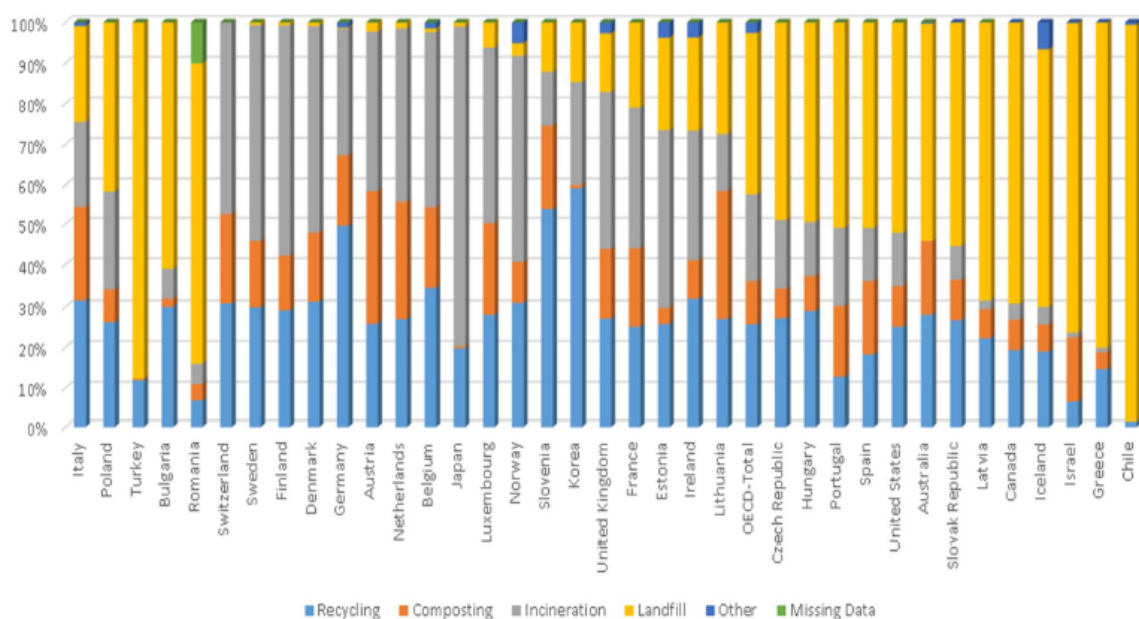


**NIEKORZYSTNY WPLYW NIEUPORZĄDKOWANYCH  
SKŁADOWISK ODPADÓW NA ŚRODOWISKO****1.1. Wstęp**

Zrównoważony rozwój środowiska naturalnego jest głównym problemem przy rosnącym poziomie konsumpcji wszystkich zasobów, szczególnie w ostatnich kilku dekadach. Ten wysoki poziom konsumpcji naturalnie zwiększył ilość odpadów produkowanych w miastach. Odpady stałe tworzone przez ludzi, zwłaszcza na obszarach miejskich, stanowią istotny problem na całym świecie, który rządy są zobowiązane rozwiązać. Według Banku Światowego świat generuje 2,01 miliarda ton stałych odpadów komunalnych (SOK) rocznie, a odpady wytwarzane na osobę dziennie wynoszą średnio 0,74 kilograma, ale wahają się w szerokim zakresie, od 0,11 do 4,54 kilograma (Worldbank, 2021). Średni wskaźnik wytwarzania odpadów wynosi około 1,61 kg/capita/dzień dla państw karaibskich, 0,82 kg/capita/dzień dla państw Pacyfiku, 1,56 kg/capita/dzień dla państw atlantyckich, indyjskich, śródziemnomorskich i południowochińskich oraz 1,35 kg/capita/dzień dla państw Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) (Mohee et al., 2015). Przewiduje się, że dzienny wskaźnik wytwarzania odpadów w krajach o niskim i średnim dochodzie wzrośnie do 2050 r. o 40% lub więcej, gdzie w przypadku krajów o wysokim dochodzie ma wzrosnąć o 19% (Worldbank, 2021). Widać, że istnieje korelacja pomiędzy poziomem dochodu a wskaźnikiem wytwarzania odpadów. Dodatkowo, do 2050 roku produkcja odpadów w krajach o niskich dochodach ma wzrosnąć trzykrotnie według Agencji Ochrony Środowiska (Environmental Protection Agency, 2020). W 2010 roku na całym świecie wytwarzano 1,3 miliarda ton odpadów stałych rocznie, a oczekuje się, że do 2025 roku ich ilość osiągnie 3,40 miliarda ton (Worldbank, 2021). Usuwanie dużych ilości tych odpadów stałych z wielu źródeł generuje duże obciążenie ekonomiczne i środowiskowe dla samorządów lokalnych. Jeśli odpady stałe nie są prawidłowo utylizowane, powodują problemy środowiskowe i negatywnie wpływają na życie ludzi. Obecnie globalna pandemia COVID-19 wymusiła ponowne rozważenie praktyk i podejść do zarządzania odpadami stałymi i rekultywacji nieuporządkowanych wysypisk (Das et al., 2021).

Gospodarka odpadami stałymi jest jedną z najważniejszych usług komunalnych, niezbędną do zapewnienia mieszkańcom przez każdy samorząd miejski. Cechy demograficzne, przepisy prawne, jak również styl życia powodują, że skład stałych odpadów komunalnych (SOK) różni się w zależności od regionu (Reddy et al., 2009). Stałe odpady komunalne mogą być utylizowane poprzez recykling, kompostowanie, spalanie i składowanie. Na rysunku 1.1. przedstawiono globalne przetwarzanie i unieszkodliwianie SOK w krajach OECD i europejskich według statystyk z 2018 roku. Z wykresu wynika, że istnieją znaczne różnice pomiędzy tym, jak kraje europejskie postępują z SOK. W około połowie krajów uwzględnionych na wykresie, najczęściej stosowaną metodą unieszkodliwiania odpadów stałych jest metoda składowania.

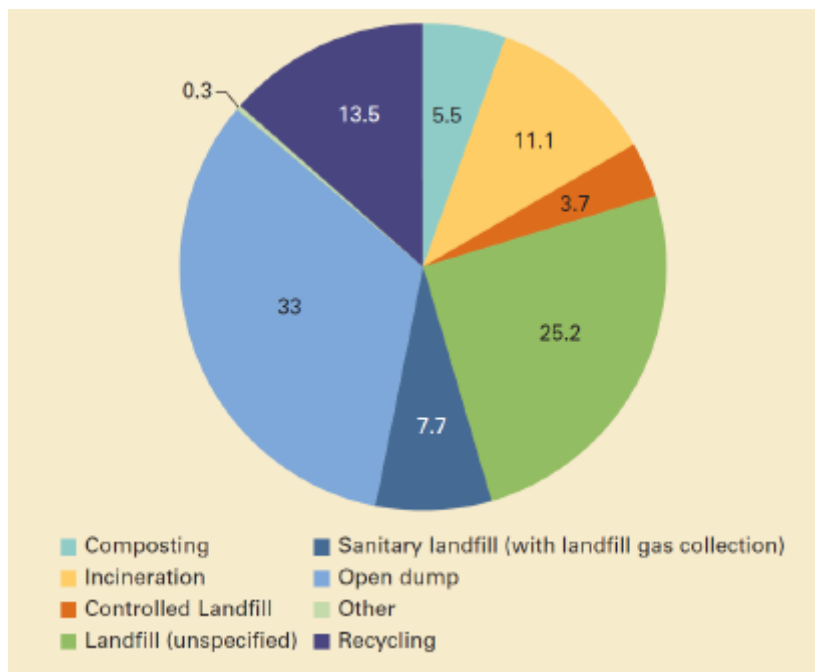


Rysunek 1.1. Utylizacja stałych odpadów komunalnych w krajach OECD i Europy w 2018 roku (OECD,2021; CEWEP,2020)

Prawie 40% odpadów trafia na składowiska na całym świecie. Około 19% jest przetwarzane w celu odzyskania materiałów poprzez recykling i kompostowanie, a 11% jest unieszkodliwiane poprzez nowoczesne spalanie. Choć w skali globalnej 33% odpadów jest nadal składowanych w sposób nieuporządkowany, rządy coraz częściej zdają sobie sprawę z zagrożeń i kosztów związanych z nieuporządkowanymi składowiskami i dążą do stosowania zrównoważonych metod utylizacji odpadów (rys. 1.2.).

Oczekuje się, iż roczny budżet na gospodarkę odpadami stałymi wzrośnie do około 375,5 mld USD w 2025 roku. Budżety na gospodarkę odpadami mogą być najwyższą pojedynczą pozycją dla gmin w krajach o niskich dochodach, stanowiąc 20% budżetów gminnych. W krajach o średnim i wysokim dochodzie koszty gospodarki odpadami stanowią odpowiednio ponad 10% i

4% budżetów gminnych. Zbieranie i usuwanie odpadów stałych jest zazwyczaj zarządzane przez gminy, które posiadają ograniczony budżet oraz zdolności by dobrze zarządzać strategią usuwania odpadów w krajach o niskich i średnich dochodach.



Rysunek 1.2. Globalne przetwarzanie i usuwanie odpadów w procentach (Worldbank, 2021).

Niestety, w celu znalezienia szybkiego i ekonomicznego sposobu zutylizowania odpadów, były one wyrzucane na nieuporządkowane składowiska bez zważania na środowisko, a w konsekwencji procesy te doprowadziły do powstania dziesiątek tysięcy nieuporządkowanych składowisk w Europie i na całym świecie. Wiele krajów rozwiniętych, przewidując wpływ nieuporządkowanych składowisk na środowisko, zrezygnowało z tych praktyk i wprowadziło składowiska uporządkowane. Większość z tych krajów stosowała te bardziej przyjazne środowisku praktyki dobrowolnie i/lub dostosowując się do, na przykład, prawodawstwa UE. Kolejne dyrektywy dotyczące gospodarki odpadami stałymi wzmocniły standardy i wytyczne polityki do wdrożenia przez członków UE, oraz UE stymuluje rozwój sektora do wymaganych standardów poprzez finansowanie dotacji dla państw członkowskich i krajów kandydujących. Jednakże, mimo że kraje te zbudowały i zaczęły korzystać z uporządkowanych składowisk odpadów, istniejące nieuporządkowane składowiska nadal istniały. Zmniejszenie zagrożeń dla środowiska i zasobów wodnych poprzez rekultywację nieuporządkowanych składowisk, które powodują poważne zagrożenia środowiskowe, jest nadal priorytetem dla wielu rządów.

Obecnie w krajach rozwiniętych najczęściej stosowaną metodą utylizacji odpadów stałych jest metoda składowiska. Jednak przed zastosowaniem składowisk odpady stałe były wyrzucane losowo na dowolny teren poza miastem na nieuporządkowane składowiska. Nawet w krajach, które zaczęły stosować metodę składowania, opuszczone nieuporządkowane składowiska nadal stanowią zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi. Na rysunku 1.2 przedstawiono globalne przetwarzanie i usuwanie odpadów na świecie. Worldbank (2021) podaje, że nieuporządkowane składowiska stanowią co najmniej 33% odpadów na świecie - nie zagospodarowanych w sposób bezpieczny dla środowiska. Na nieuporządkowanych składowiskach występują trzy istotne oraz ważne problemy: 1) gaz CH<sub>4</sub>, gaz cieplarniany, który jest 28 razy silniej działający od CO<sub>2</sub>, powstający z biodegradowalnych odpadów stałych w warunkach beztlenowych. CH<sub>4</sub> jest wybuchowy, gdy występuje w zakresie 5-15% objętości w powietrzu, a staje się palny, gdy wskaźnik ten jest wyższy niż 15%. 2) Odcieki oraz zmiana właściwości gleby. Odcieki powstają w wyniku infiltracji wód opadowych do odpadów stałych, jak również w wyniku zawartości wody w samych odpadach stałych. Zmiana właściwości glebowych przyspiesza wielkość i szybkość wypływu odcieków, które mogą zawierać wiele zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych. Odcieki te przesiąkają przez glebę i docierają do wód gruntowych, co powoduje znaczne zagrożenie dla lokalnych zasobów wód gruntowych i środowiska naturalnego. 3) Stabilność strukturalna - uszkodzenia zboczy na nieuporządkowanych składowiskach mogą prowadzić do poważnych problemów środowiskowych. Staje się to kluczowym problemem, jeśli nieuporządkowane składowiska znajdują się w pobliżu zbiorników wodnych. Ze względu na wyżej wymienione istotne problemy, nieużywane już nieuporządkowane składowiska odpadów muszą być rekultywowane, a istniejące powinny być ulepszone. Unia Europejska posiada dyrektywę w sprawie składowania odpadów (nr: 1999/31 / EC), określającą ograniczenia i procedury, które należy podjąć w celu zapobiegania lub minimalizowania zagrożeń dla środowiska. W wielu krajach, które są członkami lub kandydatami do Unii Europejskiej, nieuporządkowane składowiska nadal stanowią problem środowiskowy.

## **1.2. Wpływ nieuporządkowanych składowisk na środowisko**

Utylizacja odpadów stałych, szczególnie na terenach miejskich, jest jednym z ważniejszych problemów do rozwiązania. Jednym z głównych wskaźników braku świadomości ekologicznej jest stosowanie nieuporządkowanych składowisk jako metody usuwania odpadów stałych. Nieuporządkowane składowanie jest najbardziej ekonomiczną metodą usuwania odpadów. Jednak te nieuporządkowane składowiska powstałe w wyniku wyrzucania materiałów opadowych na otwartych terenach, szczególnie daleko od miasta, zagrażają zarówno zdrowiu

ludzi, jak i środowisku. W skali globalnej około 40% odpadów stałych jest unieszkodliwianych przy użyciu składowisk, a nieuporządkowane składowiska są nadal stosowane jako metoda unieszkodliwiania w większości krajów rozwijających się lub nierozwiniętych (Kaza i in., 2018). Ogromne znaczenie ma rezygnacja z metody nieuporządkowanego składowania (open dumping) odpadów oraz rekultywacja istniejących wysypisk, które mają wiele niekorzystnych skutków. Świat produkuje rocznie 2,01 mld ton stałych odpadów miejskich, z czego 33 proc. nie może być zagospodarowane w sposób bezpieczny dla środowiska. Podczas gdy tempo wytwarzania odpadów szybko rośnie, szybko rosną również globalne skutki odpadów stałych. Niekontrolowane usuwanie odpadów stałych przyczynia się do niekorzystnych skutków dla środowiska, takich jak zanieczyszczenie wód powierzchniowych, gruntowych i gleby; zanieczyszczenie powietrza, zapachy i emisja gazów cieplarnianych (GHG); eksplozje, pożary i inne poważne zagrożenia dla środowiska; wektory chorób; zagrożenia dla zdrowia padlinożerców; oraz oddziaływania wizualne

### **1.2.1. Zanieczyszczenie wód powierzchniowych, gruntowych i gleby**

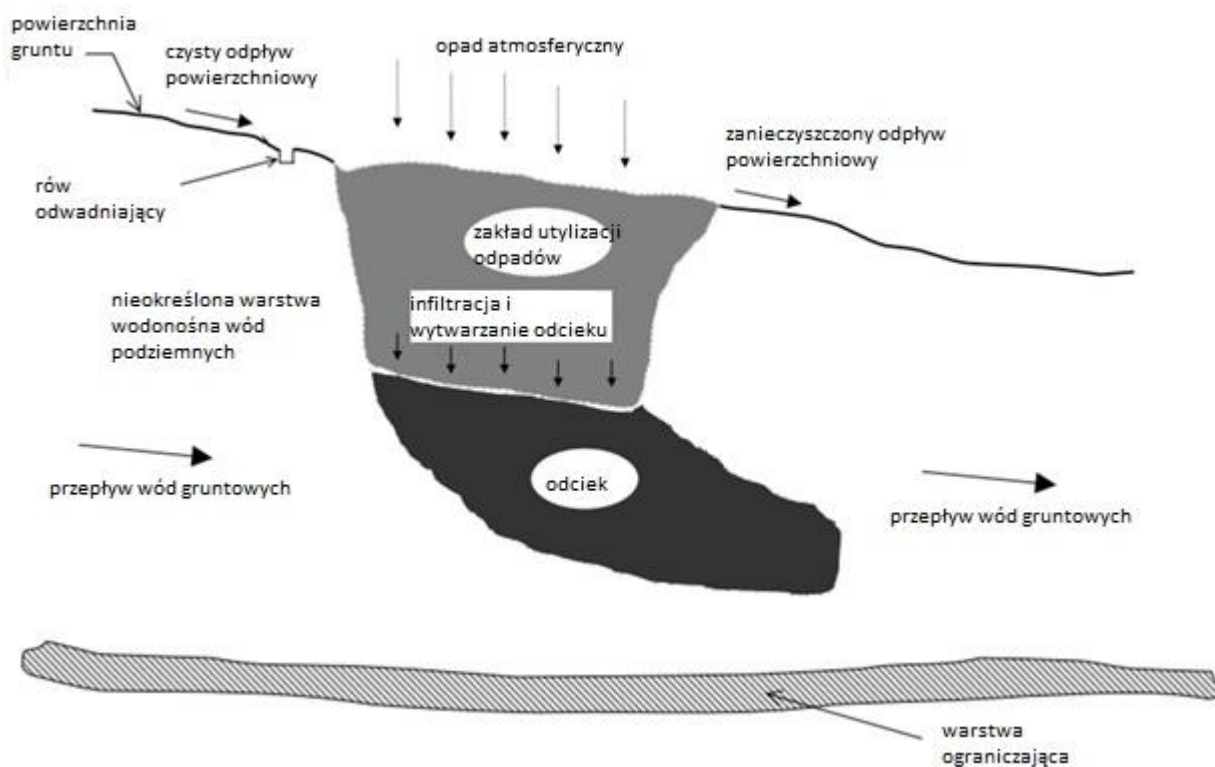
Tylko 2,5% światowych zbiorników wodnych to wody słodkie, a wiele z nich jest niedostępnych, zamkniętych w lodowcach lub niedostępnych pod powierzchnią ziemi. Dlatego też człowiek staje w obliczu narastającego kryzysu wodnego na świecie. Wody podziemne przemieszczają się powoli i w sposób ciągły w geologicznie ukształtowanych zbiornikach podziemnych zwanych warstwami wodonośnymi, których źródła uzupełniane są przez przesączające się opady atmosferyczne. Tym samym łatwo ulegają wpływom działalności człowieka. Nieuporządkowane składowiska śmieci mają bezpośredni wpływ na zanieczyszczenie wód powierzchniowych, podziemnych i gleby. W przeciwieństwie do składowisk powstałych w wyniku prac inżynierskich, na tych terenach nie jest generowana gospodarka odciekami. Dlatego też odcieki o dużym ładunku zanieczyszczeń mieszają się z wodą i w sposób niekontrolowany przenikają do gruntu. Tereny w pobliżu nieuporządkowanych składowisk odpadów są bardziej podatne na zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych, co wiąże się z istotnymi zagrożeniami dla ludzi zamieszkujących te tereny i korzystających z tych wód oraz dla środowiska naturalnego.

Odcieki to złożone i wysoko obciążone zanieczyszczeniami cieczce, które powstają z połączenia wilgotności odpadów i wody deszczowej, przesiąkają przez wysypiska i przemieszczają się do gruntu (Duran i Cuci, 2016). Odciek może działać jako woda gruntowa w warstwie wodonośnej w zależności od jego właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. W glebach, które są

porowate i przepuszczalne, stosunkowo łatwo jest przenosić te zanieczyszczenia do warstwy wodonośnej. Zawartość odcieków zmienia się w zależności od wielu parametrów, takich jak jakość składowanych odpadów stałych, wiek wysypiska, struktura hydrogeologiczna pola, zawartość wody w odpadach stałych, temperatura, pH i warunki klimatyczne, a także zawiera duże ilości materii organicznej, azotowej, metali ciężkich i soli organicznych/nieorganicznych (Duran i Cuci, 2016). Biologiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT) i chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) są bardzo wysokie w odciekach (Christensen i in., 2001).

Metale ciężkie takie jak Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn i Hg oraz różne organiczne substancje chemiczne w odciekach powodują poważne problemy zdrowotne poprzez zanieczyszczenie wód powierzchniowych i gruntowych. Zanieczyszczenia te mogą przedostawać się do łańcucha pokarmowego i ulegać bioakumulacji (Long et al., 2010; Sánchez-Chardi i Nadal, 2007), powodując nieprawidłowości w funkcjonowaniu wątroby, nerek, układu krążenia i przepływu sygnałów nerwowych (Botkin i Keller, 2002). Oprócz tych zanieczyszczeń, odcieki mogą zawierać wiele różnych rodzajów bakterii, w tym bakterie coli typu kałowego i bakterie przetrwalnikujące (Matejczyk i in., 2011). Bardzo mała ilość odcieku wystarczy, aby zanieczyścić duże ilości wód powierzchniowych i gruntowych, powodując szkody w bioróżnorodności i zakłócając łańcuch pokarmowy (Bakare i in., 2007; Long i in., 2010). Odciek w swojej początkowej fazie ma właściwości kwasowe. Przesącz na tym etapie będzie rozpuszczał metale ciężkie w glebie, czyniąc je bardziej mobilnymi i bardziej prawdopodobnymi do wymywania do wód gruntowych (Prechtai i in., 2008). Będzie to wtórne źródło zanieczyszczeń dla wód podziemnych.

Zanieczyszczenie wody powierzchniowej i pitnej przez odciek można zwalczać, ale to może być długotrwałe, kosztowne i drażliwe. Zaprzestanie korzystania ze studni wód gruntowych, które zostały dotknięte, jest często jedyną rzeczą, którą robi się w powyższej sytuacji. Skażenie wód gruntowych i powierzchniowych spowodowane zanieczyszczoną wodą z obiektu wykorzystywanego do unieszkodliwiania odpadów przedstawiono na rysunku 1.3. (UNEP, 2005).



Rysunek 1.3. Skażenie wód gruntowych oraz powierzchniowych w wyniku zanieczyszczenia wody z obiektu wykorzystywanego do składowania odpadów (UNEP, 2005).

Nieuporządkowane składowiska mogą również zmieniać nie tylko chemiczne, ale również inżynierskie właściwości gleby. Ukpong i Agunwamba (2011) przedstawili badanie trzech nieuporządkowanych składowisk odpadów w Nigerii w celu określenia ich wpływu na właściwości gleby. W tym celu zbadano również właściwości gleby w odległości około 40 m od nieuporządkowanych składowisk jako próbki kontrolną, jej warstwy były podobne do warstw gleby na nieuporządkowanych składowiskach. Porównania wykazały, że wilgotność optymalna oraz granica płynności dla gleby na nieuporządkowanych składowiskach były niższe niż dla gleby z próbki kontrolnej, natomiast ilość ołowiu, żelaza i cynku, wskaźnik plastyczności, przepuszczalność, ciężar właściwy oraz gęstość maksymalna dla gleby pod nieuporządkowanymi składowiskami były wyższe niż dla gleby z próbki kontrolnej.

Kanmani i Gandhimathi (2013) zbadali zanieczyszczenie metalami ciężkimi spowodowane problemem odcieków na nieuporządkowanym składowisku Ariyamangalam zlokalizowanym w Indiach, które przechowuje stałe odpady miejskie, zbierając próbki gleby wokół niego. W rezultacie w próbkach gleby zaobserwowano obecność niektórych metali ciężkich, takich jak Mn, Pb i Cu. Świadczy to o tym, że migracja odcieków z tego nieuporządkowanego składowiska spowodowała zauważalne zanieczyszczenie gleby.



### 1.2.2. Stabilność strukturalna

Jednym z głównych problemów związanych z nieuporządkowanymi składowiskami są możliwe problemy ze stabilnością, takie jak uszkodzenia skarp. Ogólnie rzecz biorąc, problemy ze stabilnością na składowiskach mogą wynikać z samej gleby i odpadów oraz ich interakcji z wyściółką. Należy wziąć pod uwagę grunt podbudowy, system wyściełający i system przykrycia. Na nieuporządkowanych składowiskach nie ma jednak wyściółki, stąd oddziaływanie gleba-odpady i gleba-odpady może być niekorzystne. Gdy zbocza na składowisku są bardzo strome i niestabilne, może dojść do przemieszczenia mas odpadów stałych. Silnie nasycony grunt spowodowany ulewnymi deszczami, drgania wywołane trzęsieniami ziemi mogą wywołać osunięcia ziemi na tych nieregularnych obszarach składowania. Zmniejszenie nachylenia terenu będzie skuteczne w zmniejszeniu zagrożenia osuwiskami, szczególnie na obszarach, które znajdują się w pobliżu stref trzęsień ziemi oraz odbierają nadmierne ilości opadów (Cointreau, 2006).

Jayaweera et al. (2019) przedstawił uszkodzenie zbocza, która miała miejsce na nieuporządkowanym składowisku śmieci zlokalizowanym na Sri Lance, pokazano na rysunku 1.5. Tuż przed zawaleniem jego wysokość wahała się w granicach od 20-49 m, natomiast kąty nachylenia zbocza wynosiły od 20° do 85°.



Rysunek 1.4. Uszkodzenia lokali mieszkalnych spowodowane obsuwem skarpy na nieuporządkowanym składowisku Meethotamulla (Jayaweera i in., 2019).

Zdarzały się katastrofalne w skutkach osunięcia odpadów stałych na składowiskach, które spowodowały poważne konsekwencje. W 2005 r. na wysypisku Leuwigajah w Bandung (Jawa, Indonezja) po ulewnych deszczach doszło do poważnego osunięcia, w wyniku którego pogrzebanych zostało 71 domów, a 143 osoby poniosły śmierć. Inne uszkodzenie zbocza



zaobserwowano na składowisku Payatas zlokalizowanym na Filipinach po kilku dniach niezwykle ulewnych deszczy w 2000 roku. Doszło do osunięcia się dużych mas odpadów o objętości około 13 000-16 000 m<sup>3</sup>, spowodowało to śmierć 278 osób (Merry i in., 2005; Lavigne i in., 2014). Na nieuporządkowanym składowisku Leuwigajah zlokalizowanym w Indonezji w 2005 roku doszło do kolejnego osunięcia o objętości 2 700 000 m<sup>3</sup> odpadów. W konsekwencji śmierć poniosło 147 osób (Koelsch et al. 2005). Ponadto w 2018 r. doszło do przemieszczenia bardzo dużej masy odpadów stałych z nieuporządkowanego składowiska Hulene w Maputo w Mozambiku i zginęło co najmniej 17 osób, w tym dzieci. Podaje się, że osuwiska na wysypiskach występowały z bardzo dużą częstotliwością w 2017 roku, odpowiadając za ponad 150 ofiar śmiertelnych w Kolombo (Sri Lanka), Addis Abebie (Etiopia), Konakry (Gwinea) i Delhi (Indie) (Kaza i in., 2018). W Sarajewie w 1977 roku doszło do osunięcia na miejskim nieuporządkowanym składowisku odpadów stałych. Objętość odpadów przemieszczanych w tym osunięciu wyniosła 200 000 m<sup>3</sup>, a jego odległość 1 km. W konsekwencji 5 budynków mieszkalnych, jak również 2 mosty zostały uszkodzone (Blight, 2008).

Działania sejsmiczne wpływają niekorzystnie na wiele struktur składowiska (np. Jinguuji i Toprak, 2017; Toprak i in., 2008; Holzer i in., 2000) i powinny być uwzględniane w ocenach ryzyka. Składowiska odpadów, w tym nieuporządkowane składowiska odpadów, nie są tu wyjątkiem. Na przykład w trzęsieniu ziemi w Northridge w 1994 roku zaobserwowano pewne rozdarcia w geomembranowej wykładzinie składowiska (Augello i in., 1995). W trzęsieniu ziemi w Loma Prieta w 1989 r. o magnitudzie 7,1, na niektórych składowiskach zaobserwowano niewielkie pęknięcia i niewielkie osiadanie (Johnson et al., 1991). Po trzęsieniu ziemi Hyogoken-Nanbu w 1995 r. na niektórych składowiskach odpadów wystąpiły pęknięcia gruntu (Akai i in., 1995). Analizy reakcji składowisk na sejsmiczną aktywność, na których, mają kluczowe znaczenie dla ich użyteczności, jak również dla oceny bezpieczeństwa po trzęsieniach ziemi. Właściwości wibracyjne składowisk, silne ruchy, jak również fundamenty, rodzaje fundamentów i sztywność składowiska są ważnymi parametrami w celu oceny reakcji składowiska na sejsmiczną aktywność (Choudhury i Savoikar, 2009).

### **1.2.3. Wybuchy, pożary oraz inne poważne zagrożenia dla środowiska**

Granica wybuchowości gazu to poziom stężenia, przy którym gaz może wybuchnąć i jest określana przez dolną granicę wybuchowości (DGW) i górną granicę wybuchowości (GGW). Granice te są miarą procentowego składu objętościowego gazu w powietrzu. Gaz w stężeniu poniżej DGW i powyżej GGW nie jest wybuchowy. Jednak gaz w powietrzu pomiędzy tymi granicami może wybuchnąć, gdy tylko pojawi się źródło zapłonu. Gaz CH<sub>4</sub>, który powstaje w

wyniku beztlenowego rozkładu biodegradowalnych materiałów organicznych na wysypisku, jest wybuchowy, gdy zmiesza się z powietrzem w ilości 5-15% i jest gazem palnym, gdy zmiesza się go więcej niż 15% (ATSDR, 2001). Ponieważ na nieuporządkowanych wysypiskach znajduje się około 50% metanu, w normalnych warunkach nie jest on wybuchowy. Jednakże, jeśli migruje i jest rozcieńczony do stężenia pomiędzy DGW i GGW, będzie istniało ryzyko wybuchu w obecności tlenu.

Pomimo iż nie są zbyt częste, na całym świecie odnotowano wiele wybuchów związanych z gazem składowiskowym, które spowodowały poważne szkody (m.in. w Keetleman w Kalifornii w 1988 r., w Cincinnati w Ohio w 1996 r. i w Grecji w 2003 r. (Lavigne i in., 2014)). Na składowisku Hekimbaşı w Ümraniye w Stambule, które funkcjonowało od 1976 roku, codziennie składowano 1500-2000 ton odpadów stałych bez ich zagęszczania. W wyniku wybuchu metanu na składowisku w kwietniu 1993 roku, zawaleniu uległo wiele domów oraz zginęło 39 osób (rysunek 1.4). Objętość odpadów przemieszczanych w tym osunięciu wynosiła 1 200 000 m<sup>3</sup> (Kocasoy i Curi, 1995). Na całym świecie odnotowano incydenty związane z wybuchami metanu na nieuporządkowanych składowiskach, skutkujące poważnymi obrażeniami i zniszczeniami. Również na składowisku zlokalizowanym w Danii w 1991 roku doszło do wybuchu gazu (Kjeldsen i Fischer, 1995).



Rysunek 1.5. Akcja ratownicza po wybuchu na wysypisku w Hekimbaşı.

#### **1.2.4. Oddziaływania wizualne**

Oprócz skutków środowiskowych oraz zdrowotnych jakie wywołują nieuporządkowane składowiska, istotnym problemem jest zanieczyszczenie wizualne powodujące problemy natury estetycznej. Sterty odpadów, składowanych bez żadnej utylizacji, znajdujące się w polu widzenia to sceneria, której nikt nie chce oglądać ani w niej żyć. Istnieją badania stwierdzające, że zanieczyszczenie wizualne jest nie tylko problemem estetycznym, ale ma również negatywny wpływ na ludzi. Wyróżniono różne rodzaje skutków ubocznych, takich jak np. zmniejszenie wartości pobliskich gruntów, powodowanie dyskomfortu psychicznego u ludzi, rozpraszanie kierowców (Wakil i in., 2019; Edquist, 2009). Oprócz wszystkich innych negatywnych skutków, zanieczyszczenie wizualne jest także eliminowane wraz z rekultywacją nieuporządkowanych składowisk poprzez odpowiednie wykonanie badań architektury krajobrazu.

#### **1.2.5. Zagrożenia dla zdrowia zbieraczy odpadów**

Szacuje się, iż około dwa miliony osób na całym świecie utrzymuje się z pracy w charakterze nieformalnych zbieraczy odpadów, zwłaszcza w krajach rozwijających się, gdzie powszechne jest niezrównoważone gospodarowanie odpadami. Dlatego też osoby te są bezpośrednio narażone na negatywne skutki niewłaściwego zarządzania odpadami stałymi oraz w związku z tym napotykać na poważne problemy zdrowotne (Hoornweg i Bhada-Tata, 2012). Intensywność i rodzaj zagrożeń, na które narażeni są zbieracze odpadów, zależą od warunków pracy, składu odpadów oraz czasu ekspozycji (Gutberlet i in., 2013; Ziraba i in., 2016). Niektóre z tych zagrożeń to: choroby układu oddechowego takie jak zapalenie oskrzeli, astma, zapalenie płuc spowodowane narażeniem na cząstki stałe, bioaerozole i lotne substancje organiczne podczas zbierania odpadów; choroby zakaźne takie jak biegunka, cholera, czerwonka, dur brzuszny przenoszone poprzez bezpośredni kontakt z patogenami wywołującymi chorobę oraz tężec, zapalenie wątroby itp. przenoszone poprzez skaleczenia lub przekłucia podczas zbierania odpadów. Ponadto, w wyniku wysokiej zawartości dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) i metanu (CH<sub>4</sub>) na wysypiskach, bóle głowy i nudności spowodowane niską zawartością tlenu należą do problemów zdrowotnych, z którymi często spotykają się zbieracze odpadów (Cointreau, 2006).

Pomimo iż nie są to zbyt często występujące przypadki, poważne obrażenia, a nawet zgony mogą wystąpić w wyniku osunięcia/zawalenia się odpadów, pożarów i wybuchów również się zdarzają. Podczas pożarów, zatrucie łożowem spowodowane przez materiały zawierające łożow, takie jak baterie i farby, należy do zagrożeń, których nie można ignorować. Wśród zgłaszanych

chorób znajdują się poważne choroby, takie jak HIV i WZW C, spowodowane narażeniem na niebezpieczne odpady medyczne (Cowing, 2013). Ponadto, urazy spowodowane przypadkowym upadkiem; problemy dermatologiczne; oraz wysokie wskaźniki infekcji układu rozrodczego i moczowego wśród kobiet zbierających odpady na wysypiskach, należą do przeważających zgłoszonych zagrożeń (Jayakrishnan et al., 2013).

Aby zapobiec powyższym problemom, rekultywacja nieuporządkowanych składowisk jest najistotniejszym oraz podstawowym działaniem możliwym do podjęcia. Również stosowanie odzieży ochronnej, takiej jak rękawice i maski na twarz, szkolenie w zakresie higieny i problemów, które mogą napotkać, oraz niezatrudnianie dzieci w takich miejscach byłoby skutecznym rozwiązaniem ograniczającym występowanie szkód i obrażeń u osób zajmujących się zbieraniem odpadów.



Rysunek 1.6. Osoba zbierająca odpady na nieuporządkowanym składowisku odpadów.

### **1.2.6. Choroby przenoszone przez zwierzęta**

Materiały organiczne znajdujące się na składowiskach zapewniają odpowiednie środowisko dla zwierząt przenoszących choroby, takich jak muchy, komary i gryzonie, stanowiących poważne problemy dla zdrowia publicznego. Choroby przenoszone przez zwierzęta nadal stanowią znaczne zagrożenie dla zdrowia publicznego, szczególnie w krajach rozwijających się. Jak podaje Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), choroby przenoszone przez zwierzęta stanowią ponad 17% chorób zakaźnych na świecie, powodując ponad milion zgonów każdego roku (WHO, 2017). Wśród nich komar stanowi największe zagrożenie dla ludzkości. Choroby takie

jak malaria i denga, które powodują śmierć milionów ludzi każdego roku, najłatwiej rozprzestrzeniają się za pośrednictwem komarów (Tohit et al., 2019). Ponadto kolejnym zagrożeniem są infekcje bakteryjne, które rozprzestrzeniają się w wyniku kontaktu much domowych z odchodami w odpadach stałych i przenoszenia ich na organizmy żywe. Na nieuporządkowanych składowiskach bardzo łatwo rozmnażają się i żerują również gryzonie. Hantawirusy to wirusy przenoszone przez gryzonie, zwłaszcza poprzez wdychanie odchodów i moczu myszy, powodujące poważne choroby (Cointreau, 2006). Dzięki rekultywacji i właściwemu zarządzaniu wysypiskami można kontrolować rozprzestrzenianie się zwierząt wywołujących choroby i ograniczyć zagrożenia dla zdrowia, zwłaszcza w krajach rozwijających się.

### **1.2.7. Zanieczyszczenie powietrza, odory oraz emisja gazów cieplarnianych (GHG)**

Gazy składowiskowe, które stanowią istotny problem w zakresie zanieczyszczenia powietrza, powstają w wyniku trzech różnych procesów, w tym rozkładu bakteryjnego, parowania i reakcji chemicznych zachodzących na nieuporządkowanych wysypiskach. Najczęściej gaz składowiskowy powstaje w wyniku rozkładu bakteryjnego, który następuje w wyniku rozkładu odpadów biologicznych i gnijącej żywności przez bakterie znajdujące się w odpadach i/lub glebie. Ponadto, niektóre zanieczyszczenia organiczne, zwłaszcza niemetanowe lotne związki organiczne, znajdujące się na wysypisku mogą być również uwalniane w wyniku parowania. Wiadomo również, że gaz składowiskowy powstaje w wyniku reakcji niektórych związków chemicznych zawartych w odpadach. Czynniki wpływającymi na wytwarzanie gazu są: skład odpadów, wiek wysypiska, obecność tlenu w miejscu składowania, zawartość wilgoci i temperatura (ATSDR, 2001).

Odpady stałe ulegają z czasem biodegradacji w warunkach tlenowych lub beztlenowych. W zależności od charakterystyki odpadów na składowisku, produktami końcowymi są CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i woda, w mniejszym stopniu powstają również podtlenek azotu (N<sub>2</sub>O), amoniak (NH<sub>3</sub>), siarkowodór (H<sub>2</sub>S), tlenek węgla (CO) oraz związki organiczne, takie jak trójchloroetylen, benzen, chlorek winylu (Barton i in., 2008; Saral i in., 2009). Produkcja gazu rozpoczyna się zwykle 2-6 miesięcy po unieszkodliwieniu odpadów i może trwać nawet do 100 lat (Saral i in., 2009).

Powstający na nieuporządkowanych składowiskach gaz składowiskowy przyczynia się do zmian klimatycznych, które są jednym z najtrudniejszych problemów współczesności. Zwiększenie

ilości odpadów stałych spowodowane szybkim wzrostem liczby ludności powoduje również wzrost ilości gazów cieplarnianych, które w znacznym stopniu przyczyniają się do zmian klimatycznych. Złe zarządzanie odpadami stałymi jest wskazywane jako główne źródło tego wzrostu (Tian i in., 2013). Wśród gazów składowiskowych, które są traktowane jako jedna z istotnych przyczyn zmian klimatu, metan jest gazem cieplarnianym o jeszcze większym potencjale. Według raportu Agencji Ochrony Środowiska (EPA) z 2006 roku, kraje rozwijające się są odpowiedzialne za 30-40% emisji metanu generowanych przez wysypiska śmieci w roku 2000 (US EPA, 2006). Ponadto w raporcie oceniającym (AR5) Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) stwierdzono, że CH<sub>4</sub> jest 28 do 36 razy silniejszym gazem cieplarnianym niż CO<sub>2</sub> pod względem potencjału globalnego ocieplenia ze względu na większą zdolność do pochłaniania ciepła w atmosferze (IPCC, 2014).

Jako najprostsze, skuteczne oraz najtańsze rozwiązanie pozwalające na wygodne zmniejszenie objętości odpadów oraz zwolnienie miejsca na nieuporządkowanych składowiskach, otwarte spalanie jest często stosowaną metodą. Szacuje się, że 41% światowych odpadów spala się w sposób otwarty i niekontrolowany (Cogut, 2016). W wyniku tego niekontrolowanego spalania odpadów do atmosfery uwalniane są różne toksyczne zanieczyszczenia i gazy cieplarniane, takie jak CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, pył zawieszony, trwałe zanieczyszczenia organiczne (POPs), takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAHs), dioksyny i furany. Szacuje się, że z powodu spalania odpadów na wysypiskach dochodzi rocznie do 270 000 przedwczesnych zgonów (Cogut, 2016), a uważa się, że procesy te przyczyniają się do około 5% globalnej emisji gazów cieplarnianych (William i in., 2018). Biorąc pod uwagę obecną sytuację, przewiduje się, że emisje związane z odpadami stałymi wzrosną do 2,6 mld ton ekwiwalentu CO<sub>2</sub> do 2050 roku, jeśli nie zostanie wdrożona dalsza strategia zarządzania (TheWorldBank, 2018).

Jak wspomniano powyżej, CH<sub>4</sub> jest gazem łatwopalnym przy zmieszaniu z powietrzem w ilości większej niż 15%. Jeśli odpady nie są odpowiednio skompresowane na wysypiskach, powietrze może przedostać się do odpadów i zmieszać z metanem, powodując spontaniczny zapłon. Pożary samoistne, czy wywołane przez człowieka, powodują poważne zanieczyszczenie powietrza. Szacuje się, że duża ilość odpadów na świecie jest spalana celowo lub spontanicznie i powoduje emisje o wartościach przekraczających. (Wiedinmyer et al., 2014).

Odory mają znaczny wpływ na człowieka nawet przy bardzo niskich stężeniach, a ekspozycja na takie substancje może obniżać jakość życia, prowadząc do wielu problemów zdrowotnych, takich jak bóle głowy, utrata apetytu, zaburzenia układu pokarmowego, zaburzenia snu,



duszności i reakcje alergiczne (Lee i in., 2013). Dlatego zanieczyszczenie zapachowe stało się rodzajem zanieczyszczenia podlegającym regulacjom i kontroli w wielu krajach (Capelli i in., 2013). Wcześniejsze badania wykazały, że z nieuporządkowanych wysypisk emitowane są wysoce ofensywne związki zapachowe, powodujące poważne problemy i dolegliwości dla osób mieszkających w pobliżu (Dincer i in., 2006). Ilość generowanych odpadów wzrosła również wraz ze wzrostem liczby ludności, powodując wzrost problemu wynikającego z odoru, z dodatkowym wpływem nieodpowiedniego wyboru miejsca, takiego jak topografia przypominająca kanion- dolinę, która ogranicza lokalne wiatry. Według badań epidemiologicznych istnieją poważne korelacje pomiędzy zanieczyszczeniem powietrza a zdrowiem ludzi (Ancona et al., 2015). Stwierdzono, że nieuporządkowane składowiska odpadów należą do miejsc wysokiego ryzyka, w tym zagrożeń oddechowych, neurotoksycznych, rakotwórczych i teratogennych, zwłaszcza dla osób mieszkających w pobliżu tych obszarów (Aderemi i Falade, 2012; Durmuşoğlu i in., 2010). Za zanieczyszczenia zapachowe odpowiadają przede wszystkim siarkowodór ( $H_2S$ ) i amoniak ( $NH_3$ ), które powstają podczas rozkładu odpadów.  $NH_3$  ma silny ostry zapach, natomiast  $H_2S$  ma charakterystyczny zapach zgniłego jajka. Ludzie mogą wykryć zapach tych gazów nawet przy bardzo niskich poziomach w powietrzu. W badaniach przeprowadzonych przez Ding et al. (2012) na nieuporządkowanych wysypiskach zidentyfikowano 68 różnych lotnych związków organicznych, które powodują problemy zapachowe i stwierdzono, że  $NH_3$  i  $H_2S$  stanowią prawie 95% z nich. Dodatkowo stwierdzono również, ale w mniejszej ilości, związki nieorganiczne, związki chlorowcowe, lotne kwasy tłuszczowe, związki aromatyczne, aldehydy, ketony i estry, węglowodory oraz inne związki siarkowe i azotowe. Stwierdzono również, że na emisję odorów mają wpływ czynniki środowiskowe i w warunkach wysokiej temperatury, dużej wilgotności, małej prędkości wiatru i niskiego ciśnienia powietrza stwierdzono gorszą ich emisję (Ding i in., 2012).

## **Bibliografia**

Aderemi, A.O., Falade, T.C. (2012). Environmental and health concerns associated with the open dumping of municipal solid waste: a Lagos, Nigeria experience. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(6), 160-165.

Akai K, Bray JD, Christian JT, Boulanger RW (1995). Geotechnical reconnaissance of the effects of the January 17, 1995, Hyogoken-Nanbu earthquake, Japan, EERC, Univ. of California, Berkeley, U.S. Department of Commerce, NTIS.

Ancona, C., Badaloni, C., Mataloni, F., Bolignano, A., Bucci, S., Cesaroni, G., Sozzi, R., Davoli, M., Forastiere, F. (2015). Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of



air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models. *Environmental Research*, 137, 467-74.

ATSDR, (2001). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>

Augello AJ, Matasovic N, Bray JD, Kavazanjian Jr E, Seed RB (1995). Evaluation of solid waste landfill performance during the Northridge earthquake. *ASCE Geotechnical Special Publication* 54:17–50.

Bakare, A.A., Pandey, A.K., Bajpayee, M., Bhargav, D., Chowdhuri, D. K., Singh, K. P., Murthy, R C., Dhawan, A. (2007). DNA damage induced in human peripheral blood lymphocytes by industrial solid waste and municipal sludge leachates. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 48, 30-37.

Barton JR, Issaias I, Stentiford EI. (2008). Carbon--making the right choice for waste management in developing countries. *Waste Management*, 28(4), 690-8.

Blight G (2008). Slope failures in municipal solid waste dumps and landfills: a review. *Waste Management and Research* 26(5): 448–463.

Botkin, D.B., and Keller, E.A. (2002). *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. New York: Wiley,

Capelli, L., Sironi, S., Rosso, R. D., Guillot, J. M. (2013). Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: a review. *Atmospheric Environment*, 79, 731–743.

CEWEP (2020). *Municipal Waste Treatment 2018*. Accessed October 1, 2021. <https://www.cewep.eu/municipal-wastetreatment-2018/>.

Choudhury D, Savoikar P (2009) Equivalent-linear seismic analyses of MSW landfills using DEEPSOIL. *Engineering Geology* 107: 98–108.

Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., et.al. (2001). Review, biogeochemistry of landfill leachate plumes, *Applied Geochemistry*, 16, 659-718.

Cogut. A. (2016) *Open Burning of Waste: A Global Health Disaster*. R20Regions of Climate Action.

Cointreau, S. (2006). *Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management Special Emphasis on Middle and Lower-Income Countries*. Urban Paper, The World Bank Group, Washington DC.

Cowing, M.J. (2013). *Health and Safety Guidelines for Waste Pickers in South Sudan*. 1st edition. South Sudan: United Nations Environment Programme: South Sudan.

Das, E.K., Islam, M.D., Billah, M.M., Sarker, A. (2021). COVID-19 and municipal solid waste (MSW) management: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 28. 28993–29008.

Dincer, F., Odabasi, M., Muezzinoglu, A. (2006). Chemical characterization of odorous gases at a landfill site by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1122(1-2),222-9.

Ding, Y., Cai, C., Hu, B., Xu, Y., Zheng, X., Chen, Y., Wu, W. (2012). Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China. *Waste Management*, 32, 317–326.

Duran, E.B., Cuci, Y. (2016). Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Fizikokimyasal Arıtım Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2).

Durmusoglu, E., Taspinar, F., Karademir, A. (2010). Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1–3), 870–877.

Edquist, J. (2009). *The Effects of Visual Clutter on Driving Performance*; Monash University: Melbourne, Australia, p. 226.

Environmental Protection Agency, 2020. *Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries*. Accessed on February 21, 2021, from. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/master\\_swmg\\_10-20-20\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/master_swmg_10-20-20_0.pdf).

Gutberlet, J., Baeder, A., Pontuschka, N., Felipone, S., dos Santos, T. (2013). Participatory research revealing the work and Occupational Health hazards of cooperative recyclers in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10, 4607–4627.

Holzer TL, Barka AA, Carver D, Celebi M, Cranswick E, Dawson T, Dieterich JH, Ellsworth WL, Fumal T, Gross JL, Langridge R, Lettis WR, Meremonte M, Mueller C, Olsen RS, Ozel O, Parsons

T, Phan LT, Rockwell T, Safak E, Stein RS, Stenner H, Toda S, Toprak S (2000). Implications for earthquake risk reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999. *US Geological Survey Circular 1193*: 1-64.

Hoorweg, D., Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. 1st edition. Washington, DC, USA: Urban Development & Local Government Unit. [www.worldbank.org/urban](http://www.worldbank.org/urban).

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.

Jayakrishnan, T., Jeeja, M., Bhaskar, R. (2013). Occupational health problems of municipal solid waste management workers in India. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2, 42.

Jayaweera M, Gunawardana B, Gunawardana M, Karunawardena A, Dias V, Premasiri S, Dissanayake J, Manatunge J, Wijeratne N, Karunarathne D, Thilakasiri S (2019). Management of municipal solid waste open dumps immediately after the collapse: An integrated approach from Meethotamulla open dump, Sri Lanka. *Waste Management* 95: 227-240.

Jinguuji M, Toprak, S (2017). A case study of liquefaction risk analysis based on the thickness and depth of the liquefaction layer using CPT and electric resistivity data in the Hinode area, Itako City, Ibaraki Prefecture, Japan, Exploration Geophysics 48, Special Section: Geophysical Surveys After the Great Eastern Japan Earthquake, 28-36, 2017.

Kanmani S, Gandhimathi R (2013). Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. Applied Water Science 3(1): 193-205.

Kaza, S., Yao, L.C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). What A Waste 2.0 A Global. Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Vol Urban Deve. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, DC.

Kjeldsen P, Fischer EV (1995). Landfill gas migration—Field investigations at Skellingsted landfill, Denmark. Waste Management and Research 13(5): 467-484.

Kocasoy G, Curi K (1995). The Ümraniye-Hekimbaşı open dump accident. Waste Management and Research 13(4): 305–314.

Koelsch F, Fricke K, Mahler C, Damanhuri E (2005). Stability of landfills-the Bandung dumpsite disaster. In: 10<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Cagliari, Italy.

Lavigne, F., Wassmer, P., Gomez, C. et al. (2014). The 21 February 2005, catastrophic waste avalanche at Leuwigajah dumpsite, Bandung, Indonesia. Geoenviron Disasters, 1, 10.

Lee, H. D., Jeon, S. B., Choi, W. J., Lee, S. S., Lee, M. H., Oh, K. J. (2013). A novel assessment of odor sources using instrumental analysis combined with resident monitoring records for an industrial area in Korea. Atmospheric Environment. 74, 277–290.

Long YY, Shen DS, Wang HT, et al. (2010). Migration behaviour of Cu and Zn in landfill with different operation modes. Journal of Hazardous Materials, 179(1), 883–890.

Matejczyk, M., PŁaza, G. A., NaŁęcz-Jawecki, G., Ulfig, K. and Markowska-Szczupak, A. (2011). Estimation of the environmental risk posed by landfills using chemical, microbiological and ecotoxicological testing of leachates. Chemosphere, 82, 1017-1023.

Merry S, Kavazanjian E, Fritz WU (2005) Reconnaissance of the July 10, 2000, Payatas landfill failure. Journal of Performance of constructed Facilities 19(2): 100–107.

Mohee, R., Mauthoor, S., Bundhoo, Z.M., Somaroo, G., Soobhany, N., Gunasee, S., 2015. Current status of solid waste management in small island developing states: a review. Waste Manag. 43, 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.012>.

OECD (2021). OECD Environment Statistics (database).

Prechtai, T., Parkpian, P. and Visvanathan, C. (2008). Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from municipal solid waste open dumping site. Journal of Hazardous Materials, 156, 86-94.

- Reddy K, Hettiarachchi H, Gangathulasi J, Bogner J, Lagier T (2009). Geotechnical properties of synthetic municipal solid waste. *International Journal of Geotechnical Engineering* 3(3): 429-438.
- Sánchez-Chardi A, Nadal J. (2007). Bioaccumulation of metals and effects of landfill pollution in small mammals. Part I. The greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*. *Chemosphere*. 68(4), 703–711.
- Saral, A., Demir, S., Yıldız, Ş. (2009). Assessment of odorous VOCs released from a main MSW landfill site in Istanbul-Turkey via a modelling approach. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1), 338–345.
- TheWorldbank, (2018). *What a Waste: An Updated Look into the Future of Solid Waste Management*  
Tian, H., Gao, J., Hao, J., Lu, L., Zhu, C., & Qiu, P. (2013). Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 252–253, 142–154.
- Tohit, N. F., Hassan, N., Rusli, M., Aidid, E.M., Rus, R.M. (2019). Solid waste: its implication for health and risk of vector borne diseases, *Journal of Wastes and Biomass Management (JWBM)* 1(2), 14-17.
- Toprak S, Koc AC, Cetin OA, Nacaroglu E (2008). Assessment of buried pipeline response to earthquake loading by using GIS. 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), 12-17 October, Beijing, China.
- Ukpong EC, Agunwamba JC (2011). Effect of Open Dumps on Some Engineering and Chemical Properties of Soil. *Continental J. Engineering Sciences* 6(2): 45-55.
- UNEP (2005). Closing an open dumpsite and shifting from open dumping to controlled dumping and to sanitary landfilling, training module, United Nations Environment Programme.
- US EPA, 2006. Global Mitigation of non CO2 Greenhouse gases. EPA Report 430-R-06-005.
- Wakil, K., Naeem, M.A., Anjum, G.A., Waheed, A., Thaheem, M.J., Hussnain, M.Q., Nawaz, R. (2019). A Hybrid Tool for Visual Pollution Assessment in Urban Environments. *Sustainability*, 11, 2211-2217.
- WHO (2017). *Vector-borne disease*. Geneva: World Health Organization.
- Wiedinmyer C, Yokelson RJ, Gullett BK. (2014). Global emissions of trace gases, particulate matter, and hazardous air pollutants from open burning of domestic waste. *Environmental Science and Technology*, 19, 48(16), 9523-30
- Williams, M., Schroeder, P., Gower, R., Kendal, J. (2018). *Bending the curve. Best practice interventions for the circular economy in developing countries. A synthesis of five literature reviews*. Tearfund, Teddington.
- Worldbank (2021). *Trends in Solid Waste management*.  
<https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends-in-solid-waste-management.html>.

Ziraba, A.K., Haregu, T.N., Mberu, B. (2016) A review and framework for understanding the potential impact of poor solid waste management on health in developing countries. Archives of Public Health, 74, 55.