

**REKULTYWACJA  
NIEUPORZĄDKOWANEGO SKŁADOWISKA  
ODPADÓW STAŁYCH W MIEJSCOWOŚCI  
“ALEKO KONSTANTINOVO”**

## **1. Wprowadzenie**

Po przystąpieniu do UE Bułgaria zwiększyła środki na ochronę środowiska i zrównoważony rozwój, ale nadal istnieją pewne istotne wyzwania i problemy do rozwiązania. Zmniejszenie ilości odpadów i zapobieganie negatywnemu wpływowi na środowisko nieuporządkowanych składowisk odpadów to jedne z głównych celów w sektorze „Odpady” w Bułgarii. Osiągnięto znaczny postęp w tym zakresie, ale gospodarka odpadami nadal stanowi problem w kraju. W związku z tym prawodawstwo europejskie i krajowe wymaga od właścicieli składowisk gwarancji zamknięcia i rekultywacji nieuporządkowanych składowisk w Bułgarii. Niniejsze studium przypadku szczegółowo opisuje strategię opracowaną i dalej stosowaną podczas rekultywacji miejskiego nieuporządkowanego składowiska znajdującego się we wsi Aleko Konstantinovo w gminie Pazardżik w Bułgarii.

## **2. Gospodarka odpadami w Bułgarii – wyzwania, inwestycje i podejście do zagospodarowania odpadów**

Aby zmniejszyć ilość odpadów i dokonać zmian w kierunku przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym, w Bułgarii podjęto inicjatywy, m.in. legislacyjne, mające na celu harmonizację polityk krajowych z politykami na poziomie europejskim. Osiągnięto znaczne postępy, ale gospodarka odpadami nadal stanowi wyzwanie (Raport Bulgaria 2020). Generowanie odpadów komunalnych ma tendencję spadkową, na lata 2008-2018 wynosi około 36% (KPGO 2021-2028). Rośnie udział przetworzonych odpadów komunalnych (w 2017 r.) o 99,7%), a ilość składowanych odpadów znacząco spadła, ale w 2017 r. (61,8%) pozostaje wyższa niż średnia UE (23,5%). Udział ludności objętej zorganizowanym systemem wywozu odpadów wynosi 99,8% i obejmuje 4 698 osiedli (NSI 2018). Poziom recyklingu odpadów komunalnych za 2017 r. nadal odbiega o 34,6% od średnich wartości na poziomie UE (46,5%, Eurostat). Program Operacyjny „Środowisko”

(POZ) jest wiodącym źródłem finansowania publicznej infrastruktury gospodarki odpadami komunalnymi. W okresie programowania 2007-2013 wspierane są projekty inwestycyjne w 20 Regionalnych Stowarzyszeń Gospodarki Odpadami (RZGW), w tym komórki składowisk o łącznej pojemności ponad 6 mln ton; instalacje do podczyszczania zmieszanych odpadów bytowych o łącznej wydajności ponad 350 tys. ton/rok; do kompostowania odpadów zielonych o wspólnej wydajności 200 tys. ton/rok; do fermentacji beztlenowej o łącznej wydajności 20 tys. ton/rok i inne. ZOP 2014-2020 sfinansował projekty zagospodarowania odpadów komunalnych w 24 RZGW, w tym w 19 podczyszczalniach; 43 kompostowniach i 3 beztlenowych zakładach przerobu odpadów, zakład odzysku RDF z produkcją energii i rekultywacją 54 starych składowisk odpadów. Projekty te przyczyniają się do zmniejszenia ilości składowanych odpadów o ponad pół miliona ton - o 28% w porównaniu do zdeponowanych w 2012 roku.

Zbudowana infrastruktura nie ma wystarczającej zdolności do realizacji celów recyklingu i utylizacji szacunkowych ilości odpadów z gospodarstw domowych zgodnie z nowymi celami UE (KPGO 2021-2028). Dlatego w latach 2021-2027 priorytetowo traktuje się finansowanie rozwoju i doskonalenia systemów gospodarki odpadami komunalnymi na poziomie regionalnym, w szczególności infrastruktury służącej ponownemu wykorzystaniu, recyklingowi i selektywnej zbiórce dla osiągnięcia celów do 2030 r. Inwestycje w infrastrukturę regionalną będą skierowane do RZGW i gmin z załączników nr 6, 7 i 8 Kpgo 2021-2028. Potrzebne są również dalsze wysiłki w celu podniesienia świadomości społecznej i poszerzenia bazy wiedzy jako kluczowych działań na rzecz poprawy zarządzania odpadami poprzez przyznawanie dotacji.

Wsparcie rekultywacji otwartych składowisk ma na celu zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia środowiska i szkód na zdrowiu ludzi. Przeważająca część odpadów budowlanych ma duży potencjał do recyklingu i odzysku, dostępne są technologie recyklingu, ale nie ma wystarczających możliwości ich recyklingu (KPGO 2021-2028). Osiągnięcie wyższych poziomów recyklingu i odzysku wymaga znacznych inwestycji i wysiłku ze strony bułgarskich firm (Strategia przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym 2021-2027). Inwestycje na lata 2021-2027 koncentrują się na działaniach stymulujących przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Projekty wsparcia demonstracyjnego w ramach POZ 2014-2020 przyczyniają się w tym kierunku, m.in. poprzez podnoszenie świadomości społecznej w zakresie hierarchii gospodarowania odpadami, wypracowywanie „dobrych praktyk” i pomysłów, a także możliwości ich późniejszego stosowania na szerszą skalę. Inwestycje opierają się i przyczyniają do realizacji celów Kpgo 2021-2028 oraz

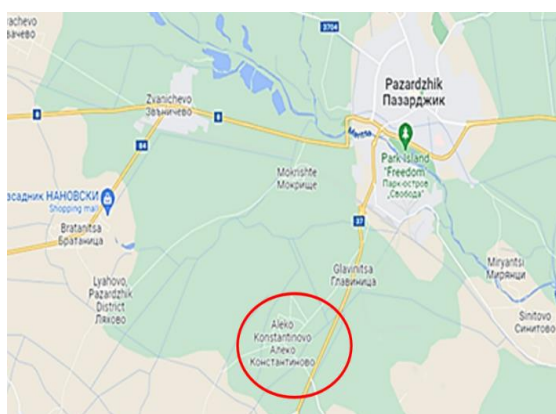
strategii i planu działania na rzecz przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym 2021-2027. Uwzględniono również zalecenia dotyczące innych dokumentów strategicznych, takich jak Raporty o Bułgarii 2019 i 2020, Raport Wczesnego Ostrzegania dla Bułgarii 2018, NPR Bułgaria 2030 oraz Strategia MŚP 2021-2027.

### **3. Projekt „Zamknięcie i rekultywacja istniejącego starego nieuporządkowanego składowiska odpadów stałych na terenie wsi Aleko Konstantinovo, gmina Pazardżik”**

Celem tego projektu jest przyczynienie się do osiągnięcia krajowych celów w zakresie zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko działalności związanej z przetwarzaniem i unieszkodliwianiem odpadów. Jego realizacja obejmuje rekultywację starego składowiska (92 000 m<sup>2</sup>), w którym znajdowało się 100 000 m<sup>3</sup> odpadów stałych, zgromadzonych w okresie od 1962 do listopada 2017 roku. Projekt o wartości ponad 4,7 mln BGN jest finansowany przez EMEPA do zarządzania działaniami w zakresie ochrony środowiska), poprzez przeniesienie na podstawie ustawy o budżecie państwa Republiki Bułgarii na rok 2019 zgodnie z postanowieniami art. 87 ustawy budżetowej na rok 2019. Po zawarciu umowy w sprawie zamówienia publicznego pomiędzy Gminą Pazardżik a EMEPA na realizację projektu na okres 10 miesięcy na rekultywację techniczną i 3 lata na rekultywację biologiczną. Realizacja projektu rozpoczyna się jesienią 2019 roku. W 2019 roku prowadzone są głównie działania na rzecz ponownej utylizacji odpadów oraz budowy instalacji dla zanieczyszczonej wody. W 2020 roku zakończono prace w zakresie unieszkodliwiania i ukształtowania powierzchni składowiska oraz wybudowano instalację gazową, ekran izolacyjny i osłonę techniczną. Rekultywację biologiczną przeprowadzono pod koniec 2020 r. - przygotowanie gleby terenów pod rekultywację i zasiew nasion. Zimą 2020-2021 prowadzono głównie prace wykończeniowe - rowy melioracyjne i przyłącze gazowe. Proces rekultywacji terenów trwa do 3 lat, szczególnie jeśli chodzi o ochronę roślinności. Rekultywacja biologiczna będzie realizowana w latach 2021, 2022 i 2023.

Istniejące stare nieuporządkowane składowisko gminy Pazardżik znajduje się 12 km na południe od miasta, 1 km na południowy wschód od wsi Aleko Konstantinovo i około 1,8 km na południe od wsi Glavinitsa, obszar „Baira” (zdjęcie 1). Do miejsca można dojechać drogą nieutwardzoną do wsi Kapitan Dimitriewo i Bratsigovo. Z biegiem lat nieuporządkowane składowisko stwarzało problemy dla okolicznych wiosek. Wraz z ociepleniem i zmianą pogody, powstały idealne warunki do samozapłon odpadów. Ze względu na samoistne spalanie odpadów, składowisko systematycznie zanieczyszcza emisją z tego spalania cztery pobliskie wsie - Kapitan Dimitriewo, Debrashtitsa, Aleko Konstantinovo i drogi w okolicy. Problem samozapłonu

jest niezwykle złożony, zwłaszcza że składowisko otwarte Pazardzhik jest jednym z najważniejszych miejsc pod względem stężenia i ilości biogazu zawartego pod powierzchnią składowiska. Od ponad 30 lat jego istnienie narusza wszelkie normy i wymagania. Niszczy obszary chronione Natura 2000, na których się znajduje, zanieczyszcza tereny rolnicze, które znajdują się obok. Część odpadów spada bezpośrednio na drogę i jest przenoszona przez wiatr prosto na pola i plantacje – papier, worki foliowe i nie tylko.



**A.**



**B.**

Rysunek 1. Lokalizacja nieuporządkowanego składowiska w gminie Pazardzhik: A. Mapa lokalizacji miasta Pazardzhik i wsi Aleko Konstantinowo. B. Ziemia wsi Aleko Konstantinowo

Nieuporządkowane składowisko jest eksploatowane bez budowy dolnej warstwy izolacyjnej, systemu drenażowego wody filtracyjnej lub innych środków ograniczających rozprzestrzenianie się odpadów lub substancji niebezpiecznych uwalnianych z procesów rozkładu odpadów. Odpady zrzucane są bezpośrednio na grunt w użytkowanych przestrzeniach dwóch kamieniołomów. Nieuporządkowane składowisko było eksploatowane bez żadnych środków w celu ochrony gleb, wód gruntowych i gleby przed zanieczyszczeniem z powodu składowania odpadów na terenie, nie wybudowano rowów zabezpieczających itp.

Nieuporządkowane składowisko, będące przedmiotem projektu „Zamknięcie i rekultywacja istniejącego starego składowiska w gminie Pazardzhik, na terenie wsi Aleko Konstantinowo”, znajduje się na liście składowisk otwartych w postępowaniu karnym za naruszenie № 2012/2082 za niewypełnienie obowiązków Republiki Bułgarii zgodnie z art. 14 dyrektywy Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów. W wyniku przetwarzania danych i obliczeń istniejące nieuporządkowane składowisko jest klasyfikowane i zaliczane do IV grupy ryzyka z oceną ryzyka powyżej 8, składowiska o bardzo wysokim ryzyku oddziaływania na glebę

i wody gruntowe. Planowano przeprowadzenie zamknięcia zgodnie z modelem „C” utylizacji odpadów „in-situ”, zgodnie z metodologią oceny ryzyka powstałych zanieczyszczeń.

#### *Plan sytuacyjny terenu przed wypełnieniem*

Teren składowiska nie został zabezpieczony. Ma płaską część i bardzo strome zbocze południowo-zachodnie. Na całym zboczu występują pęknięcia i osuwiska. Wymaga to obowiązkowego ponownego przywrócenia do stanu bezpiecznego w celu utworzenia niezbędnych skarp, aby to zabezpieczyć. Składowisko służyło do unieszkodliwiania odpadów komunalnych i podobnych, osadów z oczyszczalni ścieków, osadów z działalności produkcyjnej, a także odpadów budowlanych z wykopów, rozbiórek i przebudowy budynków. Przez cały rok na płaskowyżu tlił się nieznanego składu dym, przedostawał się do środowiska szlam i odpady, a także nieprzyjemne zapachy. Obszar z nieczystościami płynnymi zdeponowanymi w najbardziej na zachód wysuniętej części składowiska został wypełniony w latach 2016-2017 odpadami stałymi o dużej objętości by zniwelować przedostawanie się postaci płynnej w głąb gleby.



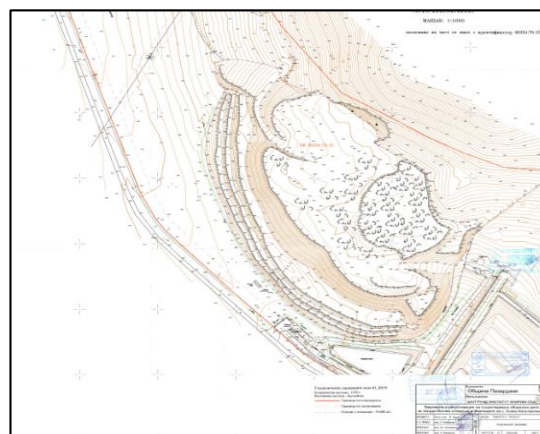
## Rysunek 2. Nieuporządkowane składowisko na ziemi Aleko Konstantinovo

(Photos source: <https://www.monitor.bg/bg/a/gallery/rekultivirat-staroto-smetishte-v-pazardjik-183241?gallery=0>;  
<https://kmeta.bg/smetisteto-kraj-pazardjik-obgazyava-chetiri-sela>; <https://evromegdan.bg/448>)

Według danych geodezyjnych istniejące składowisko odpadów zostało zbudowane na kilku poziomach na skarpie o ekspozycji południowo-zachodniej. Wykorzystane przestrzenie dwóch kamieniołomów marmuru zostały wstępnie wypełnione przez odpady. Sposób, w jaki składowanie odpadów było prowadzone przez lata, był nieprawidłowy, przez co powstały strome skarpy. W rezultacie w kilku miejscach doszło do osuwisk spowodowanych dużą wysokością stromego zbocza i odprowadzaniem nieczystości płynnych. Miąższość nagromadzonych odpadów waha się od 2,0 do 38,0 m. W trakcie badań geodezyjnych w styczniu 2019 r. stwierdzono, że na terenie rekultywacji (92 ha) uformowało się kilka warstw odpadów o różnej wysokości nagromadzenia: podstawa główna składowiska otwartego o wysokości nagromadzenia odpadów 30-38 m; Sola niska północno-zachodnia, na której składowane są nieczystości płynne, o powierzchni 12 500 m<sup>2</sup>. Stare składowisko odpadów gminy Pazardżik składa się z części płaskiej (plateau), o bardzo niskim nachyleniu, na powierzchni której w wielu miejscach występuje sedymentacja, retencja wód powierzchniowych i rozwój roślinności. Południowo-zachodni główny stok składowiska ma spadki 1/1,1. Decyzję o pionowym planowaniu zagospodarowania terenu podjęto biorąc pod uwagę dopuszczalne nachylenia skarpy do rekultywacji oraz bilans odpadów. Rzuty pionowe i ogólne projektu przedstawiono na rysunku 3.



A.



B.



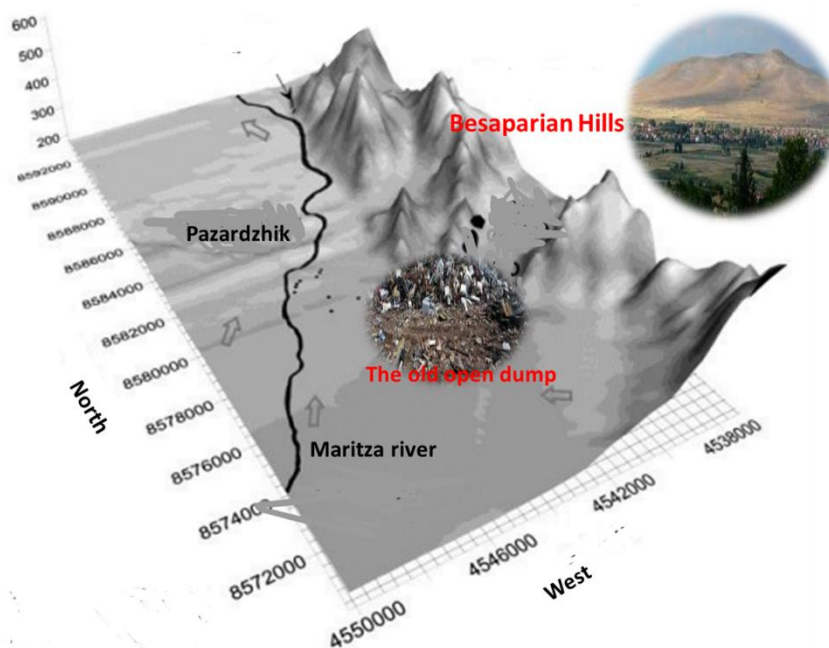


C.

Rysunek 3. Istniejące części składowiska na terenie Aleko Konstantinovo A. Planowanie pionowe terenu; B. Pomiary geodezyjne; C. Plan ogólny terenu, który ma być zrekultywowany.

#### *Badania geologiczne i hydrogeologiczne*

Nieuporządkowane składowisko odpadów stałych komunalnych w mieście Pazardżik, znajduje się w obszarze krasowego poziomego wodonośnego znanego w literaturze jako basen krasowy Perushtitsa-Ognyanovski (Antonov i Danchev, 1980). Horyzont składowiska tworzą marmury krasowe i wapień marmurkowe z obszaru marmurowego Dobrostan. Niecka tego obszaru jest umiejscowiona przy wzniesieniu Rodopu Północnego, antyklinu między rzekami Czepińską i Vachą. W wyniku ruchów tektonicznych część bloków skalnych jest zakopana w głąb powierzchni, a inne wychodzą na zewnątrz. Nieuporządkowane składowisko znajduje się w otwartej północno-zachodniej części niecki, w rejonie wzgórz Besaparów (rys. 4) – zbudowane z marmuru konstrukcje przeplatane gnejsami i łupkami gnejsowymi. Marmurowy kompleks jest intensywnie spękany i krasowy. Według danych z wiercenia podłoża geologicznego na składowisku stwierdzono, że górna część wcięcia wykonana jest z glin piaszczystych o miąższości od 0,3 m do 12-15 m. Pod gliną znajduje się podstawa skalna z marmurów, a w północno-wschodniej części odcinka łupki gnejsowe.



Rysunek 4. Lokalizacja istniejącego nieuporządkowanego składowiska na terenie Aleko Konstantinovo (na podstawie Stoyanov, Dimovski, 2016).

Odpady składowane są w starym kamieniołomie marmuru bez układania warstwy izolacyjnej. Stwarza to dogodne warunki do wprowadzania ścieków w głąb gleby i zanieczyszczenia wód gruntowych. Funkcjonowanie tego nieuporządkowanego składowiska zakończyło się w 2017 r., a podczas rekultywacji ułożono ekran izolacyjny, który zapobiega infiltracji wód opadowych i powierzchniowych oraz znacznie zmniejsza wytwarzany odciek.

Na terenie dawnej odkrywki przeprowadzono badania tomografem elektrycznym w celu zbadania budowy hydrogeologicznej i zlokalizowania stref krasowych w kamieniołomie i miejscu składowiska. Za pomocą matematycznych modeli hydrogeologicznych 2D zasymulowano migracje różnego typu zanieczyszczeń mobilnych (np. Cl i NH<sub>4</sub>) w strefie aeracji i strefie nasyconej wodą. Dokonano oceny skażenia nieuporządkowanego składowiska Aleko Konstantinovo, a także długoterminowej oceny ruchów migracyjnych po jego rekultywacji. Zgodnie z wynikami badań hydrogeologicznych z modelu, wielkość przepływu infiltracyjnego poniżej dna zwałowiska jest funkcją przepuszczalności geologicznej oraz istnienia lub braku barier inżynierskich. Warstwa gliniasto-piaszczysta, która pokrywa kompleks skalny, marmury krasowe i łupki gnejsowe, jest głównym sposobem transportu zanieczyszczeń. Duża miąższość strefy aeracji (około 20-25 m i więcej) odgrywa kluczową rolę w spowalnianiu migracji. Symulacje sugerują, że toksyny z nieuporządkowanego składowiska przedostają się do wód



gruntowych przez niewielki obszar krasowy w centralnej części składowiska o szerokości 50-70 metrów. Woda nie przekracza strefy napowietrzania poza otwartym obszarem zrzutu. Wysoce aktywne zanieczyszczenia (Cl) migrują w głąb podłoża z dużą szybkością, która jest proporcjonalna do szybkości przepływu infiltracyjnego. Przez około 25 lat po rozpoczęciu działalności składowiska, zanieczyszczenia te trafiają do wód podziemnych. Procent Cl w zanieczyszczonych wodach gruntowych wynosi około 25% w tym czasie i po zamknięciu nieuporządkowanego składowiska. Zanieczyszczenia niskoaktywne (NH<sub>4</sub>) migrują znacznie wolniej, dlatego skażony obszar jest znacznie mniejszy. W końcowej fazie funkcjonowania nieuporządkowanego składowiska pierwsze „porcje” NH<sub>4</sub> trafią do wód gruntowych. Po zamknięciu zanieczyszczenie będzie nadal docierać do strefy nasyconej wodą, chociaż w bardzo niskich stężeniach (około 4-5%).

#### **4. Proces rekultywacji**

W procesie rekultywacji składowiska opisano pięć etapów. Obejmuje ona następujące czynności: prace przygotowawcze i tymczasową budowę; ponowne unieszkodliwianie odpadów; budowa systemu filtracji wody; działania związane z budową systemu wychwytywania i odprowadzania gazów; budowa warstw izolacyjnych; budowa warstwy rekultywacyjnej na wszystkich planowanych terenach; budowa warstwy humusu; rekultywacja biologiczna; rowy melioracyjne; prace wykończeniowe; rekultywacja biologiczna – koszenie i spalanie; rekultywacja biologiczna – nawożenie; monitorowanie terenu. Proces realizowany jest zgodnie z wymaganiami określonymi w planie monitoringu własnego nieuporządkowanego składowiska w gminie Pazardzik oraz Specyfikacją Techniczną dotyczącą wymagań odnośnie materiałów wejściowych, wstępnego unieszkodliwiania odpadów, budowy górnej warstwy uszczelniającej, drenażu dolnej warstwy i wymagania dotyczące materiałów syntetycznych.

##### **4.1. Etap 1**

Prace przygotowawcze obejmują wytyczenie, utworzenie tymczasowej drogi dojazdowej do terenu składowiska, od drogi Pazardzik - Pesztera, nad terenami pod instalację podczyszczania i kompostowania odpadów, budowę urządzeń do odprowadzania wód powierzchniowych i infiltracyjnych, budowa drenażu rów do odbioru wód filtracyjnych i wykonanie systemu ich odbioru oraz rowów zabezpieczających do odcinania dopływu ścieków z terenów sąsiednich.

##### **4.2. Etap 2**

Wstępne unieszkodliwianie odpadów – zagęszczanie wstępnie zdeponowanych odpadów i uformowanie odpowiedniego kształtu składowiska – rekultywacja powierzchni składowiska.

*Wykopy i składowanie odpadów*

Wykopy prowadzone na terenie składowiska, służą głównie kształtowaniu powierzchni, która została zaprojektowana w ramach rekultywacji. Zaplanowano wydobycie i ponowne składowanie 100 000 m<sup>3</sup> odpadów. Ponowne kształtowanie powierzchni polega na wykopaniu łuku skarpy bryły składowiska i wstępnej utylizacji odpadów na płaskiej części składowiska, która tworzy podstawę pod skosy projektowe korpusu składowiska. Najistotniejsze są wykopy wzdłuż łuku głównego skarpy, a także w północno-zachodniej części nieuporządkowanego składowiska – miejsca składowania najkrócej składowanych odpadów od 2016-2017. Na tych terenach wykopy sięgają nawet 7,0 metrów. Ponowne unieszkodliwianie i usypywanie odpadów odbywało się głównie wzdłuż trasy starej drogi eksploatacyjnej odkrywki kamieniołomu - po stronie wschodniej, a także na płaskowyzu do wyrównania i zasypania powierzchni zgodnie z projektem rekultywacji. Odpady przykryte są warstwami o wysokości 60 cm i zagęszczane za pomocą wałka podczas wstępnego układania. Poziom osiadania odpadów mierzy się przy użyciu przyrządów geodezyjnych i w miejscu wyznaczonym na próby (zagęszczenie doświadczalne) oblicza się poziom osiadania odpadów i liczbę otworów. Wyrównanie i zagęszczenie odpadów resztkowych u podstawy składowiska, a także ukształtowanie nawierzchni - wzniesienia, spadki poprzeczne i podłużne - to część przygotowania powierzchni do procesu rekultywacji. Dla każdej warstwy pokrycia składowiska punkty odniesienia muszą być takie same. Aby zabezpieczyć składowisko przed opadami i wodami z okolicznych terenów, w glebach skalistych prowadzono wykopy pod budowę rowów odprowadzających wodę. Lokalizacja składowiska, będącego częścią nieruchomości gruntowej o identyfikatorze 00254.70.15 na terenie Aleko Konstantinowo, jest objęta obszarem Natura. Dzięki temu, wyrobiska skalne nie powstały przez użycie środków wybuchowych. Zamiast tego zostały wykonane mechanicznie za pomocą buldożera i koparki młotowej.

#### *Urządzenia do wychwytywania i oczyszczania wód filtracyjnych i warunkowo czystych wód*

*System zbierania zanieczyszczonej wody infiltracyjnej* - przed rozpoczęciem prac budowlanych związanych z odwodnieniem należy zastosować tymczasowe urządzenia odwadniające, zapewniające szybkie odprowadzenie wody powierzchniowej i bieżącej poza składowisko odpadów. System zbierania wód infiltracyjnych starego składowiska odpadów stałych składa się z rowu odwadniającego wypełnionego materiałem drenażowym oraz zbiornika gromadzącego filtrowaną wodę. Materiał rowu melioracyjnego składa się z podsypki rzecznej o odpowiednim uziarnieniu, zapewniającym współczynnik filtracji większy lub równy  $1 \times 10^{-3}$  m/s, który jest stabilny podczas wieloletniej eksploatacji nieuporządkowanego składowiska oraz zawartość węglanów do 10 % masy.

*System rowów dla wody warunkowo czystej* - składa się z odwodnienia powierzchniowego dla wody warunkowo czystej oraz systemu rowów do wychwytywania i odprowadzania wód powierzchniowych. Jako alternatywę dla warstwy drenażowej z materiałów naturalnych - żwiru zastosowano geokompozyt drenażowy. Składa się z elementu konstrukcyjnego prowadzącego

wodę wzdłużnie oraz jednej lub dwóch geowłóknin, które mają działanie filtracyjne. Odprowadzanie wód odprowadzonych z drenażu odbywa się poprzez drenaż obwodowy w okolicy południowo-zachodniego stoku zrehabilitowanego terenu. Składa się z polietylenowych rur drenażowych owiniętych geokompozytem drenażowym (rysunek 5). Woda z kanalizacji obwodowej odprowadzana jest do rur polietylenowych, ułożonych prostopadle do kanalizacji obwodowej, co najmniej 0,2 metra w głąb terenu. Utworzono również rowy do odprowadzania wód powierzchniowych, które pełnią następujące funkcje - ochrony zmeliorowanej powierzchni przed ściekami z innych terenów, wychwytywania i odprowadzania wody z powierzchni terenu rekultywacji oraz jej ochrony przed erozją.



Rysunek 5. Plan powierzchni rekultywacji.

#### *System wychwytywania i odprowadzania gazu*

Utylizacja odpadów komunalnych na składowisku to przede wszystkim proces biologiczny, w którym materia organiczna jest przekształcana w nieorganiczną pod wpływem bakterii beztlenowych. Proces rozkładu związany jest z produkcją biogazu, który w większości składa się z metanu i dwutlenku węgla, z niewielkimi ilościami innych gazów. Odpady komunalne zazwyczaj zawierają od 120 do 190 kg węgla na tonę odpadów mokrych, o wartości opałowej od 3,5 do 5,5 kWh/m<sup>3</sup>. Stosunek C/N jest kluczowy dla biologicznych procesów degradacji materii organicznej obecnej w stałych odpadach komunalnych. Zawartość materii organicznej nie charakteryzuje właściwie procesów degradacji, ponieważ nie odzwierciedla zawartości węgla organicznego i azotu, wykorzystywanych przez rozkładające się mikroorganizmy. W wyniku aktywności metabolicznej obecnych mikroorganizmów beztlenowych uwalniane są gazy, takie jak metan, siarkowodór, wodór i inne. Skład gazu składowiskowego zawiera około 55% obj. metanu

(CH<sub>4</sub>), 45% obj. dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), poniżej 1% obj. mikroelementów, ponieważ średni stosunek metan/dwutlenek węgla wynosi około 1,2 do 1,5.

Ilość odpadów na składowisku to 2 200 000 ton, przy potencjale gazowym 140 m<sup>3</sup>/tonę. Całkowita ilość wytwarzanego gazu składowiskowego zależy od ilości i morfologii odpadów, rodzaju składowiska odpadów, procedur operacyjnych itp. Zgodnie z prognozą dla tego składowiska ilość wytwarzanych gazów szacuje się na 500 m<sup>3</sup>/godz. Rozważana jest budowa aktywnego stałego systemu gazowego ze względu na duże nagromadzenie odpadów i duży potencjał do jego wykorzystania. System składa się z ośmiu odwiertów gazowych połączonych liniowymi drenami gazu i rurociągiem dla spalin (88 metrów) z instalacją do utylizacji wychwyconych gazów zrzutowych (rys. 6). Studnie gazowe są głębokimi otworami wiertniczymi w usypanych na składowisku odpadach, które są wypełnione materiałem drenażowym i mają rurę drenażową biegnącą przez końcowe 3 metry instalacji. Całe studnie mają głębokość 15 metrów. Eksploatacja tego rodzaju nieuporządkowanego składowiska (stare nieuporządkowane składowisko z pasywnym systemem gazowym, który jest budowany na etapie likwidacji i rekultywacji składowiska), wykazuje skuteczność systemu wychwytywania gazu składowiskowego, która wynosi od 40 do 60% maksymalnego potencjału gazowego. W szczególnym przypadku przyjmuje się 50 %, a w celu zmniejszenia strat ciśnienia podczas transportu gazu przyjmuje się prędkość projektową 7 m/sek. W trakcie procesu wstępnego unieszkodliwiania odpadów w celu uformowania bryły składowiska do rekultywacji, nagromadzone wewnątrz gazy nieuporządkowanego składowiska będą częściowo uwalniane do atmosfery, napowietrzając odpady i zmieniając przy tym fazę procesy rozkładu. Przez te procesy zmniejszy się też ilość gazu potencjalnego do pozyskania. Istnieje sześć możliwych sposobów zagospodarowania gazu składowiskowego z nieuporządkowanego składowiska:

- odbiór i oczyszczenie gazu oraz wykorzystanie go jako paliwa
- wykorzystanie do produkcji energii na miejscu
- unieszkodliwianie poprzez spalanie we flarze
- technologie katalitycznego, termicznego utleniania metanu w gazie
- bio-utlenianie (biofiltry) i uwalnianie do atmosfery
- bezpośrednie uwalnianie do atmosfery

W przypadku tego nieuporządkowanego składowiska usuwanie gazu odbywa się poprzez wysokotemperaturowe spalanie w warunkach do 1200°C, przy jednoczesnym zapewnieniu z góry określonego czasu przebywania w komorze spalania gazów spalinowych.



Rysunek 6. Plan instalacji gazowej

### 4.3. Etap 3

Rekultywacja na nowo powstałej bryle składowiska, przygotowanej pod proces rekultywacji nawierzchni obejmuje: warstwę wyrównującą, bentonitową warstwę hydroizolacyjną i uszczelniającą, układanie warstwy rekultywacyjnej, warstwę gruntów próchnicznych.

#### *Budowa warstwy wyrównującej*

W celu rekultywacji na otwartej powierzchni składowiska ułożono warstwę wyrównawczą o grubości 0,2 m. Zawiera ona gleby o maksymalnym uziarnieniu do 63 mm. Do budowy warstwy wyrównującej wykorzystano zanieczyszczone gleby z nieuporządkowanego składowiska oraz ustabilizowane i zmineralizowane szlamy z oczyszczalni ścieków o zawartości suchej masy co najmniej 55%. Warstwę wyrównuje się buldożerem, aby stworzyć podstawę do układania hydroizolacji bentonitowej. Jako element izolacyjny zastosowano geosyntetyczną warstwę gliny (GCL). Hydroizolacja bentonitowa zawierała minimum 4,5 kg/m<sup>2</sup> bentonitu sodowego. Rolki hydroizolacji bentonitowej mają szerokość 4,50 metra, aby zmniejszyć straty i liczbę połączeń podczas układania nawierzchni. Powierzchnię warstwy wyrównującej należy oczyścić z resztek materiałów budowlanych, korzeni krzewów i drzew, kamieni. Powierzchnia musi być wyrównana

spychaczem i osuszona, nie może być na niej zalegającej wody powierzchniowej i nie może być nieutwardzona. Pod hydroizolacją bentonitową układa się warstwę gruntu o grubości 20 cm, aby zapewnić warunki zapobiegające usuwaniu się bentonitu z izolacji, a także zacieśnić i zabezpieczyć hydroizolację przed wysychaniem. Na płyty bentonitowe w stanie nieuszczelnionym nałożono warstwę materiału mineralnego o grubości około 20 cm. Ta warstwa mineralna chroni materiał uszczelniający przed pęcznieniem w wilgotnych warunkach oraz przed starzeniem się w środowisku składowiska. Do budowy tej warstwy doszczelniającej zużyto 19 806 m<sup>3</sup> gruntu. W górnej warstwie izolacyjnej przewidziano również ułożenie geokompozytu drenażowego. Drenaż ten jest w stanie przetransportować objętość wody na poziomie 0,2 l/s/m przy nachyleniu  $i=0,1$  i obciąża 20 kPa rury drenażowe. Usuwanie wód zebranych z drenażu odbywa się poprzez wbudowany drenaż obwodowy w części południowo-zachodniego składowiska. Woda z kanalizacji obwodowej odprowadzana jest do rur polietylenowych (PE 100 PN 10, DA 110 mm) ułożonych prostopadłe do kanalizacji obwodowej co najmniej 0,2 m do wewnątrz. Na obrzeżu składowiska, w odległości 25 m zlokalizowane są rury drenażowe.

#### *Warstwa rekultywacyjna*

Warstwa rekultywacyjna (0,70 m) została nałożona na warstwę uszczelniającą hydroizolacji bentonitowej. Niezbędną ziemię dostarczono częściowo z wykopów podczas ukształtowania terenu instalacji podczyszczania zmieszanych odpadów komunalnych oraz instalacji do kompostowania selektywnie zbieranych odpadów zielonych i biodegradowalnych w zachodniej części nieruchomości 00254.70.15, na terenach ziemi Aleko Konstantinowa.

#### *Warstwa humusu*

Przy nakładaniu warstwy humusu wykorzystano materiały z ziemi humusowej z przygotowania terenu pod instalacje podczyszczania zmieszanych odpadów komunalnych oraz kompostowania selektywnie zbieranych zielonych odpadów biodegradowalnych. Materiały gruntowe użyte do budowy warstwy humusowej zawierały węgiel organiczny co najmniej 0,6%, a zawartość próchnicy była równa lub większa niż 1%. Aby ochronić przyszłą roślinność przed szkodliwymi skutkami, ziemia użyta do rekultywacji, nie może być zanieczyszczona metalami ciężkimi oraz substancjami toksycznymi.

### **4.4. Etap 4**



Następny etap obejmuje: budowę obiektów i techniczne wykonanie rowów rekultywacyjno-zabezpieczeniowych oraz punktów monitoringu, a także budowę obiektów przyłączenia systemu gazowego starego składowiska do instalacji wysokotemperaturowego spalania gazu składowiskowego na terenie nowego Składowiska Regionalnego 1, Pazardzhik 1 oraz przemieszczenie ogrodzenia na tym odcinku, umieszczenie torfu.

#### **4.5. Etap 5**

Na etap 5 składa się rekultywacja biologiczna z planowaną uprawą roli, nawożeniem mineralnym i wysiewem nasion oraz pielęgnacja uprawy w okresie trzech lat (2019-2021). Celem technicznej i biologicznej rekultywacji starego nieuporządkowanego składowiska na gruntach wsi Aleko Konstantinovo było wkomponowanie w otaczający krajobraz oraz wykorzystanie zregenerowanych gruntów jako zielone użytki. Przedmiotem rekultywacji biologicznej była nowo powstała bryła nieuporządkowanego składowiska. Ze względu na niezdefiniowane procesy zachodzące w bryle składowiska – osiadanie, emisja gazów, produktów płynnych, materiałów toksycznych, które są czynnikami niekorzystnymi dla rekultywacji, nie przewiduje się wykorzystania wydobytych odcinków składowiska do celów rolniczych lub zalesiania. Jednym z kluczowych celów rekultywacji tego składowiska, które nie spełnia wymogów regulacyjnych, jest przywrócenie naruszonego terenu, rzeźby terenu i krajobrazu obszaru do akceptowalnej formy zbieżnej z koncepcją otoczenia. W wyniku rekultywacji ma nastąpić poprawa warunków sanitarno-higienicznych terenu, a zreultywowane grunty zostaną zintegrowane ze środowiskiem.

Powierzchnia rekultywacji technicznej i biologicznej nowo powstałego składowiska wynosi odpowiednio 95 336 m<sup>2</sup> (jako 2D) lub 99 030 m<sup>3</sup> jako powierzchnia pochyła (jako 3D). Łącznie potrzeba 99 030 m<sup>3</sup> materiałów gruntowych, z czego 29 709 m<sup>3</sup> to grunty humusowe (grubość warstwy 0,3 m) oraz 69 321 m<sup>3</sup> masy ziemne. Warstwy te rozprowadza się stopniowo i sekwencyjnie na przygotowanych powierzchniach. Wieś Aleko Konstantinovo znajduje się w agroekologicznym regionie Pazardżik-Płowdiw. Obejmuje zachodnią część niziny trackiej. Nieuporządkowane składowisko znajduje się na stokach południowych i południowo-zachodnich na zachodnim krańcu wzgórz Besaparski. Wysokość terenu wynosi 270 m. Rzeźba terenu jest płaska i determinuje procesy związane ze składowaniem odpadów, procesy erozyjne w tym miejscu są bardzo słabe. Klimat jest przejściowy, ze średnią roczną temperaturą między 8-9°C na nizinach i około 5°C na wyżynach.

Według bułgarskiego podziału na strefy geobotaniczne, składowisko znajduje się w okręgu Górnej Tracji macedońsko-trackiej prowincji europejskiego obszaru lasów liściastych, między regionem Płowdiw a pogórzem Rodopów. Współczesną roślinność na terenie obiektu tworzą mikrogrupy, pochodne traw i krzewów trawiastych. Na terenie rosną również w małej ilości rośliny lecznicze. Na terenie nie zidentyfikowano lokalnych i chronionych gatunków roślin. W tym regionie geograficznym pokrywa glebowa jest zróżnicowana, dominują gleby łąkowo-łąkowe, cynamonowo-bielicowe, żywiczne, cynamonowo-leśne i zasolone. W rejonie składowiska nie występują typowe gleby żywiczne.

#### *Budowa warstwy humusu do rekultywacji biologicznej*

Do zbudowania górnej warstwy do rekultywacji nieuporządkowanego składowiska potrzeba 29 709 m<sup>3</sup> gleb humusowych. Część ziemi niezbędnej do tego (14 880 m<sup>3</sup>) zostało dostarczone podczas przygotowań na terenie budowy instalacji do podczyszczania zmieszanych odpadów komunalnych (11 320 m<sup>3</sup>) oraz instalacji do kompostowania selektywnie zbieranych odpadów zielonych i biodegradowalnych (4 560 m<sup>3</sup>) w ramach prac gruntowych i wydobywczych. Jako źródło do dostarczenia pozostałej ilości ok. 14 829 m<sup>3</sup> gleb humusowych zostaną wykorzystane tereny zapory Ovchepoltsi (ok. 60 dekarów), na której ta gleba występuje. Gleba jest przebadana i przeanalizowana w akredytowanym kompleksie laboratoryjnym do badań na Akademii Rolniczej - Płowdiw. Analizowano ją pod kątem pH, azotu, fosforu i węgla organicznego, a także metali ciężkich i niemetalu. Zidentyfikowano dzięki temu potrzebę dodatkowego nawożenia nawozami mineralnymi ze względu na obserwowany niedobór azotu (od 4,61 mg/kg do 14,24 mg/kg suchej masy, w dawce 10-20 mg na 100 g suchej masy - gleby do dobrego lub bardzo dobrego przechowywania). Alternatywą jest zastosowanie nawozów organicznych, które wyrównają niski poziom potrzebnych substancji w warstwach subhumusowych. Miąższość warstwy melioracyjnej wynosi 1,0 m warstwy gleby, z czego 0,30 m stanowią gleby próchniczne.

Etapy budowy warstwy rekultywacyjnej były następujące:

- ułożenie 70 cm podłoża,
- ułożenie 30 cm gleby próchnicznej.

Ponieważ rekultywacja biologiczna polega na zazielenieniu powierzchni, przewiduje się stworzenie dogodnych warunków do wzrostu, uprawy roli, nawożenia mineralnego, wysiewu

nasion, przestrzegania terminów i głębokości siewu oraz pielęgnowania trawników przez okres 3 lat.

Czynności związane z uprawą są bardzo ważne dla efektywnego kiełkowania nasion i rozwoju roślinności trawiastej. Nasiona należy wysiewać na głębokości 2 cm, a odpowiedni termin siewu przypada na wiosnę.

Nawożenie prowadzono uniwersalnymi i odpowiednimi nawozami mineralnymi, zgodnie ze specyfiką regionu – saletrą amonową i superfosfatem potrójnym, zawierającymi odpowiednio 34% N i 45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Mieszanki traw stosowane do biologicznej rekultywacji składowiska działają wzmacniająco i są odporne na czynniki edaficzne. Gatunki traw muszą być odporne na suszę i być mało wymagające pod względem zawartości składników w glebie. Wybór dokonywany jest w zależności od lokalnego klimatu, warunków glebowych i celu wysiewu. Do biologicznej rekultywacji składowiska wykorzystano gatunki *Poa patensis* (20%), *Festuca rubra* (50%), *Dactylis glomerata* (20%), *Bromus inermis* (10%) (ryc. 7). Gatunki te są odporne na suszę, mają głęboki system korzeniowy.



Rysunek 7. Gatunki traw wykorzystywane w rekultywacji biologicznej składowiska otwartego Aleko Konstantinovo: A. *Poa patensis*; B. *Festuca rubra*; C. *Dactylis glomerata*; D. *Bromus inermis*

Wymagane ilości mieszanek traw do rekultywacji nieuporządkowanego składowiska wynoszą 2970,9 kg. Ze względu na brak sprzyjających warunków środowiskowych i niegwarantowane zatrzymywanie wilgoci w warstwie melioracyjnej, krawędzie skarp składowiska pokryte są pasami roślinności o szerokości 1m.



Rysunek 8. Widok zrekultywowanego nieuporządkowanego składowiska w Aleko Konstantinovo

#### **4.6. Monitoring nieuporządkowanego składowiska na terenie gminy Pazardżik**

Plan kontroli i monitoringu składowiska otwartego na podstawie art. 40 ust. 1 pkt. 1 rozporządzenia nr 6/27.08.2013 odbywa się w trakcie eksploatacji nieuporządkowanego składowiska oraz po jego zamknięciu. Zawiera minimalne wymagania niezbędne do monitorowania i kontroli nieuporządkowanych składowisk, w tym zapewnienia ochrony elementów środowiska poprzez dolne i górne warstwy izolacyjnie oraz układ odbioru gazu składowiskowego. Monitoring obejmuje kontrolę i pomiary w określonej liczbie punktów, częstotliwość pomiarów oraz kontrolę określonych parametrów.

W przypadku nieuporządkowanego składowiska na terenie wsi Aleko Konstantinovo monitorowany jest jedynie wpływ składowiska na elementy środowiska po jego zamknięciu i rekultywacji.

##### *Kontrola topografii zrekultywowanego nieuporządkowanego składowiska*

Monitorowanie topografii nieuporządkowanego składowiska ma na celu ustalenie osiadanie składowiska. Przyczyny występowania deformacji mogą być różne - geologiczne, hydrogeologiczne, klimatyczne itp. W tym przypadku ważne jest ustalenie, czy występują deformacje i na jakim poziomie. Na terenie składowiska ustabilizowano łącznie 5 reperów niwelacyjnych na różnych wysokościach. Repery obserwowane są z punktów bazowych i znajdują się w strefie prawdopodobnych odkształceń. Na terenie zrekultywowanego nieuporządkowanego składowiska zastosowano łącznie 14 reperów zlokalizowanych na najwyższych wysokościach

składowiska (maksymalna objętość odpadów w bryle składowiska) i po obu stronach stromych zboczy składowiska.

#### *Monitoring emisji substancji szkodliwych do atmosfery*

Elementem monitorowania podczas rekultywacji jest również stan powietrza na terenie nieuporządkowanego składowiska w gminie Pazardzhik, przy czym brane są pod uwagę dwa okresy: okres przed rozpoczęciem składowania odpadów; okres po wybudowaniu systemu odbioru, usuwania i uzdatniania gazu składowiskowego oraz po wykonaniu wierzchniej warstwy izolacyjnej na powierzchni składowiska. Substancje szkodliwe uwalniane ze źródeł stacjonarnych na terenie nieuporządkowanego składowiska odpadów stałych nie podlegają pomiarom ciągłym. Substancje te podlegają tylko okresowym pomiarom. Kontrola i monitoring ilości i składu emisji gazów (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) po zamknięciu nieuporządkowanego składowiska odbywa się co 6 miesięcy. Sprawność systemu odbioru gazu składowiskowego jest stale sprawdzana.

Składowisko Monteschiantello w Fano (Włochy) - rekultywacja i zarządzanie pooperacyjne „Zbiornik 1”.

#### *Monitorowanie ilości i składu odcieków (Punkt pobierania próbek)*

Rekultywacja przewiduje wychwyt odcieków ze składowiska. W tym celu po jego południowo-zachodniej stronie znajduje się rów oraz zbiornik do gromadzenia wody odprowadzanej z terenu składowiska. Nie zaobserwowano wycieku odcieków poza przygotowany teren. Próbkę składu wody pobierane są ze zbiornika odcieków. Skład odcieków będzie monitorowany co sześć miesięcy po zamknięciu nieuporządkowanego składowiska. Monitorowane są następujące parametry: temperatura, kolor, zapach, wartość pH, przewodność elektryczna, tlen rozpuszczalny, przyswajalne organicznie związane halogeny, Mn, Fe, NO<sub>3</sub>, N, SO<sub>4</sub>, liczba drobnoustrojów, bakterie z grupy coli, produkty ropopochodne, cyjanki, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne itp.

#### *Monitorowanie ilości i składu wód powierzchniowych (Punkt pobierania próbek 2)*

Zgodnie z planem rekultywacji wykonano rowy w celu odprowadzania wody z powierzchni rekultywowanego składowiska oraz zabezpieczenia tej powierzchni przed nadmierną erozją. Punkt pobierania próbek 2 znajduje się za składowiskiem, jednak w miejscu, zanim woda ta z rowu wpłynie do rowu Zakładu Przeróbki Wstępnej i Kompostowania Odpadów Zmieszanych.

Monitorowanie wód powierzchniowych odbywa się za pomocą następujących wskaźników: odczyn, przewodnictwo elektryczne, azot organiczny, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, o-fosforany, Fe, Mn, Hg, fenole, Zn, Cr, Ni, Pb itp. Po rekultywacji na nieuporządkowanym składowisku monitoring wód powierzchniowych prowadzony jest co 6 miesięcy.

#### *Monitoring ilości i składu wód podziemnych (Punkt pobierania próbek 4)*

Stan chemiczny wód podziemnych określany jest w zależności od przewodności elektrycznej i stężenia zanieczyszczeń w wodach podziemnych. Wskaźniki, które mają być monitorowane:

- substancje, jony lub wskaźniki zanieczyszczenia pochodzenia naturalnego lub w wyniku działalności człowieka – Ar, Cd, Pb, Hg, NH<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>
- parametry pokazujące zasolenie w wyniku działalności człowieka – SO<sub>4</sub>, Cl, przewodnictwo elektryczne
- biorąc pod uwagę źródło potencjalnego zanieczyszczenia - pH, utlenialność nadmanganianem, twardość całkowitą, fosforany, azotany, Cu, Zn itp.

Po zamknięciu i rekultywacji nieuporządkowanego składowiska gminy Pazardżik, dwa razy w roku – w maju i listopadzie – należy pobierać próbki do kontroli stanu chemicznego wód podziemnych.

Zamknięcie nieuporządkowanego składowiska w pobliżu Pazardżik będzie miało pozytywny wpływ na powietrze, wodę, krajobraz, różnorodność biologiczną oraz na ludzi i ich zdrowie. Oczekuje się, że pozytywny wpływ będzie trwały i nieodwracalny.

#### **Literatura**

Antonov, Danchev. The Groundwater of the Republic of Bulgaria. Technique, 1980. - 360 p.

Nikolay Stoyanov, Stefan Dimovski (2016). Models of contamination in the karst aquifer caused by the old and the new landfill of Pazardzhik. Annual of the University of mining and geology “st. Ivan Rilski”, vol. 59, part I, Geology and Geophysics, 2016.

Working Project “Closure and reclamation of the existing old open dump for solid waste in the land of Aleko Konstantinovo village, Pazardzhik municipality” (Parts: Technical specifications; Geodetical survey; Gas capture system; Hydrotechnical and technical reclamation; Construction waste management plan; Biological reclamation, Plan for own monitoring);

<https://pazardzhik.bg/bg/zakrivane-i-rekultivatsiya-na-sashtestvuvash-to-staro-depo-za-otpadatsi/>.



Photos source:

[https://www.monitor.bg/bg/a/gallery/rekultivirat-staroto-smetishte-v-pazardjik-183241?gallery=0;](https://www.monitor.bg/bg/a/gallery/rekultivirat-staroto-smetishte-v-pazardjik-183241?gallery=0)

<https://kmeta.bg/smetisteto-kraj-pazardjik-obgazyava-chetiri-sela;>

<https://evromegdan.bg/448/%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%89%D0%B5%D1%82%D0%BE-%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B9-%D0%BA%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD-%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%BE/>