

Wybrane aspekty odporności geosyntetycznych barier polimerowych stosowanych na składowiskach odpadów

Dr inż. Angelika Duszyńska, dr inż. Marzena Wójcik
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Obecność barier geosyntetycznych na składowiskach odpadów w Polsce jest uwarunkowana prawnie. W rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie składowisk odpadów (Dz. U. z 2013 r. poz. 523) [20] bariery geosyntetyczne występują pod pojęciem „izolacji syntetycznej”: § 4.7 „Uzupełnieniem naturalnej lub sztucznej bariery geologicznej jest izolacja syntetyczna, zaprojektowana w sposób uwzględniający skład chemiczny odpadów i warunki geotechniczne składowania; izolacja syntetyczna nie może stanowić elementu stabilizacji zboczy składowiska”, i dalej § 5.2, § 17.3 i § 19.3.

Nowoczesne i efektywnie budowane składowisko odpadów składa się z kombinacji uszczelnień mineralnych i geosyntetycznych, które nawzajem się uzupełniają lub wspomagają. Taka kombinacja podwyższa bezpieczeństwo i funkcjonalność składowiska.

Bariery geosyntetyczne stosowane są zarówno do budowy magazynów i składowisk odpadów stałych, jak i do budowy składowisk odpadów ciekłych, zbiorników na odcieki, stacji pośrednich i wtórnych obudów zabezpieczających. Ich główną funkcją jest ograniczenie przepływu cieczy i gazów przez konstrukcję oraz zapobieganie przedostawaniu się odcieków i gazów ze składowanych odpadów do środowiska.

Trwałość barier geosyntetycznych zależy od ich odporności na różne mechanizmy (powodujące redukcję właściwości) związane ze środowiskiem, w którym mają pracować. Wiąże się z tym konieczność doboru materiału odpowiedniego do danego zastosowania.

CHARAKTERYSTYKA ODCIEKÓW ZE SKŁADOWISK ODPADÓW

Odcieki ze składowisk odpadów stanowią jedno z najważniejszych zagrożeń stwarzanych przez ten obiekt. Powstają zarówno w trakcie eksploatacji, jak również po jej zakończeniu. Tworzą je wody przepływające przez składowisko odpadów wraz z wymytymi, a także rozpuszczonymi w nich składnikami odpadów i produktami reakcji biochemicznych zachodzących w złożu odpadów. Źródłem odcieków są wody opadowe, woda dostarczona z odpadami oraz woda powstająca w efekcie procesów rozkładu materii organicznej. Odcieki mogą również pochodzić z wód powierzchniowych lub podziemnych dostających się do niecki składowiska, gdy nie będzie ona prawidłowo zabezpieczona przed dopływem wód.

Z punktu widzenia cech fizykochemicznych odcieki ze składowisk stanowią złożoną mieszaninę substancji organicznych, nieorganicznych i zawiesin. Odcieki ze składowisk charakteryzują się wyższym niż w ściekach komunalnych stężeniem substancji organicznych i nieorganicznych, co przedstawiono w tabl. 1. Zwraca uwagę podwyższone stężenie substancji rozpuszczonych (np. sól, potas, chlorki, siarczany), azotu amonowego oraz biologiczne i chemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT₅, ChZT).

Tabl. 1. Stężenia substancji wylugowanych z odpadów komunalnych (na podstawie [19])

Oznaczenie	Stężenie substancji [mg/dm ³]		
	Odcieki ze składowisk odpadów	Ścieki komunalne	Odpady komunalne
BZT ₅	100 ÷ 50000	200 ÷ 400	90
ChZT	500 ÷ 60000	400 ÷ 600	170
przewodnictwo	200 ÷ 25000	170 ÷ 200	
Sód	ślady do 1350	260 ÷ 320	200
Potas	ślady do 280	20 ÷ 35	350
Żelazo	ślady do 5000		1,3
Mangan	ślady do 25		0,05
Siarczany	10 ÷ 4600		1990
Chlorki	100 ÷ 5000	130 ÷ 200	420
Fosforany	0,01 ÷ 100	3 ÷ 5	
Azotany	3 ÷ 500	ślady	240
azot amonowy	250 ÷ 750	40 ÷ 50	0,9

Tabl. 2. Zakres stężeń substancji w odciekach według [19]

Oznaczenie	Stężenie substancji [mg/dm ³]	
	Odcieki ze składowiska odpadów użytkowanym ponad 10 lat	Odcieki ze składowiska odpadów użytkowanym 1 ÷ 2 lata
BZT ₅	50 ÷ 200	2000 ÷ 20000
ChZT	100 ÷ 3000	3000 ÷ 60000
azot amonowy	20 ÷ 40	10 ÷ 2000
Lotne kwasy tłuszczowe LKT jako kwas octowy	50 ÷ 100	9000 ÷ 25000
Fosfor ogólny	5 ÷ 10	5 ÷ 100
pH	6,6 ÷ 8	4,5 ÷ 8,9

Ilość substancji rozpuszczonych zależy od rodzaju i składu składowanych odpadów, ich wieku, sposobu składowania i ilości przepływającej wody. Większe stężenia są obserwowane na składowiskach, przez które infiltrują niewielkie ilości wody, w których panują warunki beztlenowe lub odpady są składowane krótko.

Największy wpływ na skład odcieków ma wiek składowiska. Generalnie, z wiekiem składowiska jest obserwowany spadek stężeń zanieczyszczeń w odciekach, co potwierdzają dane w tabl. 2. Podobne zmiany obserwuje się w przypadku stężeń metali w odciekach.

Skład odcieków jest też odbiciem zmian aktywności mikrobiologicznej składowiska. W pierwszym etapie składowania odpadów zachodzą procesy wykorzystujące tlen, w trakcie których jest produkowany głównie dwutlenek węgla, woda i związki organiczne o mniejszej masie cząstkowej. W odciekach mogą być obserwowane wysokie stężenia substancji organicznej. Po wyczerpaniu tlenu w masie składowanych odpadów rozpoczyna się fermentacja kwaśna. Bakterie hydrolityczne hydrolizują białka, tłuszcze oraz polisacharydy, a produkty tych procesów są rozkładane przez bakterie beztlenowe do krótko łańcuchowych kwasów organicznych (LKT). W tej fazie powstają duże ilości dwutlenku węgla i wodoru, przyczyniając się do znacznego obniżenia pH odcieków, które są agresywne chemicznie. Po wyczerpaniu się tlenu i innych akceptorów elektronów, takich jak: azotany, azotyny, siarczany, następuje faza metanogenna, w której powstałe wcześniej produkty rozkładu materii organicznej są wykorzystywane do produkcji metanu wraz z połączoną redukcją dwutlenku węgla. We wstępnej (niestabilnej) fazie jest obserwowany spadek zawartości kwasów organicznych, wzrasta odczyn pH, produkcja biogazu oraz stężenie metanu w gazie. W stabilnej fazie fermentacji metanowej, po osiągnięciu maksymalnej szybkości produkcji metanu, jest obserwowany jej stopniowy spadek. W odciekach w fazie metanowej stężenie substancji organicznych jest stosunkowo niskie. [21]

W poszczególnych etapach zmieniają się produkty procesów rozkładu i uczestniczące w tych procesach bakterie – od tlenowych, fakultatywnych beztlenowych do bezwzględnie beztlenowych, co jest obserwowane także w odciekach ze składowiska. Zwłaszcza na początku składowania znaczne ilości bakterii znajdują się w odciekach, co stanowi o możliwości zagrożenia bakteriologicznego [5, 19, 21].

Zmienne w czasie warunki i różnorodność negatywnie oddziałujących parametrów odcieków ze składowisk odpadów wymaga prawidłowo zaprojektowanego i wykonanego uszczelnienia, by ograniczyć zagrożenie stwarzane przez ten obiekt.

CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ODPORNOŚĆ BARIER GEOSYNTETYCZNYCH

W celu zminimalizowania zagrożenia stwarzanego przez składowiska odpadów należy stosować odpowiednio dobrane bariery o akceptowalnym poziomie szczelności i odporności na oddziaływanie składowiska. Stosuje się bariery geologiczne o odpowiedniej miąższości i współczynniku filtracji (w przypadku składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, do których są zaliczane składowiska odpadów komunalnych, bariera mineralna powinna mieć współczynnik filtracji nie większy niż 1×10^{-9} m/s i grubość minimum 1 m naturalnie zalegającego gruntu, bądź 0,5 m w przypadku sztucznej bariery mineralnej wykonanej z iltu, gliny lub mieszanki mineralnej z domieszką bentonitu (tzw. bentomaty)) oraz bariery „syntetyczne” w postaci geosyntetycznych wyrobów polimerowych o grubości co najmniej 2 mm, tzw. geomembrany. Są one produkowane z polietylenu, polichlorku winylu, polipropylenu i innych termoplastów lub elastomerów. Ich powierzchnia może być gładka lub teksturowana (w celu zwiększenia przyczepności do gruntu). Wyroby te mogą być wykorzystywane do tworzenia barier dennych, bocznych, pośrednich i przykrywających.

W normie PN-EN 10318 [6] dotyczącej terminologii i definicji geosyntetyków, pod nazwą bariera geosyntetyczna zdefiniowano „wyrób geosyntetyczny o małej przepuszczalności, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie, w celu uniemożliwienia lub zmniejszenia swobodnego przepływu płynów przez konstrukcję”. Wyróżniono trzy rodzaje barier:

- geosyntetyczna bariera polimerowa (GBR-P), w której funkcję bariery pełni wyrób polimerowy,
- geosyntetyczna bariera iltowa (GBR-C), w której funkcję głównej bariery pełni materiał iltowy,
- geosyntetyczna bariera bitumiczna (GBR-B), w której funkcję zasadniczej bariery pełni wyrób bitumiczny.

Projektant oceniając, czy dana bariera geosyntetyczna nadaje się do zastosowania w konstrukcji konkretnego składowiska musi wziąć pod uwagę to, że wyrób:

- nie może ulec uszkodzeniu podczas wbudowywania (czynniki mechaniczne),
- powinien być odporny na czynniki zewnętrzne (czynniki chemiczne, fizyczne i biologiczne),
- powinien wykazywać wystarczającą szczelność (czynniki hydrauliczne),
- powinien charakteryzować się stabilną i wysoką jakością (czynniki jakościowe).

Odporność barier geosyntetycznych zależy od ich zdolności do przeciwstawiania się różnym mechanizmom powodującym redukcję właściwości wytrzymałościowych bądź hydraulicznych materiałów wchodzących w ich skład. Do mechanizmów tych zalicza się [11, 12]:

- a) utlenianie przyspieszone przez podwyższoną temperaturę, wystawienie na działanie promieniowania UV lub powtarzające się naprężenie mechaniczne i kontakt z substancjami chemicznymi (np. metale ciężkie);
- b) hydroliza przyspieszona przez podwyższoną temperaturę, obecność kwasów lub zasad;
- c) solwatacja, to znaczy zmiana właściwości fizycznych spowodowana absorpcją płynnych substancji chemicznych;
- d) korozja naprężeniowa wskutek oddziaływań środowiska, to znaczy zniszczenie mechaniczne bariery geosyntetycznej przy naprężeniu mniejszym od wytrzymałości przy płynięciu w obecności niektórych związków chemicznych;
- e) oddziaływanie biologiczne obejmujące działanie bakterii, grzybów oraz penetrację przez korzenie roślin; stwierdzono jednak, że polimery syntetyczne o wysokim ciężarze molekularnym, które zwykle stosowane są w geosyntetykach, generalnie są niepodatne na wpływy oddziaływania grzybów i bakterii;
- f) wypłukiwanie rozpuszczalnych składników barier geosyntetycznych, które bezpośrednio lub pośrednio wpływają na ich właściwości mechaniczne lub na ich odporność na inne formy degradacji (istnieje możliwość, że środki stabilizujące, zawarte w składzie bariery geosyntetycznej, mogą być wypłukane przez wodę lub roztwo-

Tabl. 3. Odporność chemiczna tworzyw sztucznych [22]

Odporność na: (wskaźniki przy długotrwałym stosowaniu w temperaturze 20°C) Rodzaj tworzywa	Kwasy				Zasady		Rozpuszczalniki				Materiały pędne i oleje			
	slabe	mocne	utleniające	fluorowodorowe	slabe	mocne	alkohole	estry	ketony	etery	benzen	benzyna	oleje mineralne	oleje tłuszczowe
Polietylen (PE)														
– wysokiej gęstości (HDPE)	+	+	–	+	+	+	+	+	+	×	×	+	+	+
– niskiej gęstości (LDPE)	+	+	–	+	+	+	×	×	×	–	–	×	×	×
Polipropylen PP)	+	+	–	×	+	+	+	+	+	×	×	+	+	+
Polichlorek winylu (PVC)														
– zmiękczoney	+	+	×		+	×	×	–	–	–	–	×	×	×
– twardey	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+
Poliestry (PES)	–	–	×	–	–	–	+	×	×	–	×	+	+	+
Poliuretan (PU)	+	×	–	–	×	×	+	–	–	+	×	+	+	+
Poliamidy (PA)	–	–	–	–	+	×	+	+	+	+	+	+	+	+
Poliakrylonitryl (PAN)	+	+	×	×	+	+	+	+	–	+	+	+	+	+
Polistyren (PS)	+	+	×	+	+	+	+	–	–	–	–	×	×	+

Oznaczenia: + odporne, × średnio odporne, – nieodporne

ry materiałów nieorganicznych lub organicznych, które mogą wejść w kontakt z barierą geosyntetyczną; z tego powodu istotnym elementem badania trwałości jest określenie możliwego wpływu wypłukiwania środków stabilizujących na właściwości użytkowe bariery geosyntetycznej w badaniach na starzenie termiczne);

- g) w przypadku PVC utrata plastyfikatorów i następujące później odchlorowodorowanie.

Według danych przedstawionych przez Wesołowskiego [22] tworzywa termoplastyczne, oprócz PVC, są wrażliwe na utlenianie, natomiast polietylen i polipropylen są najbardziej odporne na działanie czynników chemicznych, co przedstawiono w tabl. 3.

Na podstawie analizy oddziaływania różnego rodzaju czynników chemicznych na włókna, z których wykonane są geosyntetyki, stwierdzono, że włókna polietylenowe, polipropylenowe, poliestrów i polichlorowinyłowe są najbardziej odporne na działanie chemicznie czynników organicznych i nieorganicznych [22].

Obecnie na składowiskach odpadów wykorzystuje się najczęściej izolacje syntetyczne wykonane z polietylenu (PE) lub polipropylenu (PP), rzadziej z polichloru winylu (PCV). Najczęściej jest stosowany polietylen wysokiej gęstości (HDPE), między innymi ze względu na odporność chemiczną na działania odcieków ze składowisk [4, 5, 23].

Wysokiński [20] nie zaleca jednak stosowania bariery z polietylenu wysokiej gęstości na podłożu słabonośnym, ponieważ może ona przyczynić się do wystąpienia korozji naprężeniowej. W przypadku polichloru winylu natomiast autor zwraca uwagę na tendencję do uwalniania się z tworzywa plastyfikatorów, przyczyniając się do ztwardnienia materiału, wzrostu kruchości i podatności na uszkodzenia. Cichy w [4] wśród zalet barier polipropylenowych wymienia bardzo dużą odporność na korozję naprężeniową, oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego i ozonu oraz dużą odporność chemiczną na większość związków chemicznych (z wyjątkiem węglowodorów).

BADANIA BARIER GEOSYNTETYCZNYCH

W tabl. 4 zestawiono wymagane charakterystyki i badania związanych z trwałością, odpornością chemiczną i mikrobiologiczną barier geosyntetycznych przeprowadzane w zależności od rodzaju bariery. Część badań dotyczy charakterystyk wymaganych do harmonizacji, część właściwości ważnych we wszystkich warunkach stosowania, a niektóre właściwości ważnych w specyficznych warunkach stosowania. Szczegółowo wymagane charakterystyki barier omówiono w normie PN-EN 13492 (składowiska odpadów ciekłych) [11] oraz PN-EN 13493 (składowiska odpadów stałych) [12].

Do wyrobów produkowanych z różnych polimerów mogą być wymagane różne badania lub podobne badania, ale zgodnie z odmiennymi procedurami [11, 12].

W przypadku bariery z poliolefinowów (HDPE, MDPE, LDPE, LLDPE, VLDPE, FPO i FPP), jak również elastomerów termoutwardzalnych (np. EPDM) stosuje się następujące badania:

- starzenie w warunkach atmosferycznych,
- odporność na wypłukiwanie,
- odporność na utlenianie,
- odporność chemiczna,
- korozja naprężeniowa wskutek oddziaływań środowiska; (przy czym, badań korozji naprężeniowej wskutek oddziaływań środowiska nie stosuje się do polimerów nie-krystalicznych (LDPE, LLDPE, VLDPE, FPO, FPP) ani cienkich folii poniżej 1 mm grubości).

W przypadku barier z PVC-P (które mogą być zbrojone, niezbrojone, podścielane geotkaniną, strukturyzowane lub gładkie) wykonuje się badania:

- starzenie w warunkach atmosferycznych,
- zanurzenie w gruncie,
- odporność na wypłukiwanie,
- odporność na utlenianie.

Geosyntetyczne bariery ilowe powinny być badane w celu ustalenia ich trwałości zgodnie z niżej opisanymi zaleceniami, ale z pewnymi wyjątkami:

- nie jest wymagane badanie odporności na starzenie się w warunkach atmosferycznych (ponieważ GBR-C powinny być zakryte w ciągu jednego dnia od ułożenia),

- nie jest wymagane badanie odporności na korozję naprężeniową, mikroorganizmy, wypłukiwanie i utlenianie.

Dodatkowo, w przypadku geosyntetycznych barier ilowych wymagane są badania:

- wpływu cykli zamrażania i rozmrażania zgodnie z CEN/TS 14417 [2],
- wpływu cykli nawilżania i suszenia zgodnie z CEN/TS 14418 [3].

Natomiast dla barier bitumicznych (GBR-B) w normach charakterystyk [11, 12] nie podano wymaganych badań związanych ze starzeniem.

Badania trwałości

Badania mające na celu określenia trwałości barier geosyntetycznych przeprowadza się przez poddanie próbki symulowanemu i/lub przyspieszonemu działaniu środowiska w warunkach kontrolowanych, a następnie przeprowadza się jedno lub więcej wybranych badań właściwości fizycznych/mechanicznych poddanej temu działaniu próbki (badanie oceny). Porównanie wyników badań oceny z wynikami uzyskanymi z tego samego badania próbki kontrolnej stanowi podstawę do akceptacji [9].

Podstawową metodą oceny właściwości użytkowych barier geosyntetycznych w badaniach trwałości jest porównanie właściwości mechanicznych badanej próbki na rozciąganie (wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy zerwaniu) z właściwościami próbki kontrolnej. Zgodnie z normą PN-EN 12226 [9] próbka bariery powinna być poddawana kontroli wizualnej i mikroskopowej, określeniu zmian w wymiarach, masie powierzchniowej i właściwościach mechanicznych, takich jak wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie przy zrywaniu. Określając trwałość barier geosyntetycznych, należy stosować metodę badania na rozciąganie właściwą do każdego z trzech rodzajów barier geosyntetycznych.

W przypadku bariery, dla której pomiary wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu nie są wystarczające do oceny trwałości, ponieważ zastosowano w nich dodatkowe substancje stabilizujące w celu zapewnienia odporności na utlenianie, ocena może być przeprowadzona na podstawie porównania czasu indukcji utleniania (OIT) eksponowanej próbki do badań w porównaniu do nieeksponowanej próbki do badań.

Innym ze stosowanych kryteriów jest ocena trwałości wyrobu na podstawie porównania pomiaru utraty masy (po suszeniu zgodnie z odpowiednimi metodami badań). Dodatkowym kryterium jest ocena na podstawie porównania zmiany wodoprzepuszczalności - próbki GBR-P i GBR-B podlegają ocenie zgodnie z normą PN-EN 14150 [13], a GBR-C zgodnie z PN-EN 16416 [18].

Starzenie w warunkach atmosferycznych

Starzenie w warunkach atmosferycznych to degradacja bariery geosyntetycznej na skutek oddziaływania w warunkach naturalnych czynników atmosferycznych, takich jak promie-

Tabl. 4. Związane z trwałością wymagane charakterystyki i metody badań barier geosyntetycznych stosowanych na składowiskach odpadów [11, 12]

Badana właściwość związana z trwałością	Metody badań		
	GBR-P	GBR-B	GBR-C
Wpływy atmosferyczne	PN-EN 12224		
Mikroorganizmy	PN-EN 12225		
Utlenianie	PN-EN 14575		PN-EN13438
Korozja naprężeniowa wskutek oddziaływań środowiska	PN-EN 14576	–	PN-EN 14576
Wypłukiwanie	PN-EN 14415		
Odporność chemiczna	PN-EN 14414		
Nawilżanie / suszenie	–		CEN/TS 14417
Zamrażanie / rozmrażanie	–		CEN/TS 14418
Wnikanie korzeni	CEN/TS 14416		

nie słoneczne, opady atmosferyczne itd. Jest to foto-utlenianie w naturze, którego głównym stymulatorem jest promieniowanie ultrafioletowe. Badania, które umożliwiają pomiar trwałości barier geosyntetycznych poddanych działaniu czynników atmosferycznych mogą być bezpośrednie lub pośrednie w stosunku do procesu starzenia się.

W przypadku czasu ekspozycji w terenie powyżej jednego roku producent powinien złożyć deklarację okresu odporności wyrobu na starzenie się w warunkach atmosferycznych wynoszącego 25 lat stosowania. Powinno to być poparte uzasadnieniem technicznym [7].

Odporność na mikroorganizmy

Próbki barier geosyntetycznych należy badać zgodnie z normą PN-EN 12225 [8]. W przypadku instalowania barier geosyntetycznych w gruntach, w których występują warunki beztlenowe lub w gruntach wzbogaconych biologicznie, należy stosować alternatywne metody badania.

Odporność na wypłukiwanie

Wszystkie bariery geosyntetyczne stosowane na składowiskach odpadów, zarówno ciekłych jak i stałych, powinny być badane na odporność na wypłukiwanie przez określone ciecze zgodnie z normą PN-EN 14415 [15].

Odporność na utlenianie

Wszystkie bariery geosyntetyczne stosowane na składowiskach odpadów powinny być badane na odporność na utlenianie zgodnie z normą PN-EN 13438 [10] lub alternatywnie PN-EN 14575 [16] (z pewnymi modyfikacjami).

Odporność chemiczna

Bariery geosyntetyczne stosowane jako uszczelnienia składowisk odpadów płynnych i stałych powinny być badane zgodnie z normą PN-EN 14414 [14]: procedury A i B (rozcieńczony kwas i zasady), procedura C (rozsączalniki organiczne), procedura D (odcieki syntetyczne) oraz jeśli wymagają tego warunki związane z lokalizacją, zgodnie z procedurą E (odcieki specyficzne dla tej lokalizacji).

PODSUMOWANIE

Ze względu na skalę zagrożenia związanego ze składowiskami odpadów, do jego uszczelnienia należy zastosować materiały spełniające wymagania stawiane temu obiektowi. Wybór geosyntetyków stosowanych w tych konstrukcjach musi być poparty znajomością zarówno ich podstawowych parametrów (fizycznych, wytrzymałościowych, hydraulicznych), jak również odporności na oddziaływania środowiskowe.

Trwałość barier geosyntetycznych zależy od ich zdolności do przeciwstawiania się różnym mechanizmom powodującym redukcję właściwości mechanicznych materiałów wchodzących w ich skład. Do mechanizmów tych zalicza się: oddziaływanie czynników atmosferycznych, utlenianie, solwatację, korozję naprężeniową wskutek oddziaływań środowiska, oddziaływanie biologiczne (obejmujące działanie bakterii, grzybów oraz penetrację przez korzenie roślin), wypłukiwanie rozpuszczalnych składników barier geosyntetycznych oraz oddziaływanie kwasów, zasad i innych składników odcieków ze składowisk. Oprócz wyżej wymienionych oddziaływań na trwałość bariery geosyntetycznej istotny wpływ mają również obciążenia przekazywane na materiał podczas wbudowywania i eksploatacji.

LITERATURA

1. CEN/TS 14416 Geosynthetic barriers – Test method for determining the resistance to roots.
2. CEN/TS 14417 Geosynthetic barriers – Test method for the determination of the influence of wetting-drying cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers.
3. CEN/TS 14418 Geosynthetic barriers – Test method for the determination of the influence of freezing-thawing cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers.
4. Cichy W.: Geomembrany z polipropylenu jako nowość w uszczelnianiu składowisk odpadów. Materiały VII Międzynarodowej Konferencji „Budowa bezpiecznych składowisk odpadów”, Wisła 1998.
5. Oleszkiewicz J.: Eksploatacja składowiska odpadów. Poradnik decydencki”. LEM PROJEKT s.c., Kraków 1999.
6. PN-EN 10318 Geosyntetyki – Terminy i definicje.
7. PN-EN 12224 Geotekstyli i wyroby pokrewne – Wyznaczanie odporności na warunki klimatyczne.
8. PN-EN 12225 Geotekstyli i wyroby pokrewne – Metoda wyznaczania odporności mikrobiologicznej przez umieszczenie w gruncie.
9. PN-EN 12226 Geosyntetyki – Badania ogólne do oceny trwałości.
10. PN-EN 13438 Geotekstyli i wyroby pokrewne – Selekcyjna metoda wyznaczania odporności na utlenianie.
11. PN-EN 13492 Bariery geosyntetyczne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy składowisk odpadów ciekłych, stacji pośrednich lub wtórnej obudowy zabezpieczającej.
12. PN-EN 13493 Bariery geosyntetyczne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy składowisk i miejsc utylizacji odpadów stałych.
13. PN-EN 14150 Bariery geosyntetyczne – Wyznaczanie przepuszczalności cieczy.
14. PN-EN 14414 Geosyntetyki – Selekcyjna metoda wyznaczania odporności chemicznej w zastosowaniach do składowisk odpadów.
15. PN-EN 14415 Bariery geosyntetyczne – Metoda wyznaczania odporności na wypłukiwanie składników przez odcieki.
16. PN-EN 14575 Bariery geosyntetyczne – Metoda przesiewowa wyznaczania odporności na utlenianie.
17. PN-EN 14576 Geosyntetyki – Metoda wyznaczania odporności polimerowych barier geosyntetycznych na korozję naprężeniową spowodowaną wpływem środowiska.

18. PN-EN 16416 Geosyntetyczne bariery iłowe – Oznaczenie wskaźnikowego natężenia przepływu wody - Metoda parametru o podatnej ścianie przy stałym ciśnieniu hydrostatycznym.

19. Rosik-Dulewska Cz.: Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

20. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz. U z 2013 r. poz. 523).

21. Suchowska-Kisielewicz M.: Skład odcieków z odpadów przed i po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski, 2008.

22. Wesołowski A., Krzywosz Z., Brandyk T.: Zastosowanie geosyntetyków w konstrukcjach inżynierskich. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2000.

23. Wysokiński L.: Zasady budowy składowisk odpadów. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2009.