

REKULTYWACJA BIOLOGICZNA SKŁADOWISKA ODPADÓW POZNAŃ W SUCHYM LESIE¹

SZYMON ŁUKASIEWICZ

Ogród Botaniczny Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dąbrowskiego 165, 60-594 Poznań

Abstract: The Poznań landfill in Suchy Las is a ground level landfill. The subsoil contains heavy clays and silts, which cause it to be naturally isolated from subterranean waters. Outflows from the landfill are directed to the local sewage treatment plant, which functions on the principle of reverse osmosis. The landfill gas is collected by the gas pipeline system and sucked under pressure to the electrical power station. Thanks to these treatments, it is possible and fully justified to plant trees and shrubs as part of the biological reclamation of the landfill. The article discusses the environmental conditions existing at the landfill and the group of arborescent plants that have been successfully planted on the slopes of the landfill.

Keywords: selection of species, tip management, community waste, trees, scrubs, biological reclamation.

WSTĘP

Efektym ubocznym rozwoju cywilizacyjnego są wytwarzane przez społeczeństwo różnorodne odpady przemysłowe, i komunalne. Obejmują one wszystkie stany skupienia: stały, ciekły i gazowy. Szczególne znaczenie, ze względu na kubaturę i zgromadzoną masę rzędu do kilkunastu milionów ton oraz związane z tym zagrożenia, mają składowiska, to jest obiekty budowlane przeznaczone do składowania odpadów (ustawa o odpadach, 2012). W poprzednich ustawach o odpadach określone one były jako składowiska odpadów komunalnych, a według ww. obowiązującej od 2001 roku definiowane są jako składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Zgodnie z cytowaną ustawą (2012) przez odpad rozumie się każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć, lub do których pozbycia się jest zobowiązany.

Odpady i zanieczyszczenia stałe gromadzone na składowiskach w masowych ilościach stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego człowieka. Niebezpieczeństwa wynikające z ich gromadzenia dotyczą potencjalnej

¹Prezentowane w artykule badania zostały wykonane w ramach projektu badawczego nr NN 305 3727 38 w latach 2010–2012, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

degradacji wszystkich komponentów środowiska. W sposób bezpośredni dotyczą one atmosfery, hydrosfery oraz litosfery. Do najważniejszych zagrożeń można zaliczyć (Łuniewski 2008; Maciak 1999; Ministerstwo 1990; Rosik-Dulewska 2011; Siuta 1998):

- zapylenie terenów przyległych, w tym metalami ciężkimi (opad pyłu na składowiskach może 4–5-krotnie przekraczać wielkość dopuszczalną 250 t/ha/rok),
- ulatnianie substancji/związków żrących lub toksycznych,
- rozchodzenie się odoru,
- rozprzestrzenianie się insektów oraz innych organizmów, wirusów i bakterii chorobotwórczych,
- pełnienie stoków, to jest powierzchniowy „rozwój” bryły składowiska,
- niebezpieczeństwo przenikania odcieków ze składowiska do wód gruntowych,
- przedostawanie się składowiskowego gazu do atmosfery – oddychanie powietrzem zawierającym metan (CH_4) zwiększa ryzyko zachorowań na choroby nowotworowe,
- degradację krajobrazu przez wprowadzenie wielohektarowej bryły przestrzennej o wysokości kilkudziesięciu metrów.

Główne problemy rekultywacji składowisk polegają na

- wydzielaniu olbrzymich ilości biogazu wewnątrz bryły zdeponowanych odpadów, na przykład w Suchym Lesie do kilkuset metrów sześciennych na godzinę(!),
- ombrofilnego, czyli opartego wyłącznie na nieregularnych opadach, systemu gospodarki wodnej,
- nieograniczonej insolacji,
- zgryzania nasadzeń przez zwierzęta,
- wadliwego składu chemicznego podłoża – gleby, losowo pozyskanego z wykopów i prac budowlanych.

Spontanicznie składowiska zasiedlane są głównie przez byliny, w tym trawy i rośliny jednoroczne o szerokiej skali ekologicznej. Rośliny drzewiaste postuluje się wprowadzać dopiero po upływie 8–15 lat od zakończenia eksploatacji (d’Obyrn, Szalińska 2005; Dyguś i in. 2012; Habekost 2000; Łuniewski i in. 2011; Quant i in. 1995; Rosik-Dulewska 2011; Skibniewska 2011).

CEL I METODY PRACY

Celem pracy jest przedstawienie środowiskowych uwarunkowań rozwoju roślin drzewiastych na składowisku odpadów Poznania w Suchym Lesie oraz

efektów introdukcji/wprowadzania drzew i krzewów na tym terenie. Intensywnie przebiegające wewnątrz bryły składowiska procesy fizykochemiczne powodują, że siedliska takie można uznać za wyjątkowo trudne do spontanicznej kolonizacji przez rośliny drzewiaste. Dotyczy to w szczególności obiektów już zamkniętych z obudową mineralną niewielkiej miąższości. Powstające obecnie kwatery składowiska mają zewnętrzną obudowę mineralną od 10–11 m u podstawy do 4–6 m w ich partii szczytowej (Politycki 2013 [inf. ustna]). Omawiana zamknięta część składowiska, eksploatowana w latach 1984–1993, ma obudowę mineralną południowej skarpy o miąższości zaledwie do 50 cm.

Wiosną 1995 r., w porozumieniu z ówczesnym dyrektorem Wysypiska Odpadów Komunalnych inż. Wacławem Graduszewskim, pracownicy Ogrodu Botanicznego UAM w Poznaniu wysadzili kilkadziesiąt gatunków drzew i krzewów na zamkniętej czaszy składowiska, na której dwa lata wcześniej zakończono eksploatację. Przyczyną rozpoczęcia tego doświadczenia było niepowodzenie prywatnej firmy wykonującej te prace. Na początku 1995 r. firma ta wysadziła 16 tys. drzew i krzewów, które nie przyjęły się. Jesienią 1995 r. w ramach gwarancji powtórzono ten zabieg, jednak z podobnym skutkiem. W tej sytuacji logicznym rozwiązaniem było zmniejszenie ryzyka przyrodniczego zagospodarowania składowiska poprzez zastosowanie większej liczby gatunków zarówno krajowych, jak i introdukowanych. Wybrano ponad 30 taksonów o udokumentowanej w literaturze odporności na warunki środowiska miejsko-przemysłowego Poznania i środkowozachodniej Polski (Łukasiewicz 1975, 1995). Po ich wysadzeniu prowadzono, oparte na metodzie obserwacji fenologicznych, badania rytmiki sezonowej roślin drzewiastych (Łukasiewicz 1984; Łukasiewicz 1999). Metoda ta polega na obserwacjach kolejnych etapów (faz) rozwoju roślin, zarówno wegetatywnego, jak i generatywnego. Jest ona sprawdzoną metodą diagnozującą kondycję roślin także w warunkach zmienionego środowiska. Pozwoliło to na kontynuowanie nowych wysadzeń po roku 2000, na podstawie zadowalających wyników introdukcji roślin drzewiastych na skarpach i wierzchołkach czaszy składowiska (fot. 1 i 2).

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TERENU

Składowisko Odpadów Poznania w Suchym Lesie przy ul. Meteorologicznej 1 jest składowiskiem typu nadpoziomowego. Teren przeznaczony pod deponowanie odpadów został rozpoznany w około 160 punktach (wiercenia, sondowania, badania współczynnika filtracji itp.). Ogólny obszar przeznaczony pod składowisko wynosi 61,5 ha. Eksploatację, czyli składowanie odpadów, na pierwszej tak zwanej starej kwaterze o powierzchni 11,6 ha rozpoczęto w roku 1984, a zakończono w 1993 (Graduszewski 1999). Aktualnie, w 2014 r., zamknięte i zrehabilitowane są trzy kwatery o łącznej powierzchni 24 ha. Na ob-



Ryc. 1. Prawidłowy rozwój klonów polnych *Acer campestre* L. rosnących na skarpie o wystawie północnej (lipiec 2013)

Fig. 1. The correct development of common maple *Acer campestre* L. planted in the north part of the Suchy Las tip (July 2013)



Ryc. 2. Efektywny rozwój drzew i krzewów wysadzonych na wschodnim stoku Składowiska (2012)

Fig. 2. The effective development of the plants, planted of the east's bank of this tip (2012)

szar ten składają się: część „stara” o powierzchni 11,6 ha, w której zgromadzono około 2 mln m³ odpadów oraz kwatery P1 i P2 o powierzchniach 7,0 i 5,4 ha i łącznej pojemności około 3 mln m³. Obecnie eksploatowana jest kwatera P3 o powierzchni 3,06 ha. Perspektywicznie planowane są jeszcze kwatery S1 i S2 o łącznej powierzchni 8,3 ha (Graduszewski 1999; Ładecka 2014 [inf. ustna]). Zgodnie z podziałem Polski na regiony fizycznogeograficzne Kondrackiego (2000) omawiany obszar leży w granicach podprowincji Pojezierze Południowobałtyckie i jednocześnie makroregionu Pojezierze Wielkopolskie. Według podziału rolniczo-klimatycznego Gumińskiego znajduje się w zasięgu dzielnic środkowej (VIII), o najmniejszych w Polsce sumach opadów rocznych (poniżej 500 mm). Geomorfologiczne położenie obejmuje styk zespołu form Góry Moraskiej oraz pradoliny Warty (Karwacka i in. 2004). Składowisko zostało zlokalizowane w szczególnie korzystnych warunkach gruntowo-wodnych podłoża. Posadowione jest na czwartorzędowych piaskach gliniastych/glinach piaszczystych o miąższości od 15 do 20 m, pod którymi zalegają bardzo trudno przepuszczalne trzeciorzędowe iły pliocenijskie kilkudziesięciometrowej miąższości (Skawina i in. 1999; Geokom 1991, 1993). Właściwości fizyczne gliny i łu powodują, że nie występują w nich warstwy wodonośne. W aspekcie ich przydatności jako mineralnej warstwy uszczelniającej są to grunty bardzo korzystne dla lokalizacji składowiska odpadów i bardzo rzadko spotykane w naszych szerokościach geograficznych. Tereny o takiej budowie geologicznej stanowią zaledwie około 0,3% powierzchni naszego kraju. Zgodnie z cytowaną literaturą, dla gruntów ilastych o współczynniku filtracji $k = 10^{-10}$ m/s i miąższości 0,5 m czas przepływu zanieczyszczeń może bowiem wynosić około 23 lat (Wołkowicz 2013). Kilkudziesięciometrowa warstwa łu, jaka zalega pod składowiskiem w Suchym Lesie, sprawia, że podłoże takie można uznać za nieprzepuszczalne.

Najstarsza część składowiska była eksploatowana w latach 1984–1993 zgodnie z ówczesną technologią, to jest przy użyciu spycharki gąsienicowej sporadycznie ciągnącej walec (Graduszewski 1995 [inf. ustna]). Brak pracy kompaktorów lub walca okołkowanego dużej masy spowodował zbyt małe zagęszczenie masy odpadów. Konsekwencją było nierównomierne osiadanie odpadów i zapadanie się pierwszej, podziemnej instalacji odgazowania. W miejscach jej ugięcia wystąpiło syfonowanie, to jest zaczopowanie światła rury wodą z zawartej w gazie i skraplającej się pary wodnej. Brak drożności instalacji spowodował rozprzestrzenianie się gazu we wszystkich kierunkach w bryle składowiska, do wypełnienia porów glebowych włącznie. Efektem tego było masowe zamieranie wysadzonych tu roślin drzewiastych. Druga instalacja, nadpoziomowa, uległa rozszczelnieniu na skutek użycia niewłaściwych materiałów oraz niszczącego wpływu wysokich i niskich temperatur, a także promieniowania słonecznego na gumowe złącza. Od roku 2004, po ponad 10 latach od zakończenia eksploatacji i ustabilizowaniu się osiadania górotworu, sprawnie funkcjonuje trzecia

– podziemna – instalacja odgazowania (Ładecka 2013 [inf. ustna]). Obecnie wszystkie zamknięte kwatery są aktywnie odgazowywane przez system gazociągu oraz pomp zasysających. Powoduje to przemieszczanie gazu składowiskowego z masy odpadów do elektrowni w warunkach podciśnienia. O skali tego zjawiska świadczy fakt wytwarzania, w całej kubaturze zamkniętego składowiska, do ponad 600 m³ gazu na godz.(!) Ilość produkowanej z gazu energii elektrycznej dochodzi wówczas do ponad 1 MWh energii. Informacja o procentowym udziale CH₄, CO₂ i O₂, kubaturze docierającego do elektrowni gazu oraz ilości produkowanej energii w kW, z podziałem na cztery agregaty prądoworcze, jest pokazywana na tablicy świetlnej umieszczonej na zewnątrz pomieszczeń technicznego zaplecza składowiska. W sposób ciągły jest także elektronicznie zapisywana do wszelkich celów dokumentacyjnych.

Dzięki systemowi drenażu odcieki ze składowiska kierowane są do miejscowej oczyszczalni odcieków, która działa na zasadzie odwróconej osmozy. Redukcja zanieczyszczeń organicznych (BZT₅), zanieczyszczeń chemicznych, oznaczanych jako CHZT, azotu ogólnego, przewodnictwa, metali ciężkich czy organicznych zanieczyszczeń chlorowcopochodnych (AOX) jest bardzo wysoka. Przykładowo, dla trudno rozkładalnych związków organicznych (oznaczanych jako CHZT) stopień redukcji może wynosić do 98% przewodnictwa i do 65% przy ośmiokrotnej redukcji objętości ścieków surowych, tzn. odcieku zagęszczonego (Graduszewski 1999; Krause 2013 [inf. ustna]; Rosik-Dulewska 2002, 2011).

Pozytywną konsekwencją drenażu spągu składowiska, oczyszczania odcieków i nieprzepuszczalnego podłoża jest brak degradacji wód podziemnych. Cyklicznie prowadzone badania w rejonie składowiska odpadów komunalnych w Suchym Lesie nie wykazały wpływu składowiska na wody podziemne w jego otoczeniu (Karwacka i in. 2004).

Niedostateczne zagęszczenie świeżych odpadów, które wynosi od 0,15 do 0,70 Mg/m³, po zakupie kompaktorów dużej masy (29–32 t) wzrasta od około 0,7–1,0 do ponad 1,5 Mg/m³. Istotnym czynnikiem w procesie ich zagęszczania jest także samoistne osiadanie masy zgromadzonych odpadów pod wpływem ich własnego ciężaru. Największego osiadania wierzehowiny można się spodziewać po upływie 3 do 6 lat od zakończenia eksploatacji (Łuniewski 2008; Koda 2013; Rosik-Dulewska 2011). Na skutek tych procesów obecnie, po 20 latach od zamknięcia kwatery, samoistne osiadanie bryły składowiska jest mało prawdopodobne.

REKULTYWACJA BRYŁY SKŁADOWISKA

Rekultywacja rozpoczyna się na etapie projektu dla konkretnego typu i warunków funkcjonowania składowiska (nadpoziomowe, podpoziomowe lub

przyskarpowe). Do zadań rekultywacji, już po zakończeniu eksploatacji, należy także docelowe przeznaczenie bryły składowiska. Z upływem lat może się ono zmieniać wraz z postępem wiedzy i opracowaniem nowych technologii. Do głównych kierunków rekultywacji zalicza się:

- kierunek rolno-ogrodniczy z przeznaczeniem powierzchni wierzchołkowej na produkcję roślinności pastewnej (obsiewanie mieszanką traw), plantacje drzew i krzewów ozdobnych, uprawy roślin energetycznych,
- kierunek leśny, w tym z drzewostanem przedplonowym,
- kierunek infrastrukturalny (budowlany), z przeznaczeniem terenu na składowiska budowlane, wiaty, garaże itp. obiekty niewymagające posadowienia na fundamentach,
- kierunek rekreacyjny, z budową na przykład toru saneczkowego lub narciarskiego na stoku oraz pola golfowego lub wieży obserwacyjnej na wierzchołkowej itp.,
- kierunek energetyczny, z instalacją paneli fotowoltaicznych na stokach o wystawie południowej oraz elektrowni wiatrowych na wierzchołkowej (Krzyśków, Kumor 2013; Maciak 1999; d'Obyrn, Szalińska 2005; Siuta 1998),
- inny, na przykład edukacyjny, doświadczalno-naukowy.

Według klasycznego ujęcia rekultywację można podzielić na etap rekultywacji przygotowawczej, podstawowej – technicznej, szczegółowej – biologicznej oraz docelowe zagospodarowanie terenu zdegradowanego.

Etap **rekultywacji przygotowawczej** między innymi obejmuje (Łuniewski 2008):

1. Dokumentacje techniczne i geologiczne, oceny oddziaływania na środowisko, dokumenty prawne i administracyjne.
2. Identyfikację podstawowych zagrożeń gruntowo-wodnych oraz atmosferycznych.
3. Ustalenie kierunku zagospodarowania terenu po zakończeniu eksploatacji.
4. Opracowanie dokumentacji projektowej.

Przy **rekultywacji technicznej** nadpoziomowej bryły składowiska istotne są takie działania, jak:

1. Określenie technologii eksploatacji składowiska odpadów: powierzchnia składowania, grubość pojedynczej warstwy odpadów oraz mineralnej, międzywarstwowej warstwy izolacyjnej, stopień ich zagęszczenia, drenażu i skierowania odcieków do oczyszczalni oraz technologii ułożenia instalacji odgazowania.
2. Zaprojektowanie i wykonanie okrywy rekultywacyjnej składającej się z warstw, licząc od dołu: wyrównawczej, odgazowującej, uszczelniającej, drenażowej i rekultywacyjnej właściwej-stropowej (Krzyśków 2013).

3. Racjonalne ukształtowanie stoków składowiska. W literaturze podaje się, że kąt ich nachylenia powinien wynosić co najmniej 1 : 3, przy czym za absolutne minimum uznaje się wartość 1 : 2. W praktyce niestety spotyka się nachylenie stoków miejscami przekraczające 1 : 1, czyli o kącie większym niż 45° (Maciak 1999; Koda 2013). Równie ważna, na wielohektarowych składowiskach, jest szerokość mineralnej warstwy obudowy zdeponowanych odpadów. Formowane po 2000 r. zewnętrzne obwałowanie kwater Składowiska Poznania w Suchym Lesie ma szerokość od około 10–11 m u podstawy do około 5–6 m w szczytowej partii czaszy (Politycki 2013). W przyszłości, obok stabilizacji masy zgromadzonych odpadów od zewnątrz, umożliwi to prawidłowy rozwój systemu korzeniowego roślin drzewiastych.
4. Uniemożliwienie rozcięć erozyjnych przez wody opadowe oraz regulację powierzchniowych wód wokół składowiska. Niebezpieczeństwo erozji bryły składowiska istnieje podczas opadów o intensywności przekraczającej możliwości ich infiltracji w podłoże. Problem ten może być rozwiązany na dwa sposoby, które można zastosować wspólnie lub pojedynczo. Są nimi:
 - rowy opaskowe przechwytyjące i odprowadzające nadmiar wody poza czaszę, układane i zagłębione do poziomu wierzchołki wzdłuż jej górnej krawędzi,
 - uformowanie szczytowej powierzchni w łagodne zagłębienie o charakterze bezodpływowym lub, przy płaskiej powierzchni, otoczenie skraju wierzchołki niewielkim, ziemnym wałem oporowym o wysokości około 0,5 m.Wariant pierwszy powinien być zastosowany na obszarach wyżynnych, o sumie opadów przekraczającej wartości parowania potencjalnego. Drugie rozwiązanie można zastosować na terenach nizinnych (Kujawy, Wielkopolska), ze znacznym deficytem opadów w stosunku do parowania potencjalnego. Zagłębienia bezodpływowe mają zdolność stabilizowania różnorodności biologicznej w krajobrazie oraz w większym procencie wychwytyją skąpe opady w okresie wegetacyjnym. Oznacza to powstanie nowych siedlisk – nisz ekologicznych o odmiennym od otaczających powierzchni reżimie gruntowo-wodnym. Z większym zróżnicowaniem warunków siedliskowych wiąże się gatunkowo bogatsza, bardziej urozmaicona szata roślinna, niekiedy o charakterze unikatowym (Hilbricht-Ilewska 1991). Stwarza to możliwość zaistnienia kolejnych ogniw łańcucha troficznego, a w konsekwencji zasiedlenie górotworu przez fito- i zoocenozy.
5. Zaprojektowanie i budowa co najmniej dwóch dróg dojazdowych, wraz z przepustami, o łagodnie meandrującym przebiegu. Źle wykonane drogi wjazdowe na czaszę mogą być jednym z głównych czynników degradujących bryłę składowiska na skutek erozji i ruchów masowych.
6. Odtworzenie gleb metodami technicznymi.

Rekultywacja biologiczna obejmuje (Koda 2013; Krzyśków, Kumor 2013; Łukasiewicz 2011; Luniewski 2008; Maciak 1999; Siuta, Żukowski 2009):

1. Zabiegi agrotechniczne: analizy fizyczno-chemiczne podłoża warstwy 0–30 cm w celu neutralizacji gruntów toksycznych oraz uzupełnienia deficytu składników pokarmowych wierzchniej warstwy rekultywacyjnej.
2. Oranie, spulchnianie gleby przy użyciu glebogryzarki, bronowanie itp. w celu nadania pożądanej struktury fizycznej i wmieszania nawozów do wierzchniej warstwy gleby.
3. Stymulowanie aktywności biologicznej gleby i procesów glebotwórczych przez dodatek substancji organicznych oraz wysiew roślin motylkowych.
4. Dobór gatunków roślin do rekultywacji biologicznej.
5. Opcjonalny (nieobligatoryjny) wysiew roślin przedplonowych.
6. Docelowy wysiew traw i roślin motylowych oraz wysadzanie roślin drzewiastych.

Bardzo ważnym procesem uzasadniającym wprowadzanie drzew i krzewów jest przechwytywanie przez rośliny wydzielanego ze składowiska dwutlenku węgla. Kubatura gazu ze składowiska w Suchym Lesie wynosi do około 600 m³/godz., przy jego następującym uśrednionym składzie: 46% (35–55%) NH₄ i 42% (30–60%) CO₂ (Politycki 2013; Łukasiewicz [dane nie opubl.]). Po spalaniu gazu w elektrowni zawarty w spalinach CO₂ jest emitowany do atmosfery. Asymilacja CO₂ przez rośliny drzewiaste będzie równoważyła wydzielanie olbrzymich ilości tego gazu podczas beztlenowego rozkładu odpadów oraz jego emisji do atmosfery po spaleniu biogazu (Rogalski, Rzepka 2011). Taki sposób postępowania jest także zgodny z zawartymi w literaturze sugestiami o zalesianiu wolnych powierzchni jako aktywnego sposobu przeciwdziałania globalnemu ociepleniu (Bekkering 1992; Schnoor 2005; IPCC, 2007, za: Dobrzańska i in. 2012).

Wysadzone w dolnych położeniach południowej skarpy krajowe dęby, o głębokim, palowym systemie korzeniowym, po 15 latach od ich wprowadzenia scalają najstarsze, około 3-metrowe warstwy odpadów z gruntem rodzimym. Dowodzą tego badania rytmiki sezonowej roślin, to jest obserwowane przez autora uniezależnienie się drzew od warunków suszy atmosferycznej oraz powtarzalne, znaczne przyrosty jednorocznych pędów, nawet do 35 cm. Rośliny, które rosną w górnych częściach skarpy, zachowują niewielki, ‘karłowaty’ wzrost, na przykład sosny czarne po upływie 20 lat od wysadzenia mają od 1,5 do 2,5 m wysokości. Może to świadczyć o budowaniu w tym czasie rozległego systemu korzeniowego. Takie zjawisko nazywane jest zbrojeniem gruntu korzeniami drzew i ma pozytywny, wiążący wpływ na stabilność wierzchnich warstw podłoża (Jeż 1989, 1995; Novak 1997).

Obsadzanie skarpy zamkniętej czaszy składowiska można zaliczyć do procesu kształtowania środowiska przyrodniczego człowieka w wymiarze

krajobrazowym. Zabieg ten upodabnia fizjonomię zgeometryzowanej bryły składowiska do otaczających ją zadrzewionych form krajobrazu polodowcowego. Stanowi więc próbę harmonijnego wkomponowania nowej bryły w otoczenie w skali topograficznej.

UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWE REKULTYWACJI BIOLOGICZNEJ SKŁADOWISKA W SUCHYM LESIE

Składowiska typu nadpoziomowego są formami pozytywnymi w krajobrazie, to znaczy wyniesionymi ponad otaczającą powierzchnię terenu. Ze względu na ich miąższość, skład odpadów oraz budowę geologiczną podłoża funkcjonowanie wód czaszy składowiska należy do typu ombrofilnego (opadowego) gospodarki wodnej. Jest to bardzo ważne stwierdzenie z uwagi na cyklicznie występujące w Wielkopolsce niedostateczne opady okresu wegetacyjnego (od kwietnia do października włącznie). Deficyt pochodzącej z atmosfery wody, tej części Niżu Polskiego, wynosi około 160 mm od kwietnia do października, co jest równe sumie trzymiesięcznych opadów(!), na przykład od maja do lipca włącznie (Kędziora 2005). Niezbędne jest zatem podlewanie roślin w okresach suszy wiosenno-letniej oraz hamowanie bezproduktywnego parowania wody przez odpowiednie mulczowanie (ściółkowanie) powierzchni gleby wokół drzew i krzewów. Dostępność wody jest podstawowym warunkiem ich prawidłowego rozwoju wyrażonego obecnością wszystkich faz wegetacyjnych, zarówno wegetatywnych (listnienie, wytwarzanie przyrostów pędów, przebarwianie liści), jak i generatywnych (kwitnienie, zawiązywanie i dojrzewanie owoców, rozsiewanie zdolnych do kiełkowania nasion). Wiosenno-letnią suszę potęguje pełne nasłonecznienie czaszy i brak, chociażby częściowego, ocienienia młodych roślin przez wyższe nasadzenia. Na stokach o wystawie południowej kąt padania promieni słonecznych dochodzi do 90°, co skutkuje maksymalną insolacją roślin i gleby. W takich warunkach 'wypalania' gleby przez słońce bardzo istotną rolę pełnią nieusuwane, także suche, pędy traw, bylin i roślin jednorocznych, które zatrzymują – załamują i częściowo odbijają promieniowanie słoneczne. Dzięki temu do powierzchni gleby dociera promieniowanie rozproszone, niosące znacznie mniej energii. Tego rodzaju runo hamuje także i osłabia prędkość wiatru w przygruntowej warstwie atmosfery. Jest to bardzo ważne oddziaływanie, gdyż skrajnie niekorzystne warunki wilgotnościowe na czaszy pogłębia porywanie przez wiatr cząstek wody z nieosłoniętej, nagiej powierzchni gleby.

Składowiska typu nadpoziomowego stanowią, do wysokości ich górnej krawędzi, przeszkodę dla poziomego, swobodnego przemieszczania się powietrza. W wyniku tego następuje kumulowanie, „kompaktowanie” warstwy atmosfery do wysokości 20–50 m, to jest do wysokości składowiska. Skutkuje

to zwiększeniem prędkości wiatru nad czasą górotworu od dwóch do czterech razy w stosunku do prędkości wiatru, jaka notowana jest u podnóża bryły składowiska. W rezultacie następuje utrata dodatkowych ilości wody w procesie wymuszonej transpiracji roślin i parowania gleby (Greszta 1972; Lewińska 2000).

Na podstawie wieloletnich obserwacji rozwoju drzew i krzewów na terenie Składowiska Odpadów Poznania w Suchym Lesie można stwierdzić, że podstawowym czynnikiem ograniczającym rozwój roślin drzewiastych jest suma opadów i ich rozkład w ciągu roku, ze szczególnym uwzględnieniem miesięcy wiosenno-letnich.

Wytwarzanie się gazu wysypiskowego, w tym przede wszystkim metanu, może być główną przyczyną zamierania roślin drzewiastych. W przypadku dotarcia gazu do warstwy rekultywacyjnej, podglebia i humusu wypiera on tlen z przestworów glebowych, który jest niezbędny do normalnego funkcjonowania roślin. W takich warunkach nawet dorosłe i dorodne drzewa giną w ciągu kilku dni. Barię w jego rozprzestrzenianiu jest sprawnie działająca sieć odgazowania bryły składowiska, aktywnie i równomiernie zbierająca wytwarzający się gaz oraz wszelkie formy syntetycznych lub mineralnych membran, które oddzielają warstwę rekultywacyjną od masy odpadów (Łukaszewicz 2006).

Wymienione trudności prawidłowego rozwoju drzew i krzewów powodują, że kryterium ich wprowadzania na czasę składowiska nie są względy produkcji leśnej, mierzone metrami kubicznymi pozyskanego w przyszłości drewna, lecz kryterium możliwości ich przeżycia i rozwoju, co powinno być warunkiem ich zastosowania.

TECHNIKA I SPOSÓB NASADZEŃ

Wspomniana pierwsza rekultywacja, przeprowadzona przez prywatną firmę w 1995 r., zakończyła się dwukrotnym uschnięciem drzew i krzewów (2 x 16 tys.). W ocenie autora przyczynami tego były:

1. zastosowanie niewłaściwego materiału szkółkarskiego – nawet wyrosnięte, 3–4-letnie siewki były sadzone z tak zwanym gołym korzeniem, czyli były wykopane z gruntu,
2. drzewa i krzewy przez dłuższy czas były zadołowane na czaszy składowiska. Brak opadów i wiejące na wierzchołkach wiatry powodowały wzrost siły ssącej powietrza w stosunku do wilgoci, co mogło doprowadzić do przesuszenia i odwodnienia całych roślin;
3. niewłaściwa pora wysadzania – wiosną przy bardzo skąpych opadach. Przy padające w Polsce okresy suszy, na przykład w kwietniu 1995 r. poniżej 50% średniej dla wielolecia, zbiegły się z podwyższonymi temperaturami sezonu

wegetacyjnego, przy sumie opadów rocznych na poziomie nieco ponad 60% dla wielolecia (326 mm wobec 522 mm dla 50-lecia 1955–1999). Jednakże, jak wspomniano, w Wielkopolsce w sezonie wegetacyjnym, przy średniej rocznej sumie opadów 522 mm, deficyt opadów wyrażony przez tak zwany potencjalny klimatyczny bilans wodny wynosi około 160 mm. W rzeczywistości faktycznie brakująca suma opadów w 1995 r., która zrównoważyłaby siłę ssącą atmosfery w stosunku do wilgoci, wyniosła około 360 mm.

Dlatego, z powodu często występujących susz w miesiącach wiosennych, lepszym terminem sadzenia jest okres jesieni. Rozwój korzeni w tej porze roku wynosi nawet do 30% wielkości przyrostów obserwowanych wiosną. W miesiącach jesienno-zimowych następuje ponadto ściśle zespolenie gleby z systemem korzeniowym. Dzięki temu już wczesną wiosną rośliny rozpoczynają swój rozwój i lepiej znoszą wiosenną suszę.

Znając trudne warunki ekologiczne na składowiskach, zaleca się zakup roślin wyprodukowanych w kontenerach, w wieku 2–3 lat. Brak uszkodzeń oraz przesuszenia korzeni w cyklu sadzenia, ze szkółki do miejsca docelowego, umożliwi młodym drzewom i krzewom ich pełny rozwój w okresie wiosennym bez konieczności regenerowania utraconej przy wykopywaniu części systemu korzeniowego.

Proponowana więźba wysadzania roślin wynosi 2 x 2 m dla drzew i 1,5 x 1,5 m dla krzewów. Umożliwia to swobodny rozwój tych roślin, bez obawy ich wzajemnego zagłuszania i związanej z tym konieczności stosowania przecinki przez około 20 lat po wysadzeniu.

Podczas sadzenia bardzo ważne jest uformowanie wokół roślin tak zwanych mis glebowych zatrzymujących wodę pochodzącą zarówno z podlewania, jak i z opadów atmosferycznych. Jest to główny zabieg agrotechniczny zdecydowanie poprawiający efektywność nawadniania. Samo nawadnianie konieczne jest w pierwszych 2–3 latach. Dopiero po upływie trzech lat, czyli od czwartego roku po wysadzeniu można zaniechać ich podlewania, mając na uwadze prawidłowo rozwinięty, gęsty i rozgałęziony system korzeniowy. W okresie upałów i suszy atmosferyczno-glebowej proponowana częstotliwość nawadniania wynosi około dwa tygodnie, to jest co 10–15 dni.

Ze względu na stabilizowanie mas ziemnych oraz minimalizowanie procesu erozji powszechnie stosowanym zabiegiem jest obsiewanie powierzchni składowiska różnymi gatunkami traw. Do siewu na terenie wierzchowiny składowiska w Suchym Lesie można polecić dostępne w handlu mieszanki traw zalecanych na suche siedliska, złożone w ponad 50% z kostrzewy czerwonej *Festuca rubra* L. i jej odmian. Pozostałymi składnikami są w nich życica trwała *Lolium perenne* L., wiechlina łąkowa *Poa pratensis* L. oraz inne. Ze względu na wiązanie azotu atmosferycznego, a także jej strukturotwórczą rolę można do tej mieszanki wprowadzić 5-procentową domieszkę koniczyny

białej *Trifolium repens* L. Należy pamiętać jednak o tym, że trawy, przez swój gęsty system korzeniowy, w pierwszych latach stanowią silną konkurencję dla młodych sadzonek drzew i krzewów w ich walce o wodę. Dlatego powierzchnie wewnątrz grup, między wysadzonymi drzewami lub krzewami poszczególnych gatunków, należy ściółkować zrębkami drewna o miąższości 5–10 cm, a dopiero pozostałą, nieobsadzoną powierzchnię między grupami roślin, obsiać trawami.

Z uwagi na nierównomierne osiadanie bryły składowiska, powodujące w przeszłości wielomiejscowe zapadanie się fragmentów sieci odgazowującej na już zamkniętych kwaterach, nasadzenia drzew i krzewów na wierzchołkach należy dokonywać w miejscach pozbawionych podziemnej instalacji odgazowywania. Dzięki temu uniknie się niszczenia wysadzonych roślin na zamkniętej czaszy składowiska podczas podziemnych ingerencji i napraw instalacji odgazowania.

GATUNKOWY DOBÓR ROŚLIN DRZEWIASTYCH

Prowadzone od 1995 r. badania rytmiki sezonowej roślin, oparte na metodzie obserwacji fenologicznych oraz danych z literatury, umożliwiają wybór tych gatunków roślin, które odznaczały się prawidłowym rozwojem zarówno w warunkach składowiska w Suchym Lesie, jak i na podobnych siedliskach, w warunkach środowiska miejsko-przemysłowego (Łukasiewicz 1984, 1995, 1999).

Drzewa charakteryzujące się korzystnym rozwojem na Składowisku Odpadów Poznania w Suchym Lesie

Drzewa krajowe

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Dąb szypułkowy	<i>Quercus robur</i> L.
Głóg jednoszyjkowy	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.
Grusza pospolita	<i>Pyrus pyrastrer</i> (L.) Burgsd.
Jabłoń dzika	<i>Malus sylvestris</i> Mill.
Jesion wyniosły	<i>Fraxinus excelsior</i> L.
Klon polny, paklon	<i>Acer campestre</i> L.
Olsza czarna	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.
Śliwa tarnina	<i>Prunus spinosa</i> L.
Szklak pospolity	<i>Rhamnus cathartica</i> L.
Wiąz szypułkowy	<i>Ulmus laevis</i> Pall.

Drzewa introdukowane

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Klon tatarski	<i>Acer tataricum</i> L.
Oliwnik wąskolistny	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.
Śliwa ałycza	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.
Śliwa tarnina	<i>Prunus spinosa</i> L.
Sosna czarna	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold
Wiśnia antypka	<i>Prunus mahaleb</i> L.

Krzewy charakteryzujące się korzystnym rozwojem na Składowisku Odpadów Poznania w Suchym Lesie

Krzewy krajowe

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Czeremcha pospolita	<i>Prunus padus</i> L.
Róża dzika	<i>Rosa canina</i> L.

Krzewy introdukowane

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Amorfa krzewiasta	<i>Amorpha fruticosa</i> L.
Ligustr zwyczajny odm. zimozielona	<i>Ligustrum vulgare</i> L. 'Atrovirens'
Suchodrzew tatarski	<i>Lonicera tatarica</i> L.
Kolcowój pospolity	<i>Lycium barbarum</i> L.
Róża pomarszczona	<i>Rosa rugosa</i> Thunb.
Tamaryszek czteropręcikowy	<i>Tamarix tetrandra</i> Pall. ex M. Bieb.

Z powyższego zestawu zaleca się tworzenie grup danego gatunku drzew lub krzewów po kilkadziesiąt–kilkaset sztuk. Jest to zgodne z zalecanym w literaturze, opartym na praktycznych doświadczeniach, wprowadzaniem monogatunkowych nasadzeń po to, aby wykluczyć międzygatunkową konkurencję i zagłuszanie roślin wolniej rosnących przez inne, bardziej ekspansywne gatunki (np. topole, robinie). Wprowadzanie pojedynczych osobników lub mało licznych grup roślin nie zdało bowiem egzaminu. Obserwowano wypadanie części wysadzonych roślin na skutek zacienienia, niedoboru wody oraz składników pokarmowych pobieranych z podłoża przez taksony o szybszym wzroście i większej sile vitalnej, na przykład przez wiązy, klony, leszczyny.

Wymienione gatunki zostały sprawdzone zarówno w zdegradowanych warunkach środowiska miejskiego, jak i na czaszy składowiska odpadów Poznania

w Suchym Lesie. Zestaw ten uzupełniono o taksony odporne na deficyt opadów i długotrwałe susze atmosferyczno-glebowe.

WNIOSKI

1. Doświadczalnie wykazano, że możliwe jest pomyślne wysadzanie roślin drzewiastych już w drugim roku po zakończeniu eksploatacji, to jest składowania odpadów.
2. Do celu biologicznej rekultywacji składowisk, z wysadzeniami drzew i krzewów, nadają się najbardziej odporne gatunki i odmiany krajowe oraz introdukowane.
3. Celem wysadzenia roślin nie są kryteria leśne, liczone metrami kubicznymi pozyskanego w przyszłości drewna, lecz możliwości przeżycia roślin na sztucznie stworzonym siedlisku.
4. Warunkiem prawidłowego rozwoju drzew i krzewów jest aktywne odgazowanie bryły składowiska przy użyciu pomp ssąco-tłoczących. Brak ujęcia i skierowania biogazu poza czasę składowiska wyklucza sensowność działań rekultywacji biologicznej.

Autor dziękuje Prezesowi Zarządu Zakładu Zagospodarowania Odpadów Poznania panu mgr. inż. Krzysztofowi Krause oraz Dyrektorowi ds. Technicznych pani mgr inż. Iwonie Ładeckiej za umożliwienie badań na terenie składowiska.

LITERATURA

- Bekkering T.D. 1992: *Using tropical forest to fix atmospheric carbon: the potential in theory and practice*, Ambio, t. 21, nr 6, 414–419.
- Dobrzańska B., Dobrzański G., Kielczewski D. 2010: *Ochrona środowiska przyrodniczego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 459.
- D'Obyrn K., Szalińska E. 2005: *Odpady komunalne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, ss. 138.
- Dyguś K.H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012: *Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych*, Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa, ss. 134.
- Geokom, 1991: *Wpływ wysypiska odpadów komunalnych „Biedrusko” w gminie Suchy Las na środowisko wodne* [mscr.].
- Geokom, 1993: *Dokumentacja hydrogeologiczna dla zabudowy wysypiska odpadów komunalnych w Suchym Lesie* [mscr.].
- Graduszewski W. 1999: *Technologia eksploatacji wysypiska odpadów komunalnych dla m. Poznania w Suchym Lesie*, Materiały konferencji pt. „Zorganizowana gospodarka odpadami, to czyste powietrze i higieniczniejsze warunki życia naszej społeczności”, Wielkopolska Korporacja Techniczna, Poznań, 21–22 czerwca.
- Greszta J., Morawski S. 1972: *Rekultywacja nieużytków przemysłowych*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, ss. 263.
- Habekost A. 2000: *Immobilizacja i detoksykacja*, [w:] J. Kowalski (red.), *Stare składowiska*. T. II. *Sanacja i kontrola*, AR, Wrocław, 211–290.

- Jeż J. 1989: *Ocena właściwości geotechnicznych podłoża gruntowego na podstawie szaty roślinnej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, ss. 180.
- Jeż J. 1995: *Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, ss. 270.
- Kędziora A. 2005: *Przyrodnicze podstawy gospodarowania wodą w Polsce*, [w:] L. Ryszkowski, A. Kędziora (red.), *Ochrona środowiska w gospodarce przestrzennej*, Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań, 75–113.
- Koda E. 2013: *Wpływ eksploatacji na stateczność geotechniczną składowiska odpadów*, XXIII Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Eksploatacja i rekultywacja bezpiecznych składowisk odpadów”, Kraków, Myślenice, 19–21 luty, 120–135.
- Karwacka G., Kijowska J., Kijowski A., Żynda S. 2004: *Komentarz do mapy sozologicznej w skali 1 : 50 000*, arkusz n-33-130-d Poznań, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Kondracki J. 2000: *Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 339.
- Krzyżków A., Kumor B. 2013: *Kwestie finansowe rekultywacji składowisk odpadów*, XXIII Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Eksploatacja i rekultywacja bezpiecznych składowisk odpadów”, Kraków, Myślenice, 19–21 luty 2013, 200–211.
- Lewińska J. 2000: *Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków, ss. 151.
- Łukasiewicz A. 1975: *Dobór roślin dla terenów zieleni Poznania*, [w:] A. Łukasiewicz, *Ogród Botaniczny UAM w Poznaniu*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 93–152.
- Łukasiewicz A. 1984: *Potrzeba ujednoczenia metodyki fenologicznej w polskich Ogrodach Botanicznych i Arboretach*, Biuletyn Ogródów Botanicznych, Muzeów i Zbiorów, Wiadomości Botaniczne, 28(2), 153–158.
- Łukasiewicz A. 1995: *Dobór drzew i krzewów dla zieleni miejskiej środkowo zachodniej Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, ss. 172.
- Łukasiewicz Sz. 1999: *Modyfikacje metody wykreślenia diagramów fenologicznych drzew rosnących w warunkach miejskich w oparciu o obserwacje Aesculus hippocastanum L. na terenie Poznania*, Biuletyn Ogródów Botanicznych, 8, 35–40.
- Łukasiewicz Sz. 2006: *Przyrodnicze zagospodarowanie składowisk odpadów komunalnych*, Biuletyn Ogródów Botanicznych, 15, 127–132.
- Łukasiewicz Sz. 2011: *Struktura fizyczna gruntu, zawartość substancji organicznej oraz skład chemiczny gleb w podłożach 21 stanowisk zieleni miejskiej na terenie Poznania. Część I. Struktura fizyczna gruntu*, Badania Fizjograficzne, R II – Seria A – Geografia Fizyczna, PTPN, Poznań, 69–85.
- Łuniewski A., Łuniewski S. 2011: *Od prymitywnych wysypisk do nowoczesnych zakładów zagospodarowania odpadów*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, ss. 290.
- Maciak F. 1999: *Ochrona i rekultywacja środowiska*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, ss. 288.
- Novak Z. 1997: *Planowanie regionalne i udział w nim architekta*, Politechnika Krakowska, Kraków, ss. 176.
- Quant B., Sobociński A. 1995: *Sposoby rekultywacji składowisk stałych odpadów komunalnych na przykładzie niektórych wysypisk województwa gdańskiego*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Rekultywacja terenów zdegradowanych w województwie Szczecińskim”, Nowe Czarnowo, 147–151.
- Rogalski L., Rzepka J. 2011: *Określenie emisji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych*, Inżynieria Ekologiczna, 27, 184–190.
- Rosik-Dulewska C. 2002: *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss.305.
- Rosik-Dulewska C. 2011: *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 377.

- Schnoor J.L. 2005: *Global Warming: A consequence of human activities rivaling Earth's biogeochemical processes*, Human and Ecological Risk Assessments, t. 11, 1105–1110.
- Siuta J. 1998: *Rekultywacja gruntów*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 204 ss.
- Siuta J., Żukowski B. 2009: *Wapnowanie gleb i plonowanie zbóż w Polsce*, *Aura* 8, 8–10.
- Skawina T., Kossowski J., Stępniewski W., Walczak R. 1999: *Fizyczne właściwości gleb*, [w:] S. Zawadzki (red.), *Gleboznawstwo*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 96–182.
- Skibniewska K. (red.) 2011: *Some aspects of environmental impact of waste dumps*, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, ss. 156.
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, 2013: *Dziennik Ustaw* poz. 21.
- Wołkiewicz W. 2013: *Naturalna bariera geologiczna składowiska odpadów*, XXIII Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Eksplatacja i rekultywacja bezpiecznych składowisk odpadów”, Kraków, Myślenice, 19–21 luty, 136–140.
- Wytyczne techniczne K-36. Mapa sozologiczna w skali 1 : 50 000, 1990: Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa, Departament Geodezji, Kartografii i Gospodarki Gruntami, Warszawa.