

**Tabela 2. Średni skład gazu syntezowego**

Składnik		Udział, %
wodór	H <sub>2</sub>	32-35
tlenek węgla	CO	35-39
dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>	23-27
Metan	CH <sub>4</sub>	<0,1
para wodna	H <sub>2</sub> O	~1
azot	N <sub>2</sub>	2-4

Jeśli dopuszczalną (zgodnie z odpowiednią normą) emisję danego składnika toksycznego przyjąć za 100%, to procentową zawartość składników toksycznych w gazie syntezowym ilustruje poniższy rysunek.



Rysunek 2. Zawartość składników toksycznych w gazie syntezowym, w odniesieniu do wartości dopuszczalnych normami (MC – metale ciężkie, PCDD/F – dioksyny i furany)

Widać, że nawet najostrejsze normy niemieckie spełnione są z dużym zapasem.

Stopień oczyszczenia gazu syntezowego jest tak wysoki dlatego, że gazu tego jest relatywnie mało - objętościowo stanowi on 15% objętości spalin, które powstałyby przy spalaniu tej samej ilości odpadów.

### Kondycjonowanie wody procesowej

Woda procesowa oczyszczana jest bardzo dokładnie. Proces ten przebiega wielostopniowo. Są trzy stopnie sedymentacji: wymiana jonowa, odwrotna osmoza i destylacja.

#### *Pierwszy stopień sedymentacji*

Do wody dodawany jest wodorotlenek sodu (NaOH) przez co podwyższana jest jej liczba kwasowa do pH=5,5. Dodatek wody utlenionej ułatwia powstawanie wodorotlenków żelaza i aluminium, które separowane są z osadnika pierwszego stopnia oczyszczania wody na drodze mikrofiltracji i dodawane do odpadów wprowadzanych do instalacji.

### *Drugi stopień sedymentacji*

Dalsze dodawanie NaOH powoduje wzrost pH wody z wartości 5,5 do około 9. Powstają wodorotlenki cynku, ołowiu, miedzi ( w sumie około 3 kg/Mg).

### *Trzeci stopień sedymentacji*

W stopniu tym usuwany jest wodorotlenek wapnia. Poprzez dodatek dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) uzyskuje się węglan wapniowy.

Węglan wapniowy  $\text{CaCO}_3$  nie rozpuszcza się w wodzie i może być łatwo separowany.

### *Wymiana jonowa*

W wymienniku jonowym zatrzymywane są takie metale jak wapń (Ca), magnez (Mg) oraz cynk (Zn). Dla przeprowadzenia wymiany jonowej niezbędna jest odpowiednia wartość pH wody co uzyskuje się poprzez dodatek do niej kwasu solnego HCl.

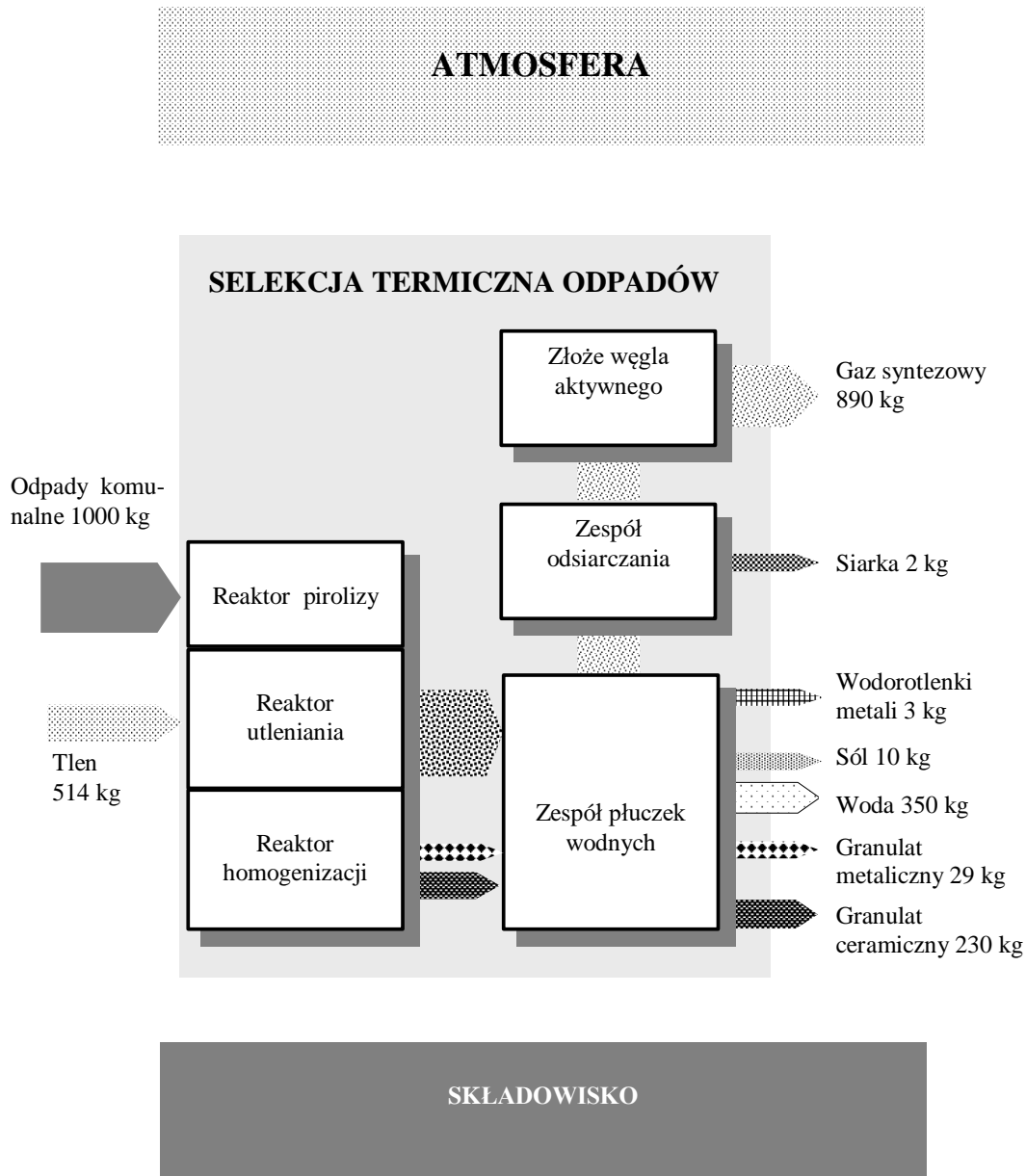
### *Odwrotna osmoza*

Woda pod ciśnieniem 60 bar przetłaczana jest przez membranę odwrotnej osmozy. W ten sposób separuje się z niej chlorek sodu (NaCl). Przed membraną zamontowane są filtry bezpieczeństwa. Taki układ filtracji eliminuje możliwość uszkodzenia membrany.

### *Destylacja*

Roztwór soli, skondensowany w procesie odwrotnej osmozy, poddawany jest destylacji w podciśnieniu. Odparowana sól separowana jest w wirówce. Para wodna jest skraplana. Powstała woda dodawana jest do wody odfiltrowanej w odwrotnej osmozie. Woda ta używana jest jako woda obiegowa w instalacji.

Bilans masowy technologii termicznej selekcji odpadów przedstawiono na poniższym rysunku.



Rysunek 3. Bilans masowy przekształcania odpadów w technologii ich termicznej selekcji

Zwraca uwagę fakt, że w technologii termicznej selekcji odpadów niczego nie odprowadza się na składowisko oraz nic nie jest emitowane do atmosfery.

O oczyszczaniu gazu syntezowego czy wody procesowej już tu wspomniano. Jednak w technologii uzyskuje się też inne produkty przekształcania, tj. wodorotlenki metali, sól, i oba rodzaje granulatu. Pierwiastki zawarte w odpadach przenikają do poszczególnych produktów

przekształcania i odkładają się w nich w różnych proporcjach – co przedstawiono w tabeli, w której podano procentową zawartość poszczególnego pierwiastka w danym produkcie przekształcania odpadów.

**Tabela 3. Rozkład pierwiastków w produktach przekształcania odpadów**

Pierwiastek	Granulat		Wodorotlenki metali	Siarka	Sól
	Ceramiczny	Metaliczny			
Zawartość w %					
Cynk	<20	<<1	>70	<<1	<<1
Ołów	<20	<<1	>70	<<1	<<1
Miedź	<60	>30	<10	<<1	<<1
Nikiel	<50	>30	<5	<<1	<<1
Antymon	>25	<2	<70	<<1	<<1
Arsen	<20	<5	>70	<<1	<<1
Rtęć	<20	<<1	>70	<<1	<<1
Siarka	<20	<<1	<<1	>70	<10
Chlor	<5	-	<5	<<1	>90
Cyna	<50	<10	<50	<<1	<<1

Widać, że w granulacie ceramicznym związana jest spora część metali ciężkich. W granulacie metalicznym występuje miedź, nikiel i cyna (oraz nie podane w tej tabeli żelazo). Znaczne ilości poszczególnych pierwiastków związane są w wodorotlenkach metali. Stosunkowo czysta jest siarka. Natomiast sól zawiera jej wtrącenia.

Interesujące są również wyniki badań odcieku z granulatu ceramicznego. Z danych przedstawionych poniżej wynika, że również w tym przypadku wartości zmierzone są co najmniej o rząd niższe jak wartości dopuszczalne ostrymi normami niemieckimi.

**Tabela 4. Skład odcieku granulatu ceramicznego**

Składnik	Jednostka	Wartość zmierzona	Wartość dopuszczalna
Wartość pH	-	5,8 – 10,3	5,5 – 13,0
Przewodność elektryczna	mS/m	5 – 14	<1000
Indeks fenolowy	mg/l	<0,01	<0,02
Arsen	mg/l	<0,01	<0,2
Ołów	mg/l	0,02	<0,2
Kadm	mg/l	0,001	<0,05
Chrom IV	mg/l	<0,025	<0,05
Miedź	mg/l	0,01 – 0,5	<1
Nikiel	mg/l	0,01 – 0,1	<0,2
Rtęć	mg/l	<0,0001	<0,005
Cynk	mg/l	0,005 – 0,2	<2
Fluoran	mg/l	<0,02	<5
Azotan N	mg/l	<0,05	<4

Dane z powyższej tabeli świadczą o tym, że granulaty ceramiczne mogą być stosowane jako kruszywo (np. jako podsypka dróg) bez konieczności wiązania go (np. w bloki cementowe). Granulaty ceramiczne są stosowane jako dodatek do betonów (np. w produkcji kostki brukowej) w ilościach do 30%.

Wszystkie produkty termicznego przekształcania odpadów (w tym gaz syntezowy i granulaty) spełniają odpowiednie normy i certyfikaty, i są dopuszczone do dalszego przekształcania i wykorzystania.

Normy te to:

- włoskie D.M. 29/01/1998,
- niemieckie 17BlmSchv,
- amerykańskie EPA,
- francuskie z dnia 25-01-1991.

Ponadto gaz syntezowy, granulaty metaliczne i ceramiczne uzyskały certyfikat RWTUV nr 17 73 04/01.

W instalacji do termicznej selekcji odpadów wykorzystuje się szereg procesów znanych od lat w różnych dziedzinach przemysłu. Gwarantuje to niezawodną ich pracę. Współczynnik gotowości instalacji wynosi ponad 85% w skali roku.

Proces termicznej selekcji odpadów nie wykazuje wrażliwości na jakościowy skład odpadów, podczas gdy proces spalania odpadów jest tu bardzo wrażliwy. Selekcja termiczna nie wymaga zatem wcześniejszego przygotowania odpadów. Można do niej dostarczać zarówno odpady, z których wysortowano wcześniej takie składniki jak szkło, papier czy tworzywa sztuczne, jak też odpady nie sortowane. Dodatkowo ten rodzaj utylizacji odpadów nadaje się do odpadów niebezpiecznych takich jak np. odpady szpitalne.

Wsadem mogą być również, bogate w metale ciężkie, osady z oczyszczalni ścieków. Ich ilość może zawierać się wagowo między 25% a 50% wsadu. Przy 50% udziale osadów we wsadzie ich wilgotność nie powinna przekraczać 20%.

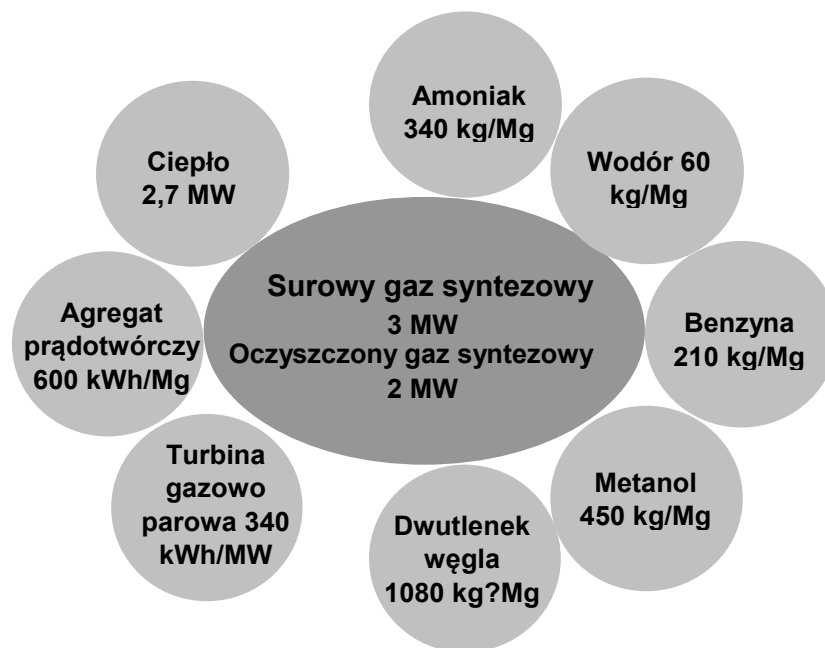
Przeprowadzone próby wykazały, że wsadem mogą być również urządzenia gospodarstwa domowego (pralki, lodówki telewizory czy ostatnio szeroko dyskutowane odpady jakimi są komputery).

**Wartość opałowa wsadu zawarta powinna być w granicach 8 000 MJ do 16 000 MJ/Mg odpadów.**

Należy podkreślić, że ilość wytwarzanego gazu syntezowego przekracza potrzeby własne procesu. Ta nadwyżka jest tym większa im mniej we wsadzie zawartych jest odpadów inertnych (szkło, ceramika) i metali.

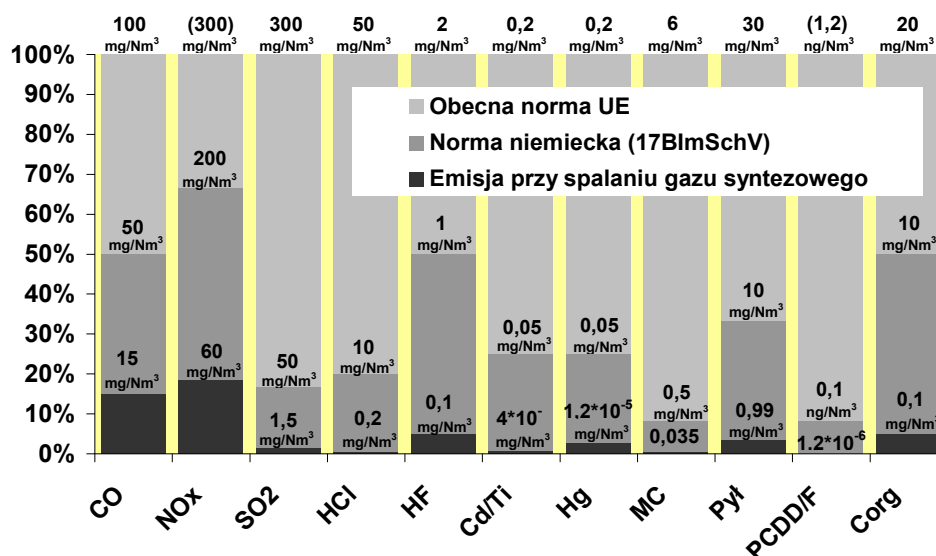
Skład gazu syntezowego jest taki, że może on być dalej wykorzystywany zarówno energetycznie, jak i surowcowo. Potencjalne możliwości w tym względzie ilustruje poniższy rysunek.

Dotychczas gaz ten wykorzystywany jest energetycznie. Spalany jest zarówno w gazowych silnikach spalinowych napędzających generatory elektryczne, jak też w turbinie gazowo-parowej.



**Rysunek 4. Możliwości energetycznego i surowcowego wykorzystania gazu syntezowego**

Produktem spalania gazu są spaliny o parametrach jak na poniższym rysunku.



**Rysunek 5. Zawartość składników toksycznych w spalinach kotła zasilanego gazem syntezowym, w odniesieniu do wartości dopuszczalnych normami**

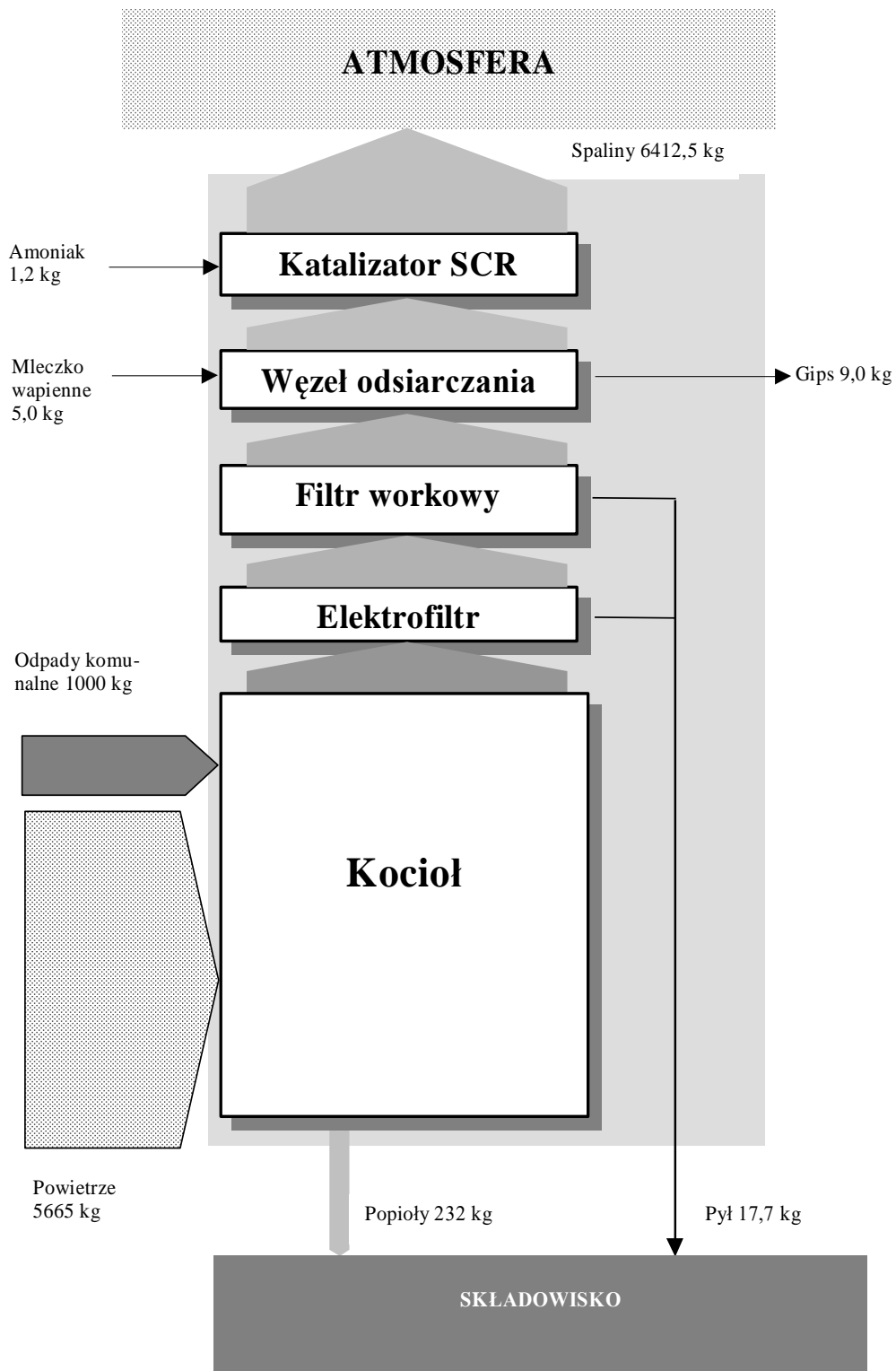
Z przedstawionych danych wynika wyraźnie, że spalanie gazu syntezowego nie wiąże się z obciążeniem środowiska naturalnego. Bardzo wymagające normy niemieckie spełnione są z dużym zapasem. Istotne jest również i to, że zaostrzenie norm, co praktycznie trwa bez przerwy (np. w chwili obecnej dyskutuje się czy norma niemiecka ma być powszechnie obowiązującą w Unii), nie wymusi konieczności przebudowy, czy też uzupełniania instalacji.

Technologia termicznej selekcji odpadów jest, jak do tej pory, jedyną technologią, w której wszelkie rodzaje odpadów przekształcane są tak, że produkty tego przekształcania mogą być wykorzystywane materiałowo surowcowo i energetycznie. Dlatego też tylko w tej technologii nie występuje zjawisko przekształcania jednego odpadu w odpad inny, **zatem konieczności deponowania produktów przekształcania odpadów.**

## SPALANIE ODPADÓW

Spalanie odpadów jest procesem dość dobrze znanym, dokładnie opisanym w literaturze przedmiotu. Bilans masowy typowej spalarni odpadów przedstawia się następująco.

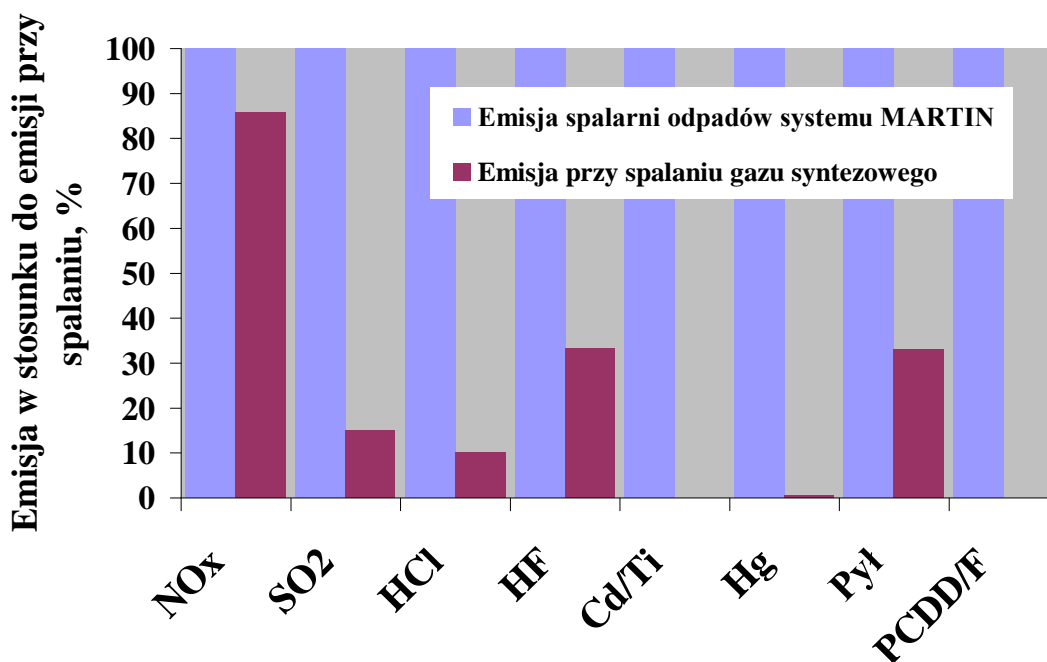




**Rysunek 6. Bilans masowy typowej spalarni odpadów**

Oznaczone na rysunku 6 popioły są najczęściej mieszaniną popiołu, żużla oraz złomu metali żelaznych. Po rozsortowaniu „czysty” popiół może być poddany procesowi zeszkliwiania.

Zwraca uwagę ogromna ilość spalin, która musi być oczyszczana. Nawet gdyby założyć bardzo wysoką skuteczność oczyszczania to i tak do atmosfery przedostają się ogromne ilości zanieczyszczeń. Każdy bowiem procent masy spalin to kilkadziesiąt kilogramów (na Mg odpadów). Nic dziwnego zatem, że porównanie oczyszczonych spalin spalarni oraz nieoczyszczonych spalin ze spalania gazu syntezowego pochodzącego z termicznej selekcji odpadów daje rezultaty jak na poniższym rysunku.



**Rysunek 7. Porównanie emisji ze spalarni odpadów (100%) z emisją przy spalaniu gazu syntezowego – produktu selekcji termicznej odpadów**

Z rysunku 7 wynika, że jedynie emisja tlenków azotu jest porównywalna. Trzeba jednak mieć na uwadze, że spaliny ze spalarni są to spaliny oczyszczone (proces MARTIN charakteryzuje się dobrze rozbudowanym i skutecznym systemem oczyszczania spalin), natomiast spaliny ze spalania gazu syntezowego nie są oczyszczane. Zatem gdyby i tu wbudować odpowiedni system oczyszczania to można by osiągnąć jeszcze lepsze rezultaty. Oznacza to, że w procesie selekcji termicznej odpadów drzemie duży jeszcze potencjał

rozwojowy. Jest to istotne ze względu na ciągle zaostrzane wymagania odnośnie czystości spalin emitowanych do atmosfery.

**Spaliny z obu technologii spełniają dzisiejsze normy czystości.**

## **Bilans ekologiczny porównywanych technologii**

Bilans ekologiczny omawianych technologii przedstawia tabela zamieszczona poniżej.

**Tabela 5 Bilans ekologiczny przy uwzględnieniu nadprodukcji energii**

Ilości krytyczne	Jednostka	Selekcja termiczna	Spalanie	
			z zeszklwieniem	bez zeszklwienia
Powietrza	Kg/Mg odpadu	-7,4E+07	-5,8E+07	-6,5E+07
Wody	Kg/Mg odpadu	-30000	152000	70500
Gleby	Kg/Mg odpadu	-34000	-21500	-23000
Składowiska	Kg/Mg odpadu	0	0	1600
Składowiska podziemnego	Kg/Mg odpadu	0	0	135

Wartości negatywne oznaczają odciążenie środowiska naturalnego, Wartości pozytywne – obciążenie.

Odciążenie powietrza jako elementu środowiska naturalnego, mimo emisji spalin z obu technologii wynika z faktu, że w obu technologiach produkowany jest prąd i ciepło. Oznacza to, że odpowiednia ilość tych mediów nie musi być produkowana gdzie indziej z pierwotnych nośników energii. Najwyższa wartość przy technologii selekcji termicznej wynika z sumowania odciążenia środowiska tlenkami azotu (spalany jest gaz syntezowy, a tu emisje tlenków azotu są niewielkie), tlenków siarki (gaz syntezowy jest pozbawiony siarki). Negatywną wartość w obu technologiach zwiększa fakt, że wyodrębnia się w nich złom metali żelaznych a zatem nie ma potrzeby pozyskiwania tej ilości żelaza z jego rudy, co oznacza poważne odciążenie środowiska.

Negatywny współczynnik przy wodzie wynika z faktu nadprodukcji czystej (demineralizowanej) wody w procesie selekcji termicznej.

Zerowe, w przypadku selekcji termicznej oraz spalania z zeszklwianiem, wartości dotyczące obu rodzajów składowisk oznaczają, że nie ma potrzeby deponowania produktu powstającego w trakcie utylizacji odpadów.

Obciążenie środowiska składowiskiem, w przypadku spalania odpadów bez zeszkliwania popiołów wynika z konieczności ich deponowania i to niezależnie od faktu, że popioły te stabilizuje się cementem.

W składowiskach podziemnych, niezbędnych w przypadku spalania odpadów bez zeszkliwania deponowane są resztki pofiltracyjne.

Wydaje się, że należy przeprowadzić dokładniejsze obliczenia, gdyż powinny tu wystąpić wartości ze znakiem ujemnym, gdyż granulaty ceramiczne zastępuje w budownictwie żwir, a na pozyskanie żwiru trzeba nie tylko energii pierwotnej, ale również gleby.

## INTERPRETACJA WYNIKÓW OBLICZEŃ I WNIOSKI

W przedstawionym materiale poddano analizie i porównaniu metody termicznego przekształcania odpadów bazujące na dwu głównych technologiach

- selekcji termicznej
- spalania:
  - bez zeszkliwania szlaku i popiołów,
  - z zeszkliwaniem szlaku i popiołów.

Dla wyznaczenia bilansów ekologicznych przyjęto emisję najważniejszych składników toksycznych, które z produktami procesów emitowane są do poszczególnych elementów środowiska. Stąd wyznaczono krytyczne ilości, które posłużyły jako miara obciążenia środowiska. Warunki brzegowe wynikają z jednej strony z parametrów dostarczonych odpadów, a z drugiej strony z ostatecznej emisji toksycznych składników do środowiska. Ilości krytyczne określono osobno dla każdego z elementów środowiska. Umożliwiło to bezpośrednie porównanie technologii.

Okazuje się, że termiczne przekształcanie odpadów z wykorzystaniem selekcji termicznej niesie ze sobą wyraźnie mniejsze obciążenie środowiska (w szczególności powietrza, wody i gleby) niż spalanie odpadów. Jest charakterystycznym, że „poprawianie” technologii spalania (np. poprzez zeszkliwanie żużli i popiołów) niesie ze sobą nie tylko znaczny wzrost kosztów, ale również stanowi dodatkowe obciążenie środowiska. Jedynie składowiska są przy tym stosunkowo nieznacznie odciążone.

Gdyby w jednym zdaniu scharakteryzować spalanie odpadów oraz ich termiczną selekcję to można by rzec, że jakkolwiek oba procesy są w swojej istocie podobne, gdyż dotyczą

termicznego przekształcania odpadów to w spalaniu najpierw odpady przekształca się w inne odpady tj. w spalinę i frakcję stałą (popioły i żużle), a następnie przy dużym nakładzie środków i energii próbuje się oczyścić spalinę (ale nie do zera, a do wartości dopuszczalnych przez normy) oraz przekształcić frakcję stałą do postaci, która może znaleźć zastosowanie w gospodarce - podczas, gdy w selekcji termicznej nie ma przekształcenia odpadów w odpady.

W znanym powiedzeniu, że lepiej zapobiegać jak leczyć, termiczna selekcja odpadów jest „zapobieganiem” natomiast spalanie odpadów wymaga „leczenia”.

**Podkreślić należy, że w technologii selekcji termicznej utylizować można zarówno odpady bieżące (komunalne, osady ściekowe, przemysłowe, szpitalne) jak też odpady nagromadzone na składowiskach oraz zdeponowane we wszelkiego rodzaju mogiłnikach). Umożliwia to zatem rekultywację istniejących składowisk przez ich likwidację.**

**Prof. dr hab. inż. Lech J. Sitnik,**  
Politechnika Wroclawska

#### **Literatura**

1. Steiger F., Stahlberg R.: Oekobilanzen fuer die thermische Abfallbehandlung – Thermoselect und Rostfeuerung. Abfallwirtschafts Journal. Nr 4/1995.
2. Sitnik L. J.; Surowcowa gospodarka odpadami. ISBN 83-7085-270-X, Wrocław 1997.
3. Materiały firmy MARTIN.
4. Materiały firmy THERMOSELECT.