

**Studium uwarunkowań i kierunków działań w
sprawie zagospodarowania gazu
składowiskowego z kwatery 03 z możliwością
wykorzystania istniejącej infrastruktury instalacji
biogazowej MEB Kobierniki**

**PRZEDSIĘBIORSTWO GOSPODARKI ODPADAMI
W PŁOCKU SP. Z O.O.**

Opracował: dr inż. Rafał Lewicki

Sprawdził: dr inż. Marek Żelichowski




STYCZEŃ 2023

Prawa Autorskie

Publikacja Firmy Usługowej Marek Żelichowski (FUMŻ).

Publikację niniejszą przygotowano z należytą starannością, jednakże FUMŻ i jej dystrybutorzy nie biorą odpowiedzialności za możliwe nieścisłości.

Nic w tej publikacji nie powinno być traktowane jako oferta lub zobowiązanie ze strony FUMŻ, jeśli umowa nie stanowi inaczej.

Żadna część niniejszego opracowania nie może zostać reprodukowana, przechowywana lub przekazywana w jakikolwiek sposób i jakiejkolwiek formie elektronicznej czy kopii bez pisemnego zezwolenia posiadacza praw autorskich.

Wydanie 1.0, 12 stycznia 2023 r.

© Firma Usługowa Marek Żelichowski

ul. Długosza 1

41-219 Sosnowiec

Polska

Telefon: +48 322930737 Tel. kom.: +48 602234243

email: marek.zeli@gmail.com

Nazwa i logo FUMŻ są znakami firmowymi Firmy Usługowej Marek Żelichowski.

Wszystkie inne znaki firmowe są własnością wymienionych firm.

Niniejszy raport został przygotowany zgodnie z posiadaną wiedzą, należytą dokładnością i starannością w zakresie warunków umowy z Klientem i na podstawie uzgodnionego wysiłku i zaangażowania zasobów w projekt. FUMŻ nie ponosi żadnej odpowiedzialności w związku z zagadnieniami wykraczającymi poza ten zakres.

This Report has been prepared with reasonable skill, care and diligence within the terms of the agreement with the Client and based on the agreed effort and resource commitment to the project. We disclaim any responsibility in respect of any matters arising outside this scope.

SPIS TREŚCI

1. Podstawa opracowania.....	5
3. Wnioski i zalecenia.....	6
4. Dane wyjściowe opracowania.....	8
5. Model produkcji biogazu składowiskowego	13
6. Pomiary w studniach gazowych.....	19
7. Istniejący system odgazowania kwater zamkniętych	35
8. Koncepcje systemu odgazowania	42

SPIS TABEL

Tabela 1 Wykaz odpadów dopuszczonych do składowania (IPS)	8
Tabela 2 Roczne ilości odpadów zdeponowanych na kwaterze 03	10
Tabela 3 Prognoza produkcji biogazu składowiskowego – kwatera 03	15
Tabela 4 Prognoza całkowitej produkcji biogazu składowiskowego	18
Tabela 5 Wyniki pomiarów parametrów gazu na kwaterze 03	25
Tabela 6 Wyniki pomiarów stężenia siarkowodoru i tlenku węgla	26
Tabela 7 Wyniki pomiarów głębokości studni gazowych i temperatury złoża	26
Tabela 8 Omówienie i interpretacja wyników pomiarów.....	32
Tabela 9 Warianty koncepcyjne systemu odgazowania	46
Tabela 10 Oszacowanie kosztów infrastruktury wariantu 1.....	55
Tabela 11 Oszacowanie kosztów infrastruktury wariantów 2A i 2B.....	55
Tabela 12 Oszacowanie kosztów infrastruktury wariantów 3A i 3B.....	56

SPIS FOTOGRAFII

Fot. 1 Studnia gazowa na kwaterze 03	9
Fot. 2 Panorama kwatery 03 od strony zachodniej	19
Fot. 3 Pomiary parametrów gazu w studni	20
Fot. 4 Czyszczaaki drenażu odcieków	20
Fot. 5 Pomiar składu gazu w czyszczaku D-2.....	21
Fot. 6 Pomiar parametrów gazu w czyszczaku D-3.....	21
Fot. 7 Pomiar ciśnienia gazu w studni gazowej.....	22
Fot. 8 Pomiar prędkości przepływu gazu w studni gazowej	22
Fot. 9 Pomiar składu gazu w studni gazowej	23
Fot. 10 Pomiar stężenia siarkowodoru przy pomocy rurki Draegera	23
Fot. 11 Pomiar stężenia tlenku węgla przy pomocy rurki Draegera	24
Fot. 12 Pomiar głębokości studni i poziomu odcieków.....	24
Fot. 13 Badanie temperatury w studni (36,5°C)	25
Fot. 14 Widok na urządzenia do utylizacji gazu	35

Fot. 15 Zrzut ekranu stacji ssawy	35
Fot. 16 Pochodnia spalająca gaz z zamkniętych kwater	36
Fot. 17 Wnętrze stacji zbiorczej	36
Fot. 18 Wnętrze stacji ssawy	37
Fot. 19 Agregat kogeneracyjny z odsiarczalnikiem	37
Fot. 20 Widok na skarpę kwatery 02	38
Fot. 21 Pomiary parametrów gazu w studni gazowej S-13	38
Fot. 22 Parametry gazu w studni gazowej S-13	39

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 Lokalizacja infrastruktury gazowej i odciekowej na kwaterze 03 (Google Earth)	9
Rysunek 2 Lokalizacja kwater – składowisko Kobierniki (Google Map)	11
Rysunek 3 Lokalizacja studni gazowych na kwaterze 03 (wycinek z mapy PGO Płock)	12
Rysunek 4 Wykres prognozy produkcji biogazu składowiskowego – kwatera 03	14
Rysunek 5 Wykres prognozy produkcji biogazu składowiskowego – kwatera zamknięta	16
Rysunek 6 Wykres prognozy całkowitej produkcji biogazu składowiskowego	17
Rysunek 7 Skład gazu w studniach gazowych i czyszczakach	27
Rysunek 8 Ciśnienie gazu w studniach gazowych i czyszczakach	27
Rysunek 9 Strumień objętościowy gazu	28
Rysunek 10 Stężenie siarkowodoru w gazie	28
Rysunek 11 Wskaźnik CH_4/CO_2 w studniach gazowych	29
Rysunek 12 Głębokość studni gazowych	29
Rysunek 13 Temperatura w studniach gazowych	30
Rysunek 14 Fazy produkcji gazu w składowisku odpadów	31
Rysunek 15 Lokalizacja studzienki z wpięciem do kolektora gazowego DN160 z kwatery I	41
Rysunek 16 Okres generacji energii z gazu z kwatery 03	43
Rysunek 17 Okres generacji energii z gazu z kwatery 03 i kwater zamkniętych	44
Rysunek 18 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 1	50
Rysunek 19 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 2A	51
Rysunek 20 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 2B	52
Rysunek 21 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 3A	53
Rysunek 22 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 3B	54

1. Podstawa opracowania

Umowa Nr 51/PGO/2022 z dn. 20.10.2022 na opracowanie „Studium uwarunkowań i kierunków działań w sprawie zagospodarowania gazu składowiskowego kwatery 03 z możliwością wykorzystania istniejącej infrastruktury instalacji biogazowej MEB Kobierniki” (dalej: „Studium”).

2. Zakres opracowania

1. Przeprowadzenie badań składu gazu w składowisku wraz z określeniem podstawowych parametrów gazu i siarkowodoru (bez badań laboratoryjnych).
2. Określenie zasobności złoża w biogaz wraz z podaniem przybliżonego okresu eksploatacji (model prognozy produkcji biogazu na podstawie danych udostępnionych przez Zamawiającego).
3. Przedstawienie obiektywnych i racjonalnych wniosków, uwag, opinii co do dalszego zagospodarowania biogazu, mocnych i słabych stron potencjalnych kierunków działań oraz oceny zagrożeń i szans powodzenia, z możliwością wykorzystania istniejącej infrastruktury instalacji biogazowej MEB Kobierniki kwater zamkniętych i zrehabilitowanych 01 i 02.
4. Oszacowanie wstępnych kosztów (rzędu wielkości – z dokładnością do 100 000,00 zł) wariantów zagospodarowania biogazu, analizę opłacalności inwestycji, określenie zasobów jakie będą niezbędne do realizacji celu (np. szacunek kosztów dla wariantu – unieszkodliwianie biogazu poprzez spalanie w pochodni pasywnej; instalacja pochodni, dodatkowe studnie, koszty robocizny itp.) Np. szacunek kosztów dla wariantu – „unieszkodliwianie gazu przez spalanie w pochodni pasywnej”: instalacja pochodni, dodatkowe studnie, robocizna itp.)

Do celów wykonania niniejszego Studium przeprowadzono następujące czynności:

1. Analiza dokumentacji składowiska (lista w Rozdziale 4)
2. Rozpoznanie w terenie:
 - pomiary parametrów gazu w studniach gazowych i czyszczakach na kwaterze 03
 - oględziny istniejącej instalacji odgazowania na kwaterach 01 i 02
 - oględziny stacji zbiorczej, stacji ssawy i Małej Elektrowni Biogazowej (MEB).
3. Obróbka i analiza danych do modelu produkcji biogazu
4. Wykonanie modelu produkcji biogazu
5. Koncepcja odgazowania
6. Ocena ryzyka przedsięwzięcia
7. Oszacowanie kosztów

3. Wnioski i zalecenia

1. Analiza modelu prognozy produkcji biogazu, wyników monitoringu oraz pomiarów i obserwacji na składowisku uzasadnia zastosowanie odpowiednich środków kontroli, ujmowania i unieszkodliwiania gazu zgodnie z obowiązującymi przepisami, z uwzględnieniem ekonomiki i praktycznego podejścia do zalecanych rozwiązań.
2. Istniejący pasywny system odgazowania nie zapewnia skutecznej kontroli bezpieczeństwa i środowiskowej gazu, ograniczenia jego emisji do atmosfery oraz powstawania incydentów odorowych.
3. Intensywna produkcja biogazu na kwaterze 03 wymaga zapewnienia bezpieczeństwa i kontroli środowiskowej składowiska poprzez minimalizację emisji gazu dzięki zastosowaniu aktywnego systemu odgazowania i kontroli procesu jego odprowadzania i unieszkodliwiania zgodnie z obowiązującymi przepisami (rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. z późn. zmianami – Dz.U. z 2022 r. poz. 1902)
4. Aktualnie szacowana ilość produkowanego gazu (rzędu 50 – 70 m³/h), jego wysoki stopień zanieczyszczenia siarkowodorem (400 – 10 000 ppm) oraz potencjalne problemy wynikające z ujmowania gazu na kwaterze eksploatowanej uzasadniają spalanie gazu w pochodni, przynajmniej w ciągu następnych dwóch lat.
5. Najbardziej znaczącym czynnikiem, wpływającym negatywnie na wytwarzanie energii z gazu jest wysoki koszt jego oczyszczania z siarkowodoru i pozostałych związków śladowych.
6. Należy gromadzić dane eksploatacyjne systemu odgazowania i monitorować trend stężenia siarkowodoru w gazie. Dane te będą pomocne w podjęciu decyzji o gospodarczym wykorzystaniu gazu do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Generację energii z gazu można rozważyć za około 2-3 lata, w zależności od parametrów gazu i sytuacji ekonomicznej.
7. Modernizacja systemu odgazowania na zamkniętych kwaterach w celu zwiększenia ilości odprowadzanego gazu i ewentualnego wcześniejszego rozpoczęcia wytwarzania energii nie wydaje się być uzasadniona ekonomicznie, uwzględniając ilość aktualnie generowanego gazu i tendencję spadkową jego produkcji.
8. Monitorować okresowo stężenie tlenu węgla w gazie w celu profilaktyki samozapłonów i pożarów podpowierzchniowych.
9. Dokonać wyboru wariantu koncepcji odgazowania, sporządzić projekt a następnie zrealizować go. Wariant 1 i 2B stwarzają wrażenie najbardziej korzystnych, z przewagą wariantu 1, obciążonego niższymi kosztami eksploatacyjnymi (o około 20 – 25%), biorąc pod uwagę 10-letni okres eksploatacji. Koszt infrastruktury odgazowania dla każdego z wariantów jest porównywalny, rzędu 300 tys. zł.

10. Uaktualnić Dokument zabezpieczenia przed wybuchem (DZPW), zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 8 lipca 2010 (Dz.U. Nr 138 poz. 931).
11. Oznakować strefy zagrożenia wybuchem znakami ostrzegawczymi zgodnie z obowiązującymi przepisami.
12. Przeprowadzić szkolenie personelu w zakresie ryzyka zagrożenia wybuchem oraz zatrucia siarkowodorem. Stosować odpowiednie procedury bezpieczeństwa i środki ochrony osobistej w przypadku wykonywania prac w strefach zagrożenia.
13. Po uruchomieniu i odbiorze sytemu odgazowania gromadzić, dokumentować i analizować dane w celu uzasadnienia podjęcia dalszych decyzji co do kształtu docelowego systemu odgazowania po zamknięciu kwatery 03.
14. Regularnie serwisować system odgazowania. Po ustabilizowaniu się trybu eksploatacyjnego wykonać testy systemu w celu potwierdzenia wydajności gazu do celów wykorzystania gospodarczego.

4. Dane wyjściowe opracowania

Kwata Nr 03 przeznaczona do składowania odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne stanowi integralną część składowiska w Kobiernikach, składającego się z pięciu przylegających do siebie kwater o numerach I, II, 01, 02 i 03. Zrehabilitowane kwatery I, II, 01 i 02, na których zdeponowano 659 424,0 m³ odpadów, zajmują powierzchnię 8,37 ha. Zamknięte kwatery wyposażone są w aktywny system odgazowania z wykorzystaniem energii z gazu w dwóch kogeneratorach o mocy 180 kW każdy. System odgazowania uruchamiany jest okresowo z powodu niewielkich ilości generowanego gazu.,

Powierzchnia kwatery 03 wynosi 2,95 ha, a chłonność 499 815,0 m³ (499 815,0 Mg). Roczna maksymalna masę odpadów dopuszczonych do składowania określono na 60 000,0 Mg. Wykaz rodzajów odpadów dopuszczonych do składowania wskazuje na możliwość generacji gazu składowiskowego.

Tabela 1 Wykaz odpadów dopuszczonych do składowania (IPS)

Tabela nr 1 Wykaz rodzajów odpadów dopuszczonych do umieszczenia poprzez składowanie na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne

Lp.	Kod odpadu	Rodzaj odpadu
1.	19 05 01	Nieprzekompostowane frakcje odpadów komunalnych i podobnych
2.	19 05 02	Nieprzekompostowane frakcje odpadów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego
3.	19 05 03	Kompost nieodpowiadający wymaganiom (nienadający się do wykorzystania)
4.	19 05 99	Inne niewymienione odpady (stabilizat, w tym frakcja pozostała po przesianiu stabilizatu na sicie o prześwicie oczek 20mm)
5.	19 08 01	Skratki
6.	19 08 02	Zawartość piaskowników
7.	19 09 01	Odpady stałe ze wstępnej filtracji i skratki
8.	19 09 99	Inne niewymienione odpady
9.	19 12 09	Minerały (np. piasek, kamienie)
10.	19 12 12	Inne odpady (w tym zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów inne niż wymienione w 19 12 11
11.	20 02 03	Inne odpady nieulegające biodegradacji
12.	20 03 02	Odpady z targowisk
13.	20 03 03	Odpady z czyszczenia ulic
14.	20 03 06	Odpady ze studzienek kanalizacyjnych
15.	20 03 07	Odpady wielkogabarytowe
16.	20 03 99	Odpady komunalne niewymienione w innych podgrupach

Eksplorację kwater rozpoczęto w roku 2017. Odpady składowane są warstwowo, z oddzieleniem warstw przesywką izolacyjną. Kwata ma konstrukcję pod- i nadpoziomową. Aktualnie (2022 r.) rzędna odpadów nie wykracza ponad poziom terenu. Miąższość odpadów waha się od 6 do ok. 10 m.

Po osiągnięciu części nadpoziomowej, odpady w części południowej będą stykać się ze zrehabilitowaną kwaterą nr I, po uprzednim odizolowaniu kwater bentomatą.

Kwata wyposażona jest w dziewięć studni gazowych pionowych, przedłużanych w miarę zapełniania kwater odpadami i podnoszenia rzędnej. Studnie składają się z rur perforowanych HDPE o średnicy nominalnej 160 mm oraz stalowej osłony rurowej o średnicy 400 mm z pokrywą

przykręconą do kołnierza. W pokrywie zamontowane są dwa zawory o średnicach $\frac{1}{2}$ " i $\frac{3}{4}$ " do pomiarów parametrów gazu oraz poziomy odcieków. Na wewnętrznej części pokrywy zamontowany jest filtr z węglem aktywowanym. Po założeniu pokrywy filtr wpasowuje się w wylot rury HDPE.



Fot. 1 Studnia gazowa na kwaterze 03



Rysunek 1 Lokalizacja infrastruktury gazowej i odciekowej na kwaterze 03 (Google Earth)

Studnie nie są podłączone do aktywnego systemu odgazowania.

Studnie służą do pomiarów gazu do celów monitoringowych.

Kwaterna wyposażona jest również w grawitacyjny system drenażu odcieków. Trzy „czyszczaki” połączone z sączkami wyprowadzone zostały na powierzchnię na zachodniej skarpie kwatery przy drodze technologicznej. Ocieki odprowadzane są do studni zbiorczej i pompowni, znajdujących się poza kwaterą, w południowo wschodniej części obszaru obejmującego kwaterę.

Dane dotyczące ilości i morfologii odpadów przetwarzanych i unieszkodliwianych na kwaterze 03 w latach 2017 – 2022 przedstawione są w Tabeli 2. Dane te zostały wykorzystane do opracowania modelu prognozy produkcji biogazu składowiskowego.

Tabela 2 Roczne ilości odpadów zdeponowanych na kwaterze 03

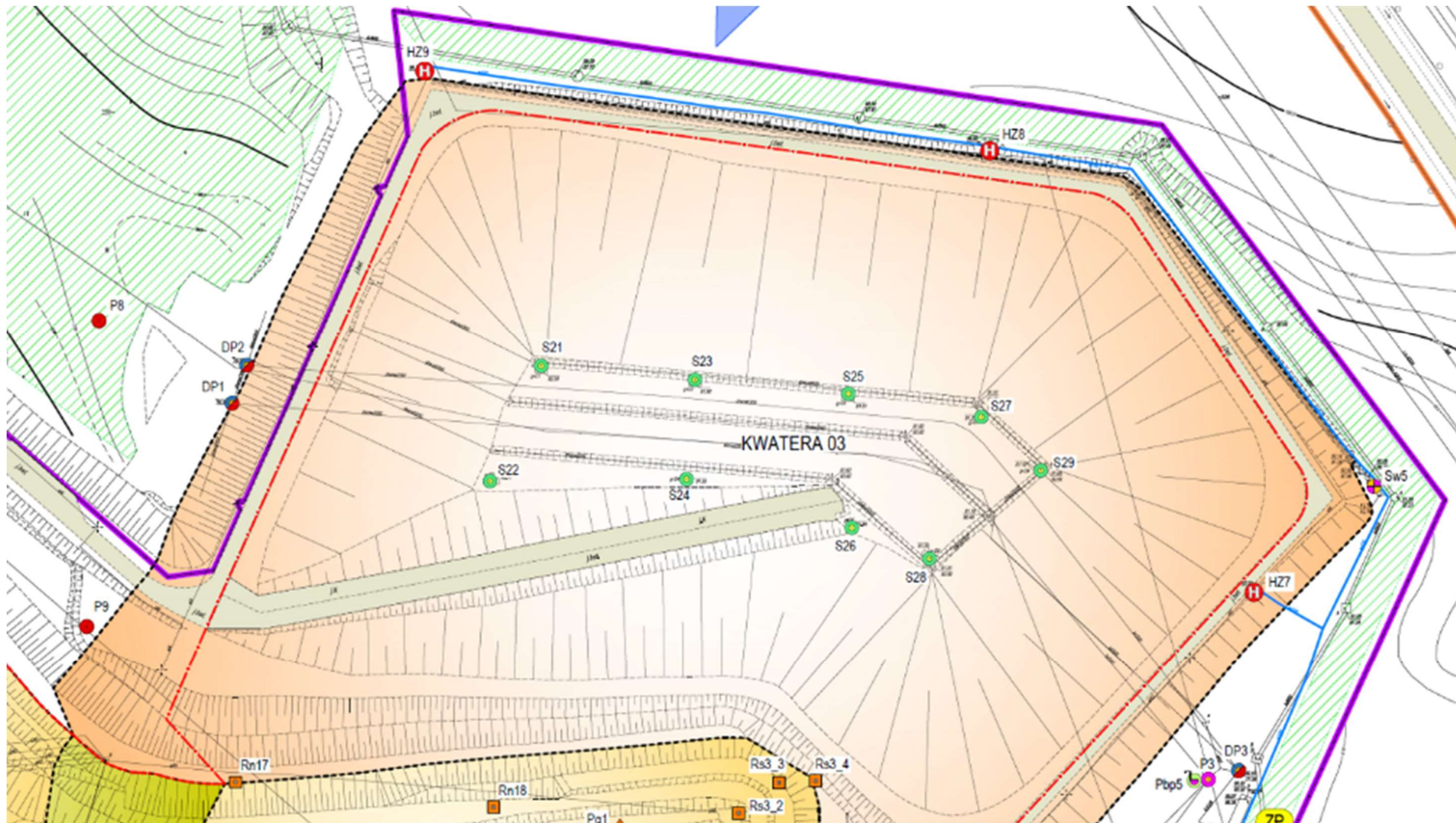
Zestawienie odpadów kierowanych na kwaterę 03										
	Składowanie - D5				Odzysk - R5					
	19 05 99	19 12 12	20 03 03	20 03 07	17 01 07	17 01 01	17 01 02	17 01 03	17 05 04	20 01 99 ex8
	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]
2017	10,155.26	0.00	0.00	0.00	1,509.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	24,997.73	0.00	0.00	0.00	1,775.74	37.26	4.72	4.62	0.00	0.00
2019	24,889.67	4,543.44	0.00	0.00	4,594.51	5.14	0.00	0.00	1.62	0.00
2020	22,689.81	4,929.88	0.00	0.00	4,931.68	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	23,999.23	0.00	0.00	0.00	4,999.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	14,880.96	4,650.00	388.88	175.22	8,700.29	0.00	0.00	0.00	0.00	157.80
Suma	121,612.66	14,123.32	388.88	175.22	26,511.10	42.94	4.72	4.62	1.62	157.80

Lista udostępnionych materiałów:

1. Decyzja-Marszałka-Województwa-Mazowieckiego-nr-97składowanie-12-2021 – Pozwolenie Zintegrowane (tekst jednolity) Grudzień 2021
2. IPS-Decyzja-Marszałka-Województwa-Mazowieckiego-2 – Instrukcja Prowadzenia Składowiska Odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne zlokalizowanego w Kobiernikach 42. 09-413 Sikórz grudzień 2021
3. Raporty pracy systemu odgazowania 2014 – 2020
4. Sprawozdanie z badań Nr 4036/10/2020 JARS – listopad 2020
5. Pomiary gazu w studniach 2015 – 2020
6. Raport pracy kogeneratorów 2014 – 2018
7. Składowane odpady – kwatera 03 – oryginał
8. Kwestionariusz składowiska
9. Dokumentacja projektowa instalacji odgazowania i małej elektrowni biogazowej



Rysunek 2 Lokalizacja kwater – składowisko Kobierniki (Google Map)



Rysunek 3 Lokalizacja studni gazowych na kwaterze 03 (wycinek z mapy PGO Płock)

5. Model produkcji biogazu składowiskowego

Przy opracowywaniu modelu prognozy produkcji biogazu oparto się na danych o ilości i jakości odpadów, dostarczonych przez Zamawiającego (Tabela 2 oraz kwestionariusz składowiska).

Jakiegolwiek modelowanie teoretyczne jest zawsze procesem upraszczającym niezwykle skomplikowane procesy rozkładu zachodzące w składowanych odpadach. Każde modelowanie teoretyczne zawiera nieuniknione błędy, wynikające z niedokładności dostępnych danych i natury samego modelu. Dlatego też uzasadnione jest przedstawianie produkcji biogazu jako zakresu wartości, zawartych pomiędzy dwoma krzywymi: tzw. „konserwatywną” – zaniżoną i „optymistyczną” – zawyżoną. Krzywa „konserwatywna” używana jest zwykle do doboru urządzeń wykorzystujących energię z biogazu, a krzywa „optymistyczna” do zaprojektowania systemu odgazowania z uwzględnieniem zapasu projektowego.

Do celów prognozowania przyjęto:

- zakończenie eksploatacji kwatery 03 z końcem roku 2032, z założeniem odpadów zdeponowanych od rozpoczęcia eksploatacji kwatery oraz przewidywanych ilości deponowanych odpadów podanych przez Zamawiającego (ok. 30 000 Mg/rok);
- 30% udział frakcji ulegających biodegradacji, co wynika z analizy kodów odpadów;
- niezmienność morfologii odpadów pod względem zawartości frakcji ulegających biodegradacji. Zmiana ilości odpadów ulegających biodegradacji wpłynie wprost proporcjonalnie na generację biogazu, tj. jej zmniejszenie skutkować będzie zmniejszeniem ilości produkowanego gazu;
- standardową 75.% sprawność systemu odgazowania z uwzględnieniem przykrywania odpadów warstwami izolacyjnymi, eksploatacją kwatery na całej powierzchni i znacznym stopniu napowietrzenia odpadów do chwili zamknięcia kwatery.

Rysunek 4 i Tabela 3 przedstawiają wyniki modelowania produkcji biogazu na kwaterze 03 składowiska w Kobiernikach.

Wyniki modelowania teoretycznego wskazują na:

- aktualną produkcję gazu składowiskowego w granicach 51 – 76 m³/h
- maksymalną produkcję biogazu w roku 2033, wahającą się pomiędzy 109 a 163 m³/h z tendencją spadkową w następnych latach po zamknięciu kwatery
- generację gazu utrzymującą się przez co najmniej 40 lat.

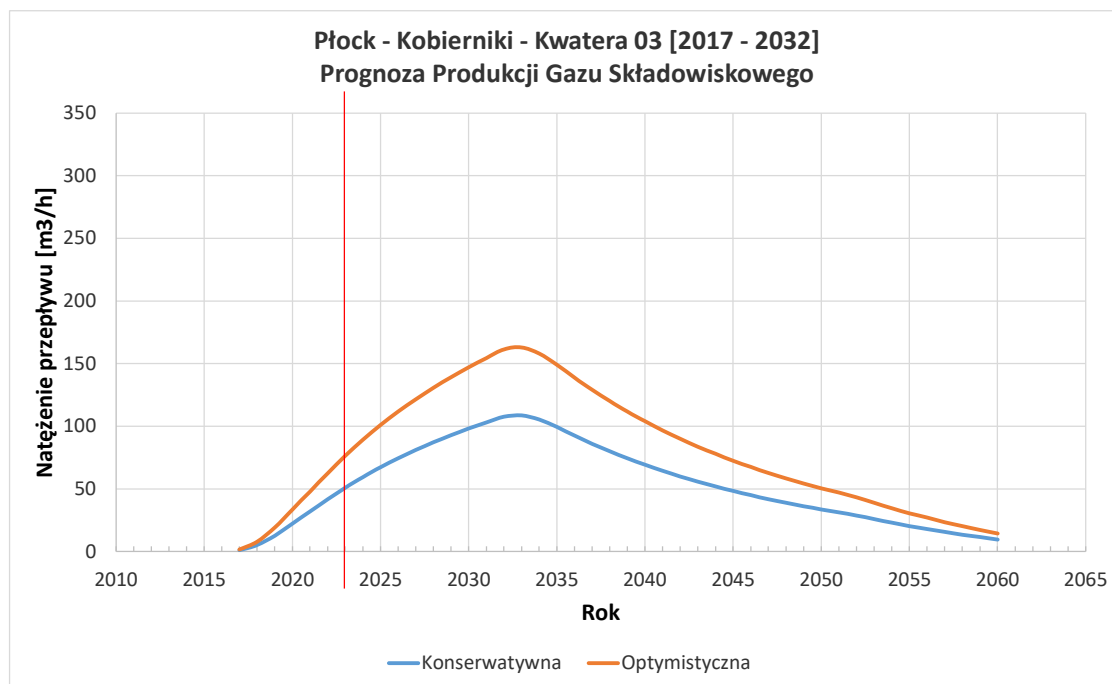
Uwzględniając parametry standardowo stosowanych urządzeń do unieszkodliwiania gazu składowiskowego, można przyjąć, że aktywny system odgazowania na kwaterze 03 wymagany będzie w okresie co najmniej 30 lat, tj. do roku 2053.

Parametry gazu mogą się zmieniać w zależności od:

- zmian w morfologii składowanych odpadów (ilość generowanego gazu jest wprost proporcjonalna do ilości frakcji ulegających biodegradacji)
- sposobu eksploatacji kwatery (napowietrzanie wpływa na zmniejszenie generacji; zagęszczanie, uszczelnianie odpadów i recyrkulacja odcieków wpływają na zintensyfikowanie generacji)

- sposobu eksploatacji systemu odgazowania (zbilansowany sposób odprowadzania gazu przedłuża generację, napowietrzanie złoży ją skraca).

W zależności od zmieniających się paramentów gazu należy być przygotowanym na zmianę technologii, np. biofiltr zamiast pochodni przy spadku jakości gazu, system pasywny przy spadku wydajności złoży.



Rysunek 4 Wykres prognozy produkcji biogazu składowiskowego – kwatera 03

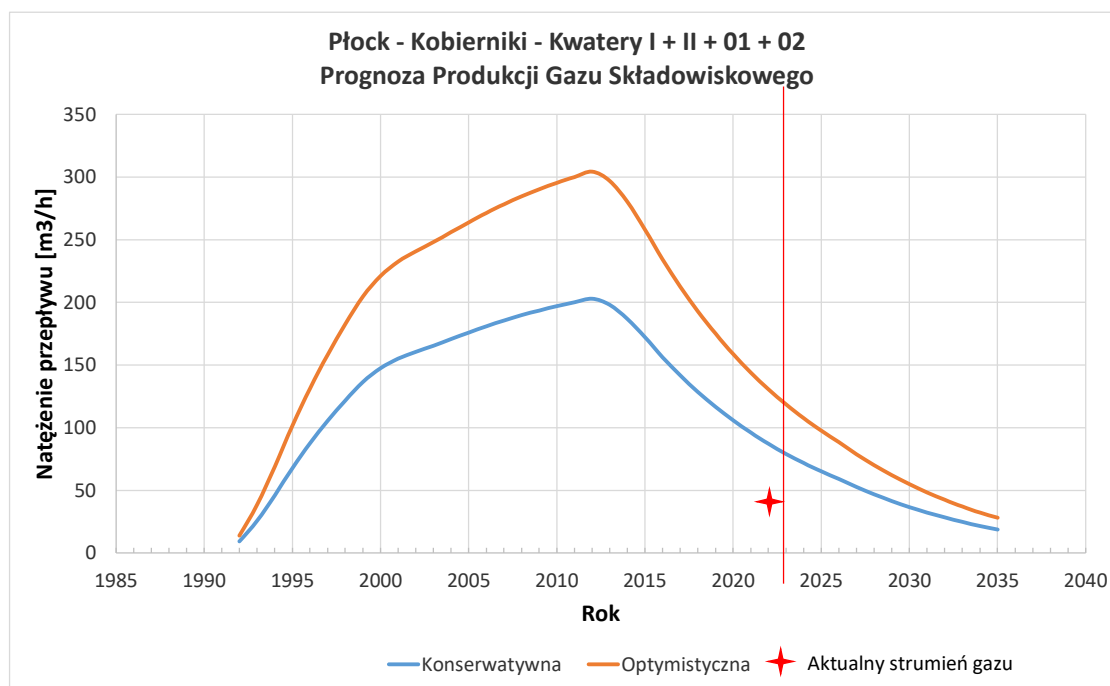
Tabela 3 Prognoza produkcji biogazu składowiskowego – kwatera 03

Rok	Natężenie przepływu biogazu [m ³ /h]		Rok	Natężenie przepływu biogazu [m ³ /h]	
	Prognoza Konserwatywna	Prognoza Optymistyczna		Prognoza Konserwatywna	Prognoza Optymistyczna
2017	1	2	2039	75	112
2018	5	8	2040	69	104
2019	13	19	2041	65	97
2020	22	34	2042	60	90
2021	32	48	2043	56	84
2022	42	63	2044	52	78
2023	51	76	2045	48	73
2024	60	89	2046	45	67
2025	67	101	2047	42	63
2026	74	112	2048	39	58
2027	81	122	2049	36	54
2028	87	131	2050	34	51
2029	93	139	2051	31	47
2030	98	147	2052	29	43
2031	103	155	2053	26	39
2032	108	161	2054	23	35
2033	109	163	2055	20	31
2034	105	158	2056	18	27
2035	99	149	2057	16	23
2036	93	139	2058	14	20
2037	86	129	2059	12	17
2038	80	120	2060	10	15

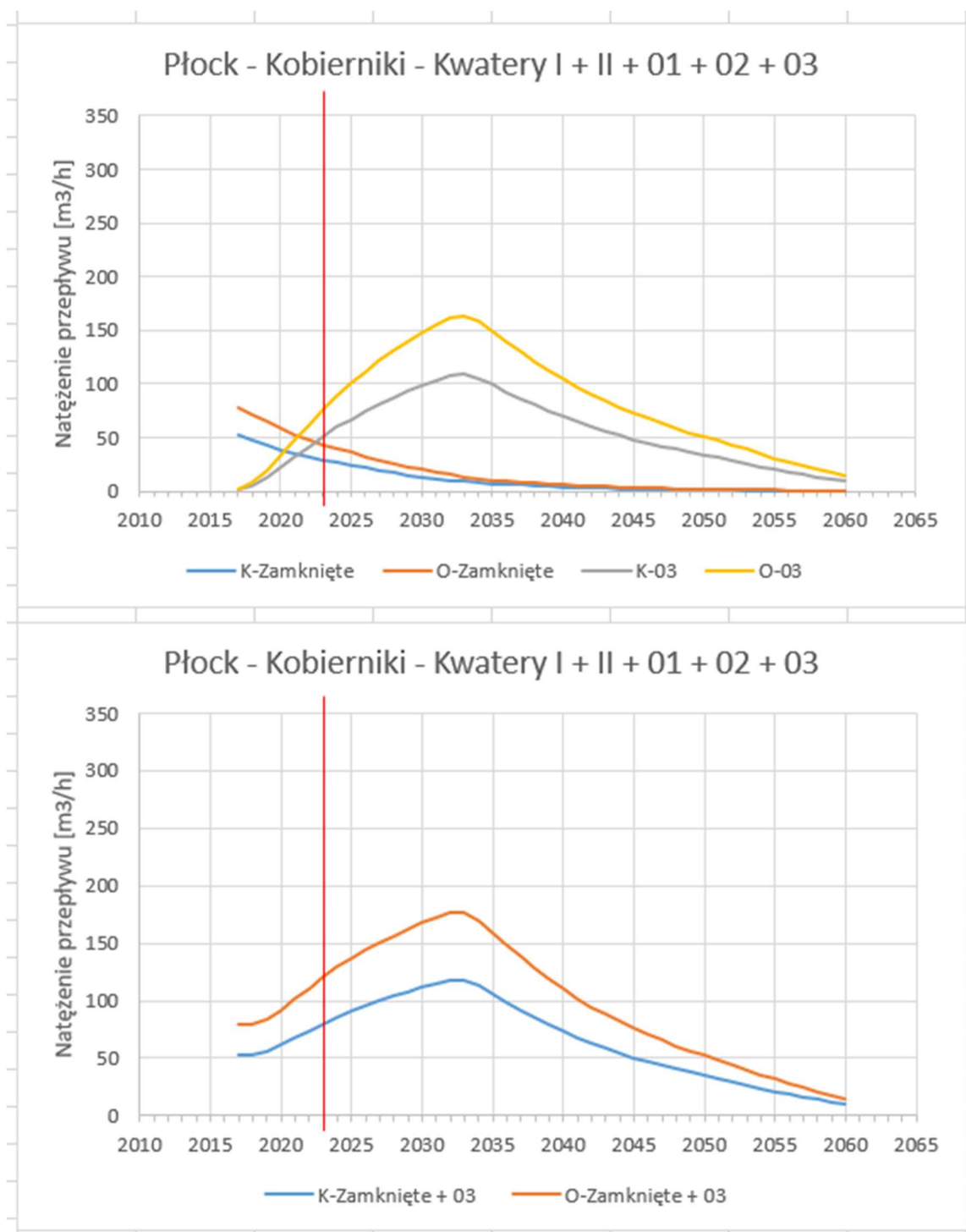
Ponieważ w niniejszym studium rozpatrywane jest wykorzystanie istniejącej infrastruktury biogazowej, przytoczono również model prognozy generacji gazu dla zamkniętych kwater, oparty na danych z udostępnionych materiałów źródłowych. Aktualny (2022 r.) strumień gazu odprowadzanego okresowo ze starych kwater wynosi około 40 m³/h (Rysunek 5). Przepływ zanika i pochodnia gaśnie po kilkunastu godzinach pompowania wskutek wyczerpania rezerwuaru gazu i niskiej intensywności jego generacji. Na niski uzysk gazu ma też prawdopodobnie stan techniczny istniejącego systemu odgazowania.

Po skalibrowaniu modelu na podstawie danych rzeczywistych, tj. przyjęciu wartości 40 m³/h strumienia objętościowego gazu, nałożono na siebie oba wykresy dla zilustrowania całkowitej ilości odprowadzanego gazu ze wszystkich kwater. Wyniki przedstawiono na Rysunku 6 i w Tabeli 4.

Zanikająca generacja gazu na zamkniętych kwaterach będzie miała największy wpływ na uzysk gazu w najbliższych 7-8 latach, po czym głównym źródłem gazu będzie kwatera 03.



Rysunek 5 Wykres prognozy produkcji biogazu składowiskowego – kwatery zamknięte



Rysunek 6 Wykres prognozy całkowitej produkcji biogazu składowiskowego

Wykres górny przedstawia oddzielnie krzywe dla kwater zamkniętych i kwatery 03.

Wykres dolny przedstawia zsumowanie wykresy dla wszystkich kwater.

K – krzywa konserwatywna

O – krzywa optymistyczna

Tabela 4 Prognoza całkowitej produkcji biogazu składowiskowego

	Natężenie przepływu biogazu [m3/h]					
	Kwatery Zamknięte		Kwatera 03		Kwatery Zamknięte + 03	
Rok	Prognoza Konserwatywna	Prognoza Optymistyczna	Prognoza Konserwatywna	Prognoza Optymistyczna	Prognoza Konserwatywna	Prognoza Optymistyczna
2017	52	78	1	2	53	80
2018	47	71	5	8	52	79
2019	43	64	13	19	56	83
2020	39	58	22	34	61	92
2021	35	53	32	48	67	101
2022	32	48	42	63	74	111
2023	29	44	51	76	80	120
2024	26	40	60	89	86	129
2025	24	36	67	101	91	137
2026	22	33	74	112	96	144
2027	19	29	81	122	100	151
2028	17	26	87	131	104	156
2029	15	23	93	139	108	162
2030	13	20	98	147	112	167
2031	12	18	103	155	115	172
2032	10	16	108	161	118	177
2033	9	14	109	163	118	177
2034	8	12	105	158	113	170
2035	7	10	99	149	106	159
2036	6	10	93	139	99	148
2037	6	9	86	129	92	138
2038	5	8	80	120	85	128
2039	5	7	75	112	79	119
2040	4	6	69	104	73	110
2041	4	5	65	97	68	102
2042	3	5	60	90	63	95
2043	3	4	56	84	59	88
2044	3	4	52	78	54	82
2045	2	3	48	73	51	76
2046	2	3	45	67	47	70
2047	2	3	42	63	44	65
2048	2	2	39	58	41	61
2049	1	2	36	54	38	56
2050	1	2	34	51	35	52
2051	1	2	31	47	32	49
2052	1	1	29	43	30	45
2053	1	1	26	39	27	40
2054	1	1	23	35	24	36
2055	1	1	20	31	21	32
2056	1	1	18	27	19	28
2057	1	1	16	23	16	24
2058	0	1	14	20	14	21
2059	0	1	12	17	12	18
2060	0	1	10	15	10	15

6. Pomiary w studniach gazowych

W dniach 25 i 27 października 2022 r. wykonano pomiary parametrów gazu w 9. studniach gazowych na kwaterze 03.

Sprawdzono stan techniczny studni i wykonano pomiary parametrów biogazu.

Dodatkowo zmierzono również parametry biogazu w dostępnych czyszczakach systemu drenażu odcieków.

Pomiary wykonano przy pomocy przenośnego analizatora gazu MRU Biogas 7 Optima z aktualnym świadectwem wzorcowania oraz anemometru Schiltknecht MiniAir Junior.

Porównawcze badania siarkowodoru i tlenku węgla wykonano przy pomocy rurek wskaźnikowych Draegera.

Pomiary głębokości studni, poziomu odcieków i temperatury wykonano przy pomocy taśmy mierniczej z termometrem i miernikiem przewodności właściwej Solinst TLC Meter Model 107.

Podczas pomiarów nie stwierdzono anomalii wymagających powtórzenia badań.

W Tabelach 5 – 7 i na Rysunkach 7 – 12 przedstawiono wyniki pomiarów.

Skład, ciśnienie i natężenie przepływu gazu pomocne są przy określeniu fazy generacji gazu i stadium rozkładu odpadów. Temperatura złoża odzwierciedla warunki rozkładu odpadów.

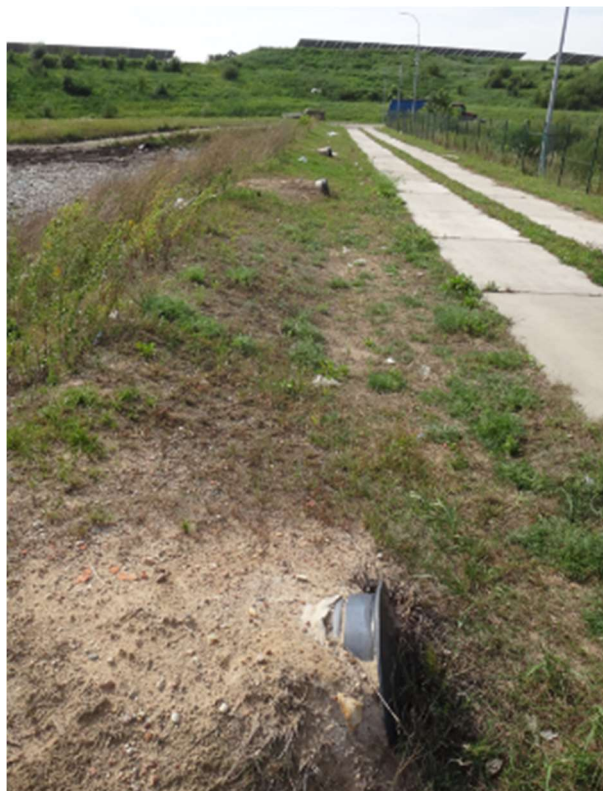
W Tabeli 8 przedstawiono omówienie i interpretację pomiarów.



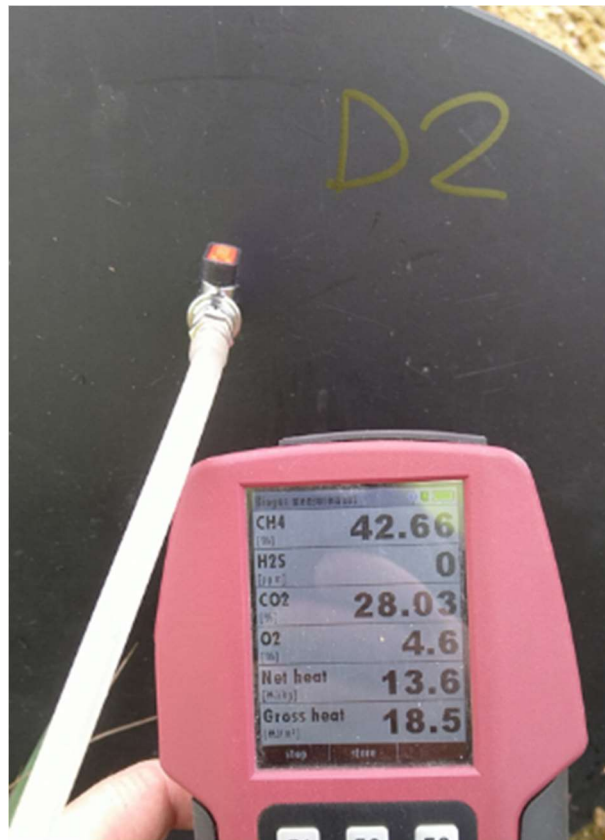
Fot. 2 Panorama kwatery 03 od strony zachodniej



Fot. 3 Pomiary parametrów gazu w studni



Fot. 4 Czyszczeni drenażu odcieków



Fot. 5 Pomiar składu gazu w czyszczaku D-2



Fot. 6 Pomiar parametrów gazu w czyszczaku D-3



Fot. 7 Pomiar ciśnienia gazu w studni gazowej



Fot. 8 Pomiar prędkości przepływu gazu w studni gazowej



Fot. 9 Pomiar składu gazu w studni gazowej



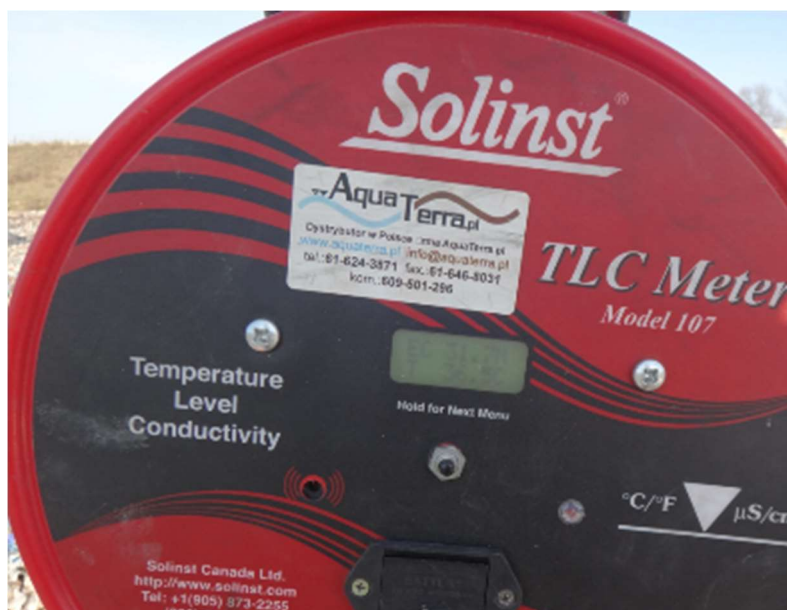
Fot. 10 Pomiar stężenia siarkowodoru przy pomocy rurki Draegera



Fot. 11 Pomiar stężenia tlenu węgla przy pomocy rurki Draegera



Fot. 12 Pomiar głębokości studni i poziomu odcieków



Fot. 13 Badanie temperatury w studni (36,5°C)

Tabela 5 Wyniki pomiarów parametrów gazu na kwaterze 03

Punkt pomiaru	Data i godz.	CH ₄ [% obj.]	CO ₂ [% obj.]	O ₂ [% obj.]	BILANS N ₂ [% obj.]	H ₂ S [ppm]	CH ₄ /CO ₂	Ciśnienie gazu [mbar]	Prędkość przepływu gazu [m/s]	Natężenie przepływu gazu [m ³ /h]
D1	25/10/2022 11:55	0,00	0,00	20,5	79,5	0		0,150	0,00	0,00
D2	25/10/2022 12:00	42,68	28,07	4,6	24,65	0	1,52	0,120	0,00	0,00
D3	25/10/2022 12:05	18,23	11,82	13,8	56,15	0	1,54	0,082	0,00	0,00
S21	25/10/2022 12:50	58,51	41,03	0,0	0,46	8659	1,43	0,700	3,85	3,07
S22	25/10/2022 17:20	59,59	40,01	0,0	0,40	9915	1,49	0,776	3,64	2,90
S23	25/10/2022 13:00	58,87	40,76	0,0	0,37	4641	1,44	1,600	5,95	4,74
S24	25/10/2022 16:55	60,38	39,23	0,0	0,39	3228	1,54	1,700	5,26	4,19
S25	25/10/2022 13:42	57,24	41,45	0,1	1,21	1737	1,38	0,998	3,63	2,89
S26	25/10/2022 16:35	63,68	35,89	0,0	0,43	1015	1,77	0,314	1,9	1,51
S27	25/10/2022 14:50	61,78	37,25	0,1	0,87	2	1,66	0,148	0	0,00
S28	25/10/2022 16:02	63,83	35,73	0,0	0,44	410	1,79	0,080	0	0,00
S29	25/10/2022 15:40	62,26	37,13	0,2	0,41	7	1,68	0,211	0	0,00
	minimum	0,00	0,00	0,00	0,37	0	1,38	0,08	0,00	0,00
	maksimum	63,83	41,45	20,50	79,50	9915	1,79	1,70	5,95	4,74
	średnia	50,59	32,36	3,28	13,77	2468	1,57	0,57	2,02	1,61
	suma									19,30

Tabela 6 Wyniki pomiarów stężenia siarkowodoru i tlenku węgla

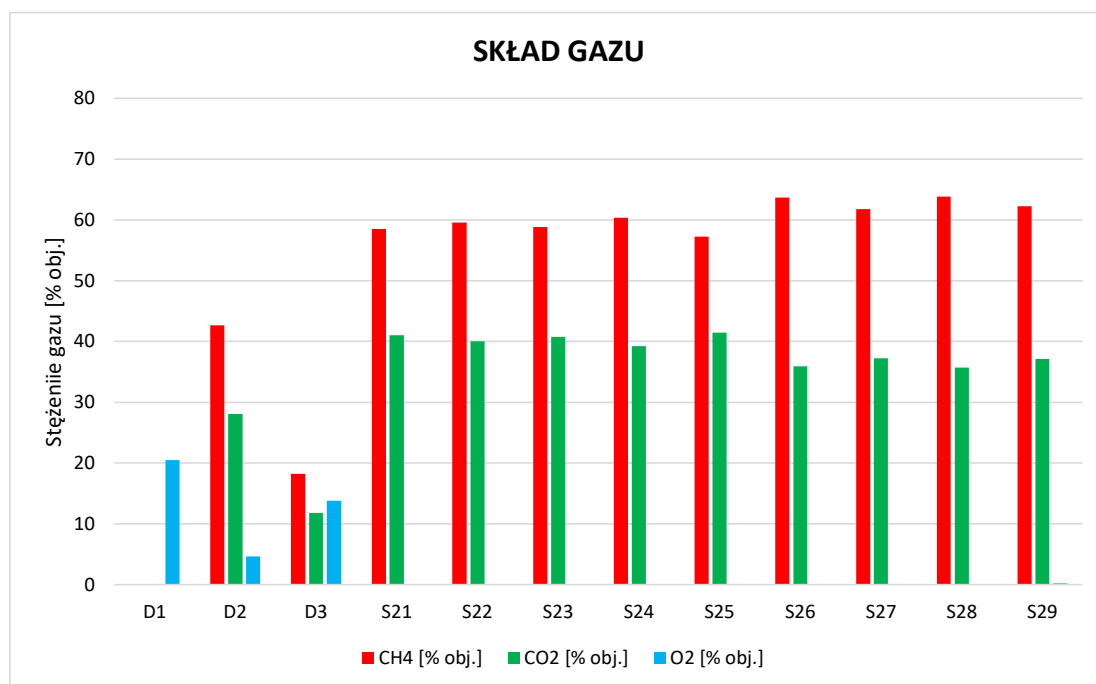
Punkt pomiaru	Data & godz	H ₂ S MRU [ppm]	H ₂ S Draeger [ppm]	CO Draeger [ppm]
D1	25/10/2022 11:55	0		
D2	25/10/2022 12:00	0		
D3	25/10/2022 12:05	0		
S21	25/10/2022 12:50	8659	5000	<10
S22	25/10/2022 17:20	9915	7000	<10
S23	25/10/2022 13:00	4641	2000	<10
S24	25/10/2022 16:55	3228	2000	<10
S25	25/10/2022 13:42	1737	1200	<10
S26	25/10/2022 16:35	1015	600	<10
S27	25/10/2022 14:50	2		<10
S28	25/10/2022 16:02	410	230	<10
S29	25/10/2022 15:40	7		<10
	minimum	0	230	
	maksimum	9915	7000	
	średnia	2468	2576	

Tabela 7 Wyniki pomiarów głębokości studni gazowych i temperatury złoża

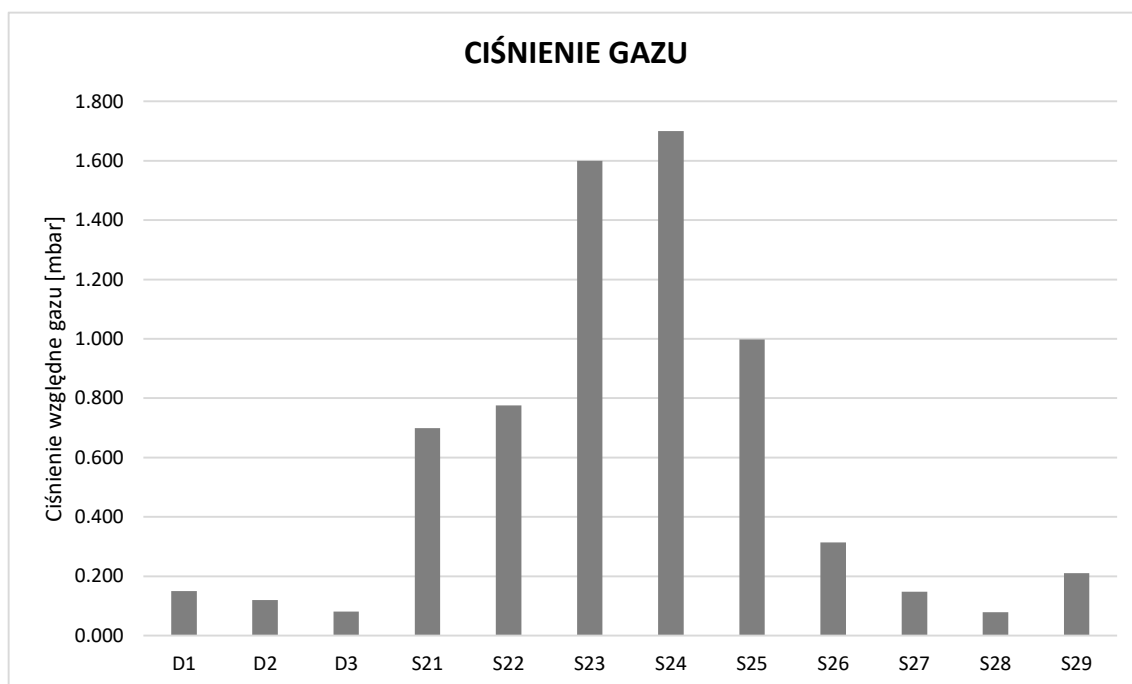
Punkt pomiaru	Głębokość [m ppt]	Temperatura [°C]	Poziom odcieku [m ppt]	Uwagi
S21	4,43	24,5	sucho	
S22	6,65	28,0	wilgoć	
S23	5,14	31,0	wilgoć	
S24	7,12	22,5	wilgoć	
S25	3,27	36,2	wilgoć	zablokowana
S26	11,51	19,6	wilgoć	
S27	6,34	25,0	wilgoć	słabe uszczelnienie
S28	2,01	22,0	wilgoć	zablokowana
S29	3,80	23,0	wilgoć	
min.	2,01	19,6		
max.	11,51	36,2		
średnia	5,59	25,8		

Pomiary wykonano 27 października 2022 r. przy temperaturze otoczenia 14°C.

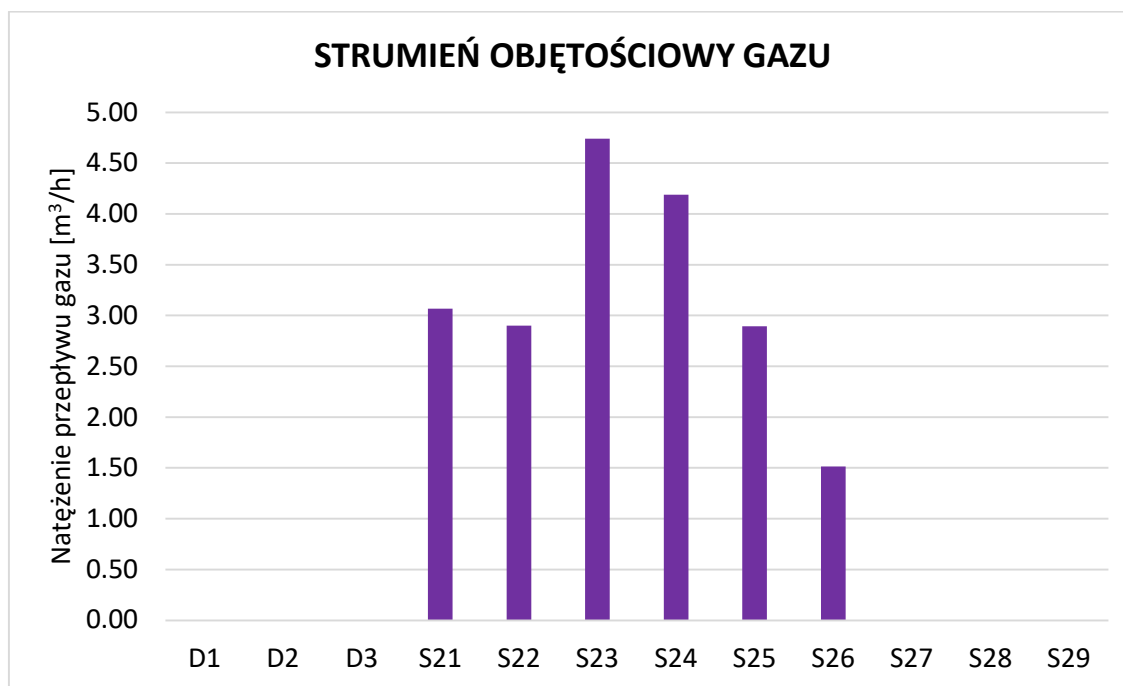
Czujnik osobisty z alarmem ustawionym na 10 ppm siarkowodoru został zaktywowany na otwartym powietrzu podczas wykonywania pomiarów przy otwartych studniach, co świadczy o wysokim poziomie zagrożenia siarkowodorem.



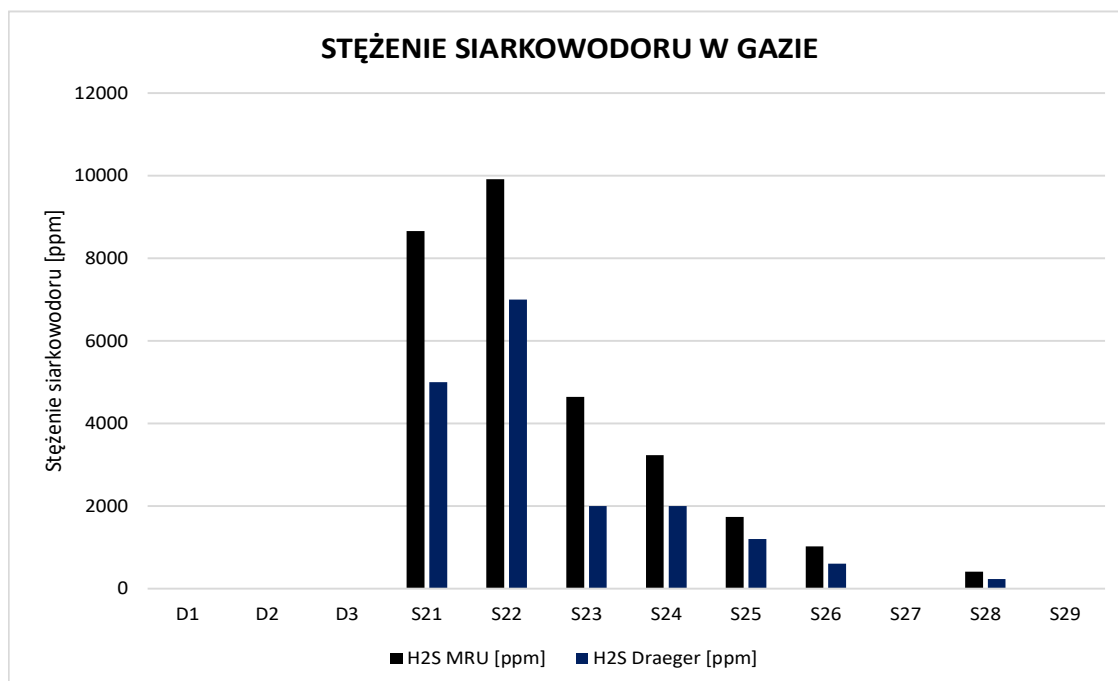
Rysunek 7 Skład gazu w studniach gazowych i czyszczakach



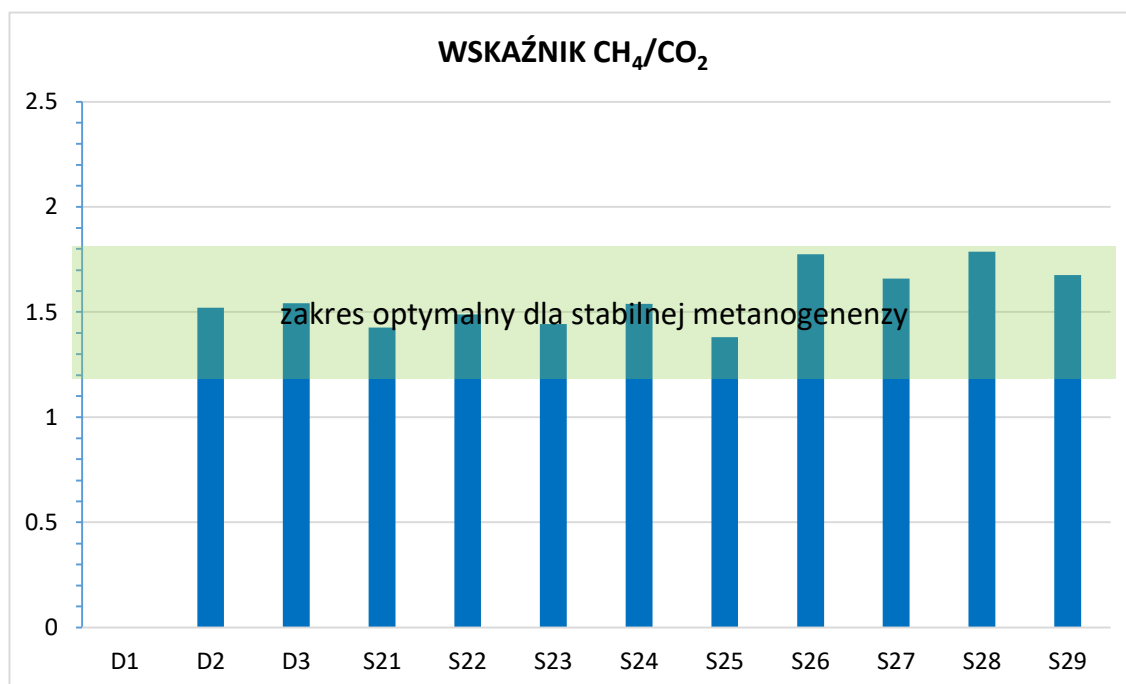
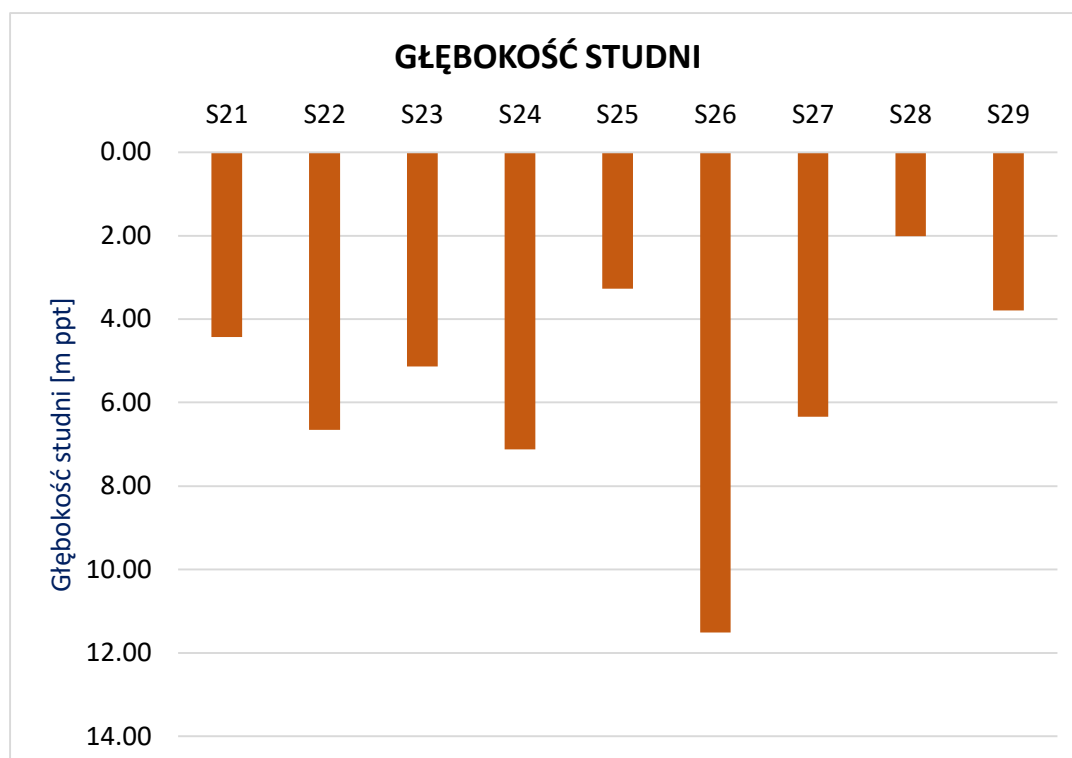
Rysunek 8 Ciśnienie gazu w studniach gazowych i czyszczakach



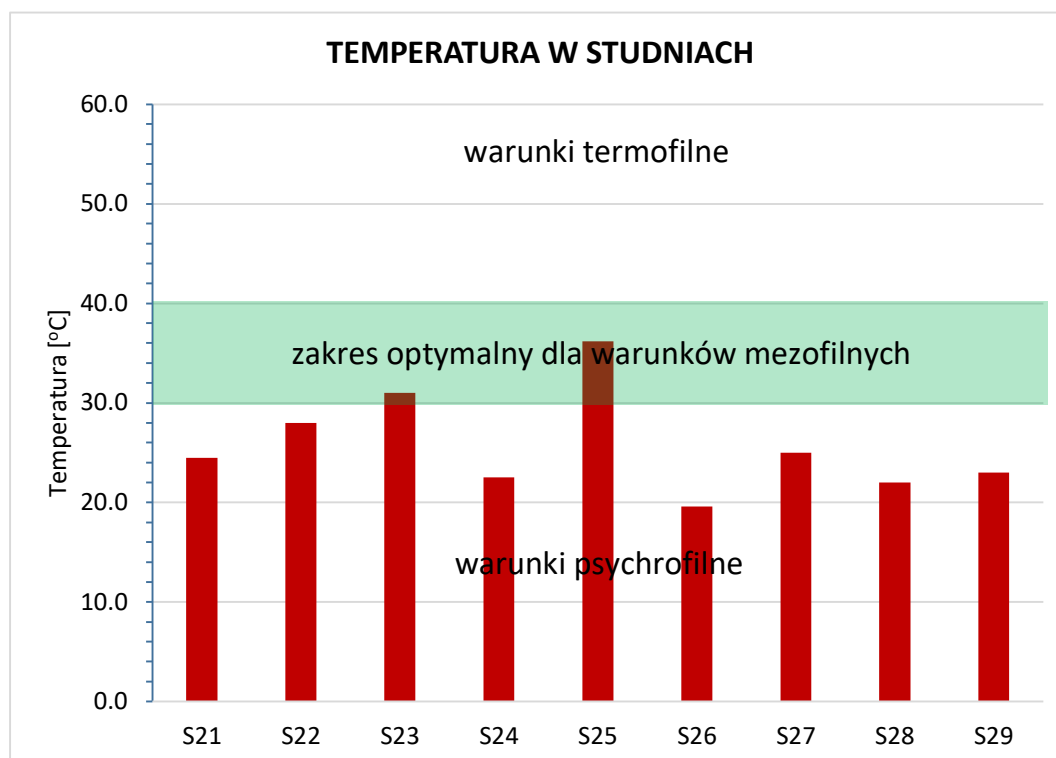
Rysunek 9 Strumień objętościowy gazu



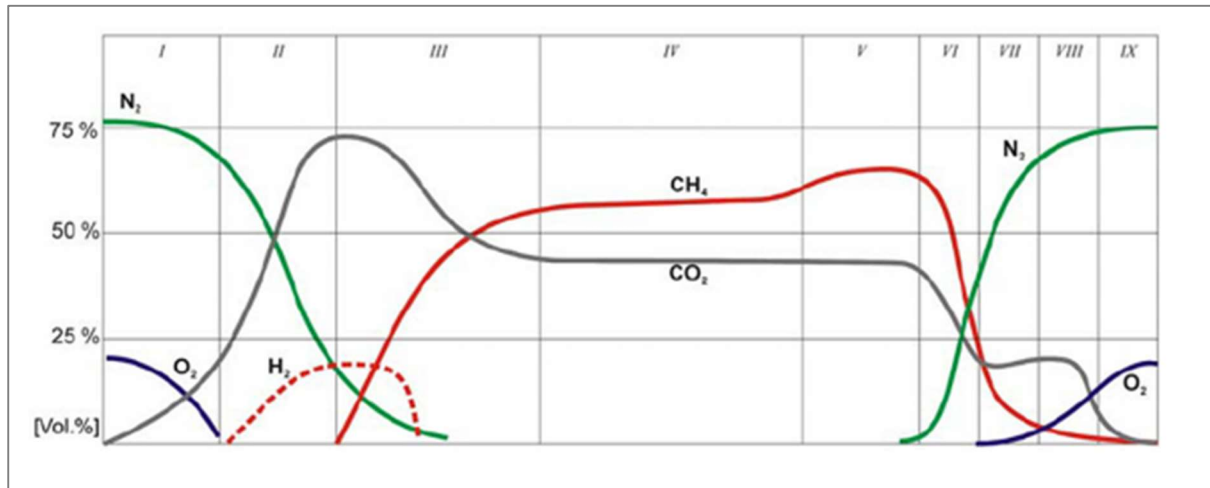
Rysunek 10 Stężenie siarkowodoru w gazie

Rysunek 11 Wskaźnik CH_4/CO_2 w studniach gazowych

Rysunek 12 Głębokość studni gazowych



Rysunek 13 Temperatura w studniach gazowych



Rysunek 14 Fazy produkcji gazu w składowisku odpadów

Fazy produkcji biogazu składowiskowego podczas rozkładu materii organicznej:

- Faza I – tlenowa (aerobowa)
- Faza II – kwasogenna (kwasowa)
- Faza III – niestabilna kwasogenna (octowa)
- Faza IV – stabilna beztlenowa metanogeneza
- Faza V – metanogeneza długoterminowa
- Faza VI – penetracja powietrza
- Faza VII – utlenianie (oksydacja) metanu
- Faza VIII – faza ditlenku węgla (aerobowa)
- Faza IX – faza powietrzna (aerobowa, mineralizacja)

Tabela 8 Omówienie i interpretacja wyników pomiarów

Opis pomiaru	Interpretacja wyników	Zalecane działania
Skład gazu	Typowy dla stabilnej metanogenezy (fazy IV i V) na co wskazują stężenia metanu i ditlenku węgla oraz proporcje tych dwóch gazów (wskaźnik CH₄/CO₂). Gaz nierozcieńczony powietrzem mimo stosowania jedynie dziennej warstwy izolacyjnej (przesypki), co świadczy o intensywnej generacji, budowaniu się rezerwuaru gazu w złożu oraz emisjach powierzchniowych. Wysokie stężenia siarkowodoru w gazie wynikające ze składu odpadów. Odpady zawierające związki siarki (np. budowlane typu płyty kartonowo gipsowe) w warunkach beztlenowych generują nawet do kilku procent siarkowodoru w gazie składowiskowym (1% obj. = 10 000 ppm). Różnice w pomiarach rurkami wskaźnikowymi Draegera i analizatorem przenośnym wyposażonym w sensor elektrochemiczny są zjawiskiem normalnym. Wyniki są spójne, ponieważ mieszczą się w tych samych rzędach wielkości. Tlenek węgla poniżej progu detekcji (10 ppm) świadczy o dobrej okrywie dzienną warstwą izolacyjną i braku symptomów pożaru podpowierzchniowego. Nieobecność tlenu węgla wyklucza również reakcję krzyżową z czujnikiem siarkowodoru.	Skład gazu wskazuje na wysokie ryzyko incydentów odorowych. Odgazowanie pasywne przy zaobserwowanych ilościach i jakości gazu nie spełnia wymagań aktualnie obowiązującego rozporządzenia. Emitowanie do atmosfery niespalonego gazu jest sprzeczne z wymogami rozporządzenia w sprawie składowisk i wpływa niekorzystnie na zmiany klimatu (emisja metanu – gazu cieplarnianego) oraz bezpośrednie otoczenie składowiska (odory i ekspozycja personelu na siarkowodór). Rozwiązaniem jest instalacja aktywnego systemu odgazowania z unieszkodliwianiem gazu i podłączenie do niego systemu drenażu odcieków. Zachować szczególną ostrożność przy pracach wykonywanych na terenie kwatery. Przeszkolić pracowników, akcentując zagrożenie siarkowodorem. Uwzględnić obecność siarkowodoru w gazie w Dokumencie Zabezpieczenia przed Wybuchem. Zaopatrzyć pracowników w osobiste czujniki gazu (gaz palny, siarkowodór, tlen). Monitorować okresowo poziom siarkowodoru i tlenu węgla.

Opis pomiaru	Interpretacja wyników	Zalecane działania
Ciśnienie gazu	Nadciśnienie na wszystkich studniach mimo stosowania jedynie dziennej warstwy izolacyjnej (przesypki), co świadczy o intensywnej generacji, budowaniu się rezerwuaru gazu w złożu oraz emisjach powierzchniowych.	Instalacja aktywnego systemu odgazowania, bardziej skutecznego od istniejących przedłużanych studni pionowych.
Strumień gazu (Natężenie przepływu)	Poniżej progu detekcji (ok. 0,08m ³ /h) tylko na 3 z 9 studni. Suma strumienia gazu z 6 studni wynosi około 20 m ³ /h, co jest spójne z wynikami modelowania, uwzględniając odgazowanie pasywne. Przy aktywnym odgazowaniu, skutecznym przykryciu odpadów i sprawnym systemie odgazowania ilość gazu zbliżyłaby się najprawdopodobniej do wartości prognozowanych. Pomiary potwierdzają fazę stabilnej metanogenezy.	Instalacja aktywnego systemu odgazowania, bardziej skutecznego od istniejących przedłużanych studni pionowych. Rozważyć wykorzystanie gospodarcze gazu po osiągnięciu poziomu generacji zapewniającego pracę generatora.
Temperatura	Bliska optymalnego zakresu dla warunków mezofilnych stabilnej metanogenezy (30 – 40°C). Wartości temperatury potwierdzają wysoką aktywność gazową złoża. Obniżenie temperatur może być spowodowane stosunkowo niewielką miąższością odpadów i wymianą ciepła z atmosferą (przez emitowany gaz). Różnice temperatur w złożu odpadów to zjawisko normalne, powodowane różnicami w składzie odpadów, intensywnością zachodzących reakcji oraz wymianą gazową z atmosferą.	Okresowy monitoring w celu ustalenia trendu zachodzących procesów i jako profilaktyka pożarów podpowierzchniowych. W przypadku wykrycia stężeń tlenu powyżej 50 - 100 ppm, sprawdzić kwaterę pod względem innych ewentualnych symptomów pożarów podpowierzchniowych.
Głębokość studni	Odpowiada miąższości odpadów. Prawdopodobnie dwie studnie (S25 i S28) są zablokowane wskutek deformacji filtrów studni gazowych. Stosunkowo niewielka głębokość studni może mieć wpływ na temperatury zmierzone w złożu, nieco obniżone w stosunku do optimum dla warunków mezofilnych. Brak wyraźnego poziomu odcieków dowodzi skuteczności działania drenażu grawitacyjnego. Gaz obecny jest również w czyszczakach, co świadczy o niezalaniu sączków i wolnej przestrzeni w rurach umożliwiającej odprowadzanie gazu.	Przedłużane studnie pionowe nie są optymalnym rozwiązaniem dla kwater eksploatowanych. Istnieje wysokie ryzyko uszkodzenia studni i gazociągów przez pracujący na składowisku sprzęt. Niższy stopień zagęszczenia odpadów przy samych studniach powoduje różnice w osiadaniu odpadów i deformacje rur prowadzące do niedrożności studni. Nierówne osiadanie odpadów stwarza również problemy przy późniejszej rekultywacji kwater.

Opis pomiaru	Interpretacja wyników	Zalecane działania
		Skutecznym rozwiązaniem są tracone poziome studnie gazowe, wyprowadzane poza obręb kwatery. Po zamknięciu i zakończeniu prac rekultywacyjnych kwatery uzasadniona jest instalacja studni pionowych.

7. Istniejący system odgazowania kwater zamkniętych

W dniach 25 i 27 października dokonano oględzin istniejącego systemu odgazowania kwater zamkniętych.

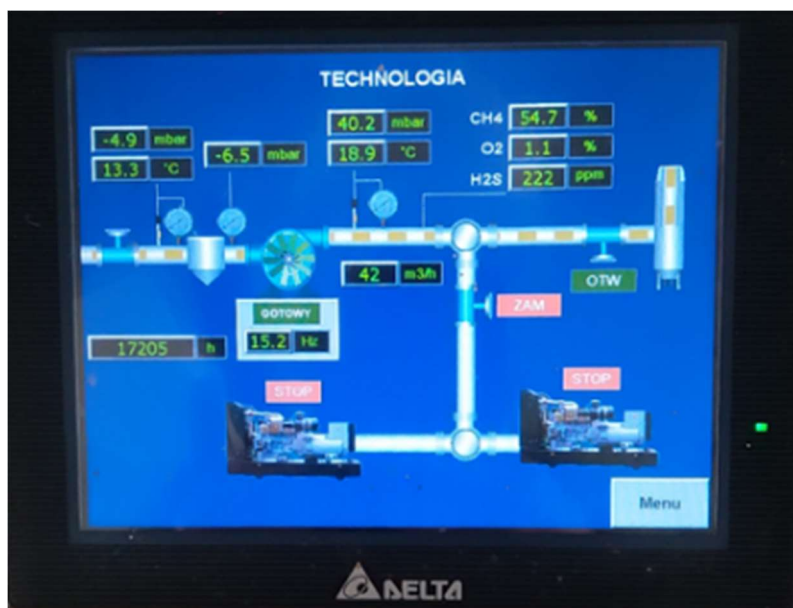
Stan techniczny stacji zbiorczej, stacji ssawy i małej elektrowni biogazowej należy ocenić jako zadowalający. O ile podjęta zostanie decyzja o użytkowaniu tych urządzeń do zagospodarowania gazu z kwatery 03, wymagany będzie regularny serwis i szereg prac naprawczych.



Fot. 14 Widok na urządzenia do utylizacji gazu

Od lewej: dwa agregaty kogeneracyjne z odsiarczalnikami, stacja ssawy, pochodnia typu półzamkniętego, stacja zbiorcza gazu.

Uruchomiono stację ssawy i pochodnię. Pochodnia działała bezawaryjnie ponad 48 godzin.



Fot. 15 Zrzut ekranu stacji ssawy

Natężenie przepływu gazu 42 m³/h, podciśnienie -6,9 mbar, falownik ustawiony na 15,2 Hz.



Fot. 16 Pochodnia spalająca gaz z zamkniętych kwater

Parametry eksploatacyjne świadczą o zanikającej generacji gazu na zamkniętych kwaterach.



Fot. 17 Wnętrze stacji zbiorczej

W dolnym prawym rogu widoczna przepustnica gazociągu z kwatery I.

Większość zaworów regulacyjnych zamknięta. Widoczne ślady korozji mosiężnych zaworów spowodowanej kontaktem z siarkowodorem, co powoduje niedomykanie zaworów i utrudnienie regulacji studni.



Fot. 18 Wnętrze stacji ssawy

Większość urządzeń jest sprawna, wymaga jedynie regularnego serwisowania i pewnych prac naprawczych.



Fot. 19 Agregat kogeneracyjny z odsiarczalnikiem

Praktycznie nieużywany. Odsiarczalniki wypełniane węglem aktywowanym utraci funkcjonalność przy ładunku siarkowodoru rzędu kilku tysięcy ppm, zawartego w gazie z kwatery 03. Do spalania w pochodni oczyszczanie gazu jest zalecane, choć niewymagane.



Fot. 20 Widok na skarpe kwatery 02

Większość studni gazowych ulokowana jest na obrzeżu kwater, raczej niż w ich środku. Sprzyja to rozszczelnieniu systemu, napowietrzaniu złoża odpadów oraz niskiej efektywności ujmowania gazu. Studnie, zainstalowane prawie 10 lat temu utraciły częściowo lub całkowicie swoją funkcjonalność z powodu kolmatacji, zamulenia i osiadania odpadów.

Zbadano wybraną losowo studnię (S-13) na kwaterze 02. Wyniki pomiarów wykazały nieznaczne nadciśnienie (przy wyłączonej pochodni) i podciśnienie (przy włączonej pochodni), co wskazuje na drożność gazociągu.



Fot. 21 Pomiary parametrów gazu w studni gazowej S-13



Fot. 22 Parametry gazu w studni gazowej S-13

Podciśnienie przy pracującej ssawie wskazuje na drożność gazociągu.

Skład gazu wskazuje na końcowe fazy generacji gazu (końcówka fazy V - metanogenezy długoterminowej) i początek fazy VI (penetracji powietrza).

Obecność tlenu świadczy o nieszczelności studni lub punktu pomiarowego i zaciąganiu powietrza. Nadmiar azotu (13,15%) wskazywałby na zaciągania powietrza do złoża i początek wtórnej aeracji.

W wyniku wywiadu z pracownikiem obsługi ustalono, że pochodnia uruchamiana jest przeważnie raz w tygodniu, po nagromadzeniu się rezerwuaru gazu w systemie, co umożliwia jej nieprzerwaną pracę w ciągu kilka do kilkunastu godzin. Po tym okresie pochodnia wyłącza się z powodu spadku jakości i strumienia gazu. parametry gazu nie pozwalają na uruchomienie agregatów kogeneracyjnych.

Gaz z kwatery I dołączany jest okresowo po otwarciu zaworu w stacji zbiorczej. Skład gazu wskazuje na końcową fazę zanikającej generacji gazu. Gazociąg doprowadzający gaz z kwatery I jest drożny.

Wnioski:

1. Częściowo wykorzystywana instalacja, dysponująca sporym zapasem wydajności, ma potencjał do zagospodarowania gazu z kwatery 03.
2. Przed podjęciem ostatecznych decyzji wymagany będzie przegląd urządzeń, ewentualne naprawy oraz testy drożności i spadków ciśnienia w kolektorze.
3. Uwzględniając stężenie siarkowodoru w gazie generowanym na kwaterze 03 istniejące odsiarczalniki, bazujące na węglu aktywowanym, mogą okazać się zbyt kosztowne w eksploatacji, jeśli podjęta zostanie decyzja o gospodarczym wykorzystaniu gazu. Gaz może być spalany w pochodni bez oczyszczania.
4. Gaz z istniejącego systemu odgazowania na zamkniętych kwaterach odprowadzany jest tylko okresowo, wskutek niskiej intensywności generacji oraz stanu technicznego studni i gazociągów. Strategia odgazowania może włączać ciągłą pracę instalacji na gazie z kwatery

03 i okresowe dołączanie istniejącej instalacji pod ścisłym nadzorem, aby nie dopuścić do obniżenia parametrów gazu.

5. Jeśli rozważane byłoby podłączenie istniejącej instalacji i próba usprawnienie jej działania, wymagałoby to przeprowadzenia testów. Wyrwkowe oględziny wskazują na drożność gazociągów i nieszczelności w systemie. Jest wielce prawdopodobne, że studnie, instalowane około 10. lat temu utraciły swoją drożność i wymagają wymiany na nowe. Większość z nich znajduje się na obrzeżu kwater, co może sprzyjać zaciąganiu powietrza i obniżaniu jakości gazu a także napowietrzaniu złoża prowadzącego do obniżenia intensywności generacji gazu.
6. Technicznie możliwe jest wpięcie kolektora gazu z kwatery 03 do kolektora gazu DN160 prowadzącego z kwatery I do stacji zbiorczej.



Rysunek 15 Lokalizacja studzienki z wpięciem do kolektora gazowego DN160 z kwatery I

8. Koncepcje systemu odgazowania

Warianty odgazowania kwatery 03 przedstawiono i omówiono w Tabeli 9.

Schematy systemu odgazowania zobrazowano na Rysunkach 18 - 22.

Szacunkowe koszty zestawiono w Tabelach 10 - 12.

Pochodnia typu otwartego ze ssawą, proponowana w wariantcie 1 miałaby wydajność 150-200 m³/h, ciśnienie minimum 100 – maksimum 150 mbar (hPa). Montaż na jednej płycie drogowej o wymiarach 1,5 x 3,0 m. Zasilanie pochodni – prąd jednofazowy o napięciu 230V, maksymalny pobór mocy około 2-2,5 kW. Ostateczna cena zależy od poziomu zautomatyzowania pochodni (np. automatyczny zapłon w razie zgaśnięcia płomienia, powiadomienie SMS-em o wyłączeniu, start pochodni sygnałem zdalnym z telefonu komórkowego lub komputera – do omówienia przed zamówieniem urządzenia).

Warianty 2A, 2B i 3B przewidują wykorzystanie istniejącej stacji zbiorczej, stacji ssawy i pochodni. Zainstalowana aktualnie ssawa ma dostateczną wydajność i ciśnienie do odprowadzenia gazu z kwatery 03. Pokonanie strat ciśnienia wymagać będzie doboru odpowiedniej średnicy gazociągów i kolektora oraz nastaw ssawy. W związku z tym koszty eksploatacyjne ssawy z silnikiem o mocy 7,5 kW (nawet pracującego z połową obciążenia) mogą okazać się wyższe od kosztów eksploatacji ssawy z silnikiem 2,5kW na pochodni autonomicznej. Wstępny szacunek kosztów, bez uwzględnienia amortyzacji i inflacji, wskazuje na przewyższenie kosztów przez istniejącą instalację w 4. roku eksploatacji.

Warianty 2A, 2B i 3B dają teoretyczną możliwość wykorzystania gazu do produkcji energii. Należy wziąć pod uwagę następujące czynniki, warunkujące podjęcie decyzji o użytkowaniu generatorów:

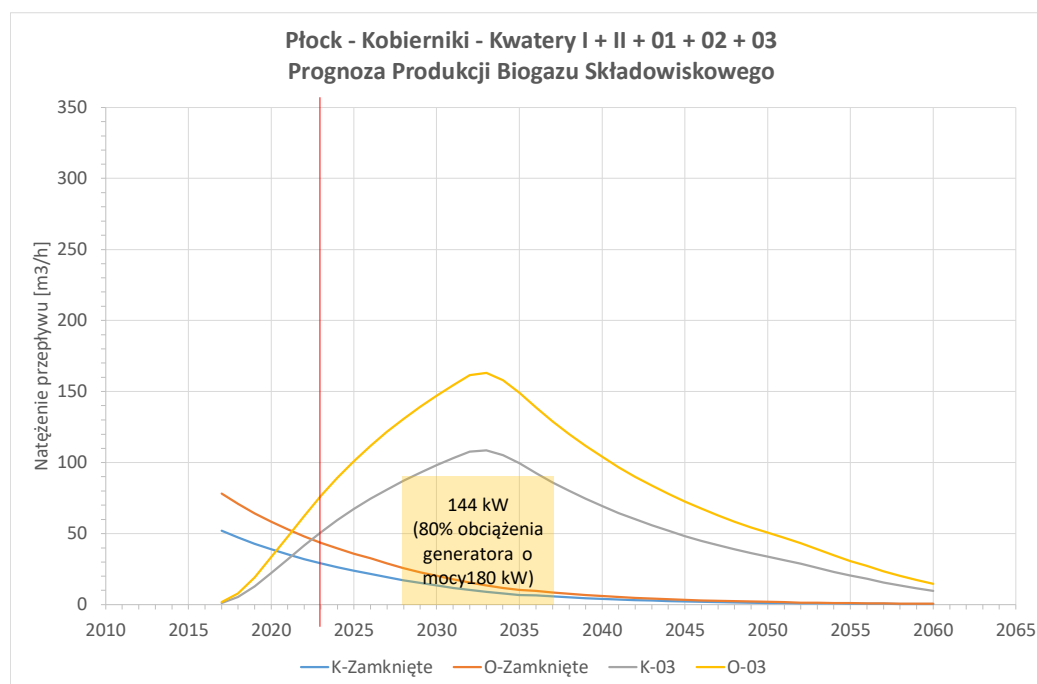
- zanieczyszczenie gazu siarkowodorem. Przy tak wysokich stężeniach, rzędu kilku tysięcy ppm, koszt oczyszczania gazu przy pomocy węgla aktywowanego byłby nieuzasadniony ekonomicznie. Aktualnie zainstalowane odsiarczalniki musiałby co najmniej dziesięciokrotnie zwiększyć swoją wydajność. Bazując nawet na danych z poprzednich lat (obciążenie 500 ppm H₂S, koszt wymiany rocznie w jednym odsiarczalniku przy nieregularnej pracy generatorów rzędu 2500 PLN) ciągła praca jednego generatora na 80% mocy wymagającej strumienia gazu około 90-100 m³/h przy zanieczyszczeniu średnio 5000 ppm, wykluczałaby używanie istniejącego odsiarczania. Istniejący odsiarczalnik wystarczałby na kilka godzin pracy. Pomijając koszty kapitałowe nowej instalacji odsiarczania i wzrost kosztów zakupu węgla aktywowanego, koszty eksploatacyjne byłyby niewspółmiernie wysokie do kosztów wygenerowanej energii (140 kW x 6 h x 0,3744 PLN/kWh = 314,50 PLN) przy 2500 PLN (stara cena!) kosztów wymiany węgla aktywowanego. Nawet po dodaniu offsetu z wykorzystania ciepła użytkowego jest mało prawdopodobne, aby koszt wytworzonej i sprzedanej energii zrekompensowałby koszt oczyszczania gazu. Budowa stacji oczyszczania gazu opartej na innej technologii (np. biologicznej) dla tak niewielkiego przedsięwzięcia i na stosunkowo krótki okres czasu wytwarzania energii (rzędu 8 – 9 lat) na tym etapie wydaje się nieekonomiczna, uwzględniając zakontraktowaną cenę sprzedaży energii. Jednakże biorąc pod uwagę wzrost cen energii, nie należy jej całkowicie odrzucać i warto rozpatrzyć ponownie, jeśli sytuacja zmieni się na korzyść (tj. wyższa cena sprzedaży energii i/lub niższe od przewidywanego stężenie siarkowodoru).

- odgazowanie w trakcie eksploatacji – wahania strumienia i jakości gazu, niegwarantujące ciągłości dopływu gazu do generatorów

- wymaganą minimalną ilość gazu do zapewnienia ciągłej pracy silnika z minimum 75 – 80% obciążeniem, rzędu 90 m³/h, co może być trudne do osiągnięcia w warunkach eksploatacji kwatery (stosowanie niskiego podciśnienia, aby nie zaciągać powietrza do złoża, ryzyko uszkodzenia gazociągów, potrzebę odłączania studni w miarę zapełniania kwatery itp.)
- możliwość eksportu energii przez istniejący system dostarczający do sieci energię z paneli fotowoltaicznych
- cenę sprzedaży energii elektrycznej (aktualnie zakontraktowana 374.40 PLN/MWh)
- możliwość wykorzystania ciepła użytkowego na potrzeby zakładu.

Przy aktualnej sytuacji rynkowej i zmieniających się cenach nie jest możliwe przeprowadzenie miarodajnej i długoterminowej analizy ekonomicznej. W chwili, gdy dojdzie do choćby tymczasowej stabilizacji cen, należałoby wrócić do tematu.

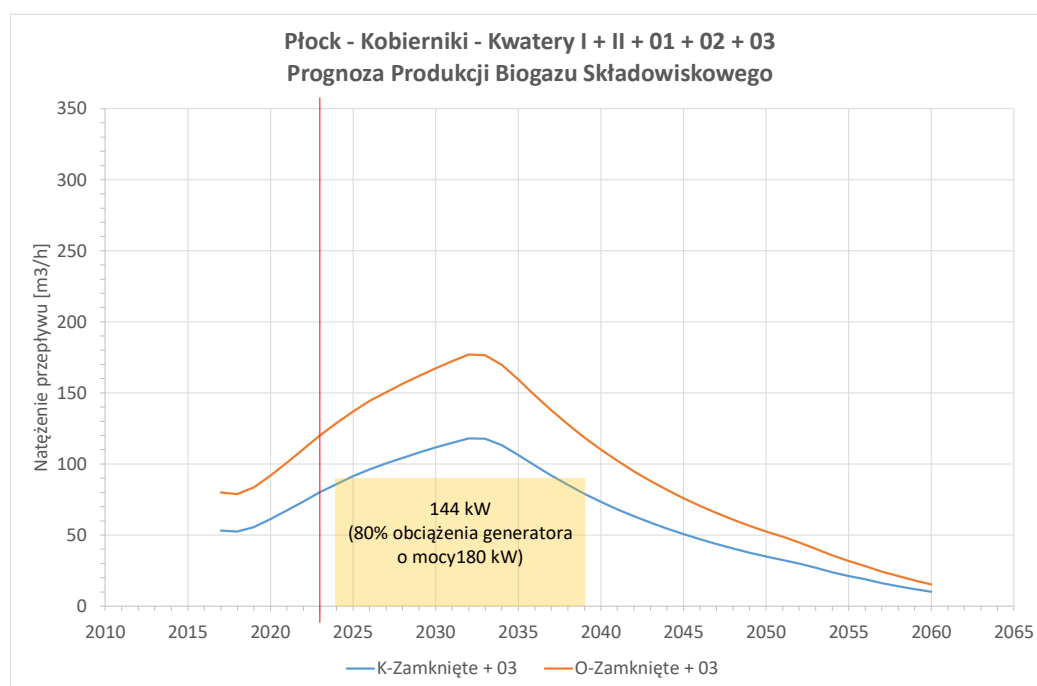
Dla ilustracji na Rysunkach 16 i 17 przedstawiono okresy, w których mogłaby być generowana energia.



Rysunek 16 Okres generacji energii z gazu z kwatery 03

Jest to najbardziej prawdopodobny scenariusz, niewymagający modernizacji systemu odgazowania na zamkniętych kwaterach. Minimalna ilość gazu do wykorzystania gospodarczego osiągnięta byłaby w roku 2028. Wzrastająca produkcja gazu związana jest z utrzymywaniem się wysokiej zawartości siarkowodoru. Spadku siarkowodoru można się spodziewać kilka lat po zamknięciu kwatery lub wcześniej, w przypadku zmiany morfologii odpadów.

Optymalnym rozwiązaniem pomocnym przy podjęciu decyzji o wykorzystaniu energii jest monitorowanie parametrów gazu i trendu stężeń związków śladowych. W przypadku wykrycia obniżającego się trendu i parametrów zapewniających ciągłą pracę generatora należy sprawdzić ekonomikę projektu i podjąć decyzję o użytkowaniu elektrowni.



Rysunek 17 Okres generacji energii z gazu z kwater 03 i kwater zamkniętych

Z wykresu wynika, że teoretycznie generację energii można rozpocząć już w roku 2024, jednakże wymagałoby to modernizacji systemu odgazowania na zamkniętych kwaterach – odwiercenie nowych studni, ułożenie gazociągów, podłączenie ich do stacji zbiorczej. Uwzględniając niewielkie ilości gazu i spadkowy trend produkcji gazu, nawet bez szczegółowych obliczeń wariant ten wydaje się ekonomicznie nieuzasadniony. Można pokusić się o zbadanie efektywności i próbę regulacji istniejącego systemu, co jest rozwiązaniem najtańszym, ale niegwarantującym ciągłości dostaw gazu.

W obu przypadkach przedstawionych na Rysunkach 16 i 17 pozostaje do rozwiązania omówiony wcześniej problem oczyszczania gazu z siarkowodoru.

Z uwagi na ograniczony zasięg działania oraz znane z praktyki potencjalne problemy z efektywnością odprowadzania gazu przez przedłużane studnie pionowe (osiadanie odpadów, zginięcie i ścinanie rur) koncepcja przewiduje połączenie studni poziomych z przelotami studni pionowych. Ich uszczelnienie i połączenie w jeden system pozwala na efektywną kontrolę emisji gazu.

Studnie poziome będą przysypywane odpadami w trakcie eksploatacji kwater. Ułożenie ich na warstwie odpadów o miąższości ok 7 – 8 m zapewni utworzenie ścieżek dopływu gazu do instalacji. W miarę zapełniania kwater może zajść potrzeba ułożenia kolejnego poziomego studni horyzontalnych w warstwie odpadów 14 – 15 m i połączenia ich z kolektorem.

Studnie poziome wkopywane są w odpady i obsypywane tłuczniem lub żwirem, aby zmniejszyć ryzyko ich uszkodzenia przez ciężki sprzęt pracujący na terenie kwater.

Wybór studni poziomych uwarunkowany jest możliwością ich eksploatacji podczas zapełniania kwater z minimalnie możliwym ryzykiem ich uszkodzenia. Ryzyko uszkodzenia studni pionowych i gazociągów doprowadzających gaz od tych studni do pochodni aktywnej (lub kolektora) przez pracujący na składowisku sprzęt jest nieporównywalnie większe. Poza tym, studnie pionowe rozsiane rzadko na terenie kwater nie zapewnią skutecznej kontroli emisji gazu z uwagi na ograniczony zasięg

oddziaływania i wymienione wyżej mankamenty studni budowanych i przedłużanych w trakcie zapewniania kwatery.

Specyfikacja docelowego systemu odgazowania (po zamknięciu kwatery) zależeć będzie od efektywności proponowanego systemu poziomego w chwili przystąpienia do prac rekultywacyjnych. Może okazać się, że system należy uzupełnić o kolejną, trzecią warstwę studni poziomych lub o wiercone studnie pionowe (zwykle stosuje się 4 – 8 studni na hektar powierzchni w celu zapewnienia skutecznego odprowadzania gazu ze złoża). Decyzja uwarunkowana będzie m.in. oceną działającego systemu odgazowania, poziomem odcieków, stopniem zagęszczenia odpadów, zakresem i etapowaniem planowanych prac rekultywacyjnych. Dlatego też należy dokumentować nastawy i regulacje proponowanego systemu odgazowania, co umożliwi prawidłową ocenę efektywności jego działania.

Zastosowanie **aktywnego systemu odgazowania** wiąże się z następującymi **korzyściami**:

- pozytywny efekt środowiskowy w postaci kontroli emisji gazu, a co za tym idzie, minimalizacji odorów i emisji gazu cieplarnianego, jakim jest metan wchodzący w skład gazu składowiskowego;
- podwyższenie poziomu bezpieczeństwa składowiska – kontrola stref zagrożenia wybuchem, minimalizacja niekontrolowanych emisji gazu z powierzchni składowiska i systemu drenażu odcieków, obniżenie ryzyka powstawania pożarów powierzchniowych i podpowierzchniowych;
- poprawa działania systemu drenażu odcieków. Wytworzenie lekkiego podciśnienia na studniach odgazowujących z założenia obniży ciśnienie złożowe gazu, co spowoduje bardziej efektywny spływ grawitacyjny odcieków w kierunku drenażu;
- zwiększenie żywotności i efektywności uszczelnienia składowiska. Poprzez redukcję ciśnienia złożowego gazu zmniejszą się siły oddziałujące na uszczelnienie;
- szybsza stabilizacja odpadów, zmniejszająca długofalowy efekt negatywnego oddziaływania składowiska na środowisko;

Należy zapewnić serwis i obsługę pochodni oraz obsługę systemu odgazowania, w tym okresową regulację studni. Składowisko zawierające odpady ulegające biodegradacji jest żywym organizmem, który podlega naturalnym zmianom. Okresowa regulacja systemu odgazowania utrzymuje optymalne parametry pracy systemu odgazowania, zapobiegając niekontrolowanym emisjom i prowadząc do szybszej stabilizacji odpadów, zmniejszając przez to oddziaływanie składowiska na środowisko.

Tabela 9 Warianty koncepcyjne systemu odgazowania

	Wariant 1	Wariant 2A i 2B	Wariant 3A i 3B
Opis wariantu	Instalacja kilku (2 – 3 kondygnacji) 7. studni poziomych z przechwyceniem gazu ze studni pionowych. Wyprowadzenie studni poziomych na północny skraj kwatery 03. Podłączenie do kolektora biegnącego po północnym i zachodnim skraju kwatery 03, doprowadzającego gaz do indywidualnej pochodni ze ssawą (Rysunek 16).	Instalacja studni poziomych z przechwyceniem gazu ze studni pionowych. Wyprowadzenie studni poziomych na północny skraj kwatery 03. Podłączenie do kolektora biegnącego po wschodnim skraju kwatery 03 i do istniejącego kolektora DN160 z kwatery I. Wariant 2B przewiduje krótszy przebieg kolektora – przez środek kwatery I (Rysunki 17 i 18).	Podłączenie istniejących studni pionowych do indywidualnej pochodni ze ssawą (3A) lub do istniejącego kolektora DN160 z kwatery I (3B) (Rysunki 19 i 20).
Uwagi	Kondygnacje studni poziomych należy instalować między 5 – 6 m warstwami odpadów, np. co dwie warstwy odpadów. Kolektor ułożony na północnym skraju kwatery 03.	Wykorzystanie gospodarcze gazu w generatorach wymagać będzie dodatkowo podwyższenia sprawności odsiarczania. Koszt eksploatacji istniejących odsiarczalników wpłynie negatywnie na opłacalność generacji energii. Spadku stężenia siarkowodoru i związków śladowych można się spodziewać dopiero kilka lat po zamknięciu kwatery. Gaz kierowany do pochodni nie musi być oczyszczany.	Rozpatrywany tylko wariant z krótszym przebiegiem kolektora – przez środek kwatery I.
Zalety	Możliwość podłączenia do istniejącej infrastruktury w terminie późniejszym, jeśli ilość i jakość odprowadzanego gazu będzie uzasadniać ekonomicznie generację energii. Kontrola odorów i emisji. Mniejsze szanse przypadkowego zniszczenia	Kontrola odorów i emisji. Mniejsze szanse przypadkowego zniszczenia studni w porównaniu ze studniami pionowymi. System będzie działać mimo możliwego uszkodzenia studni pionowych. Istniejąca ssawo-dmuchała gazowa ma	Koszt obniżony o cenę studni poziomych.

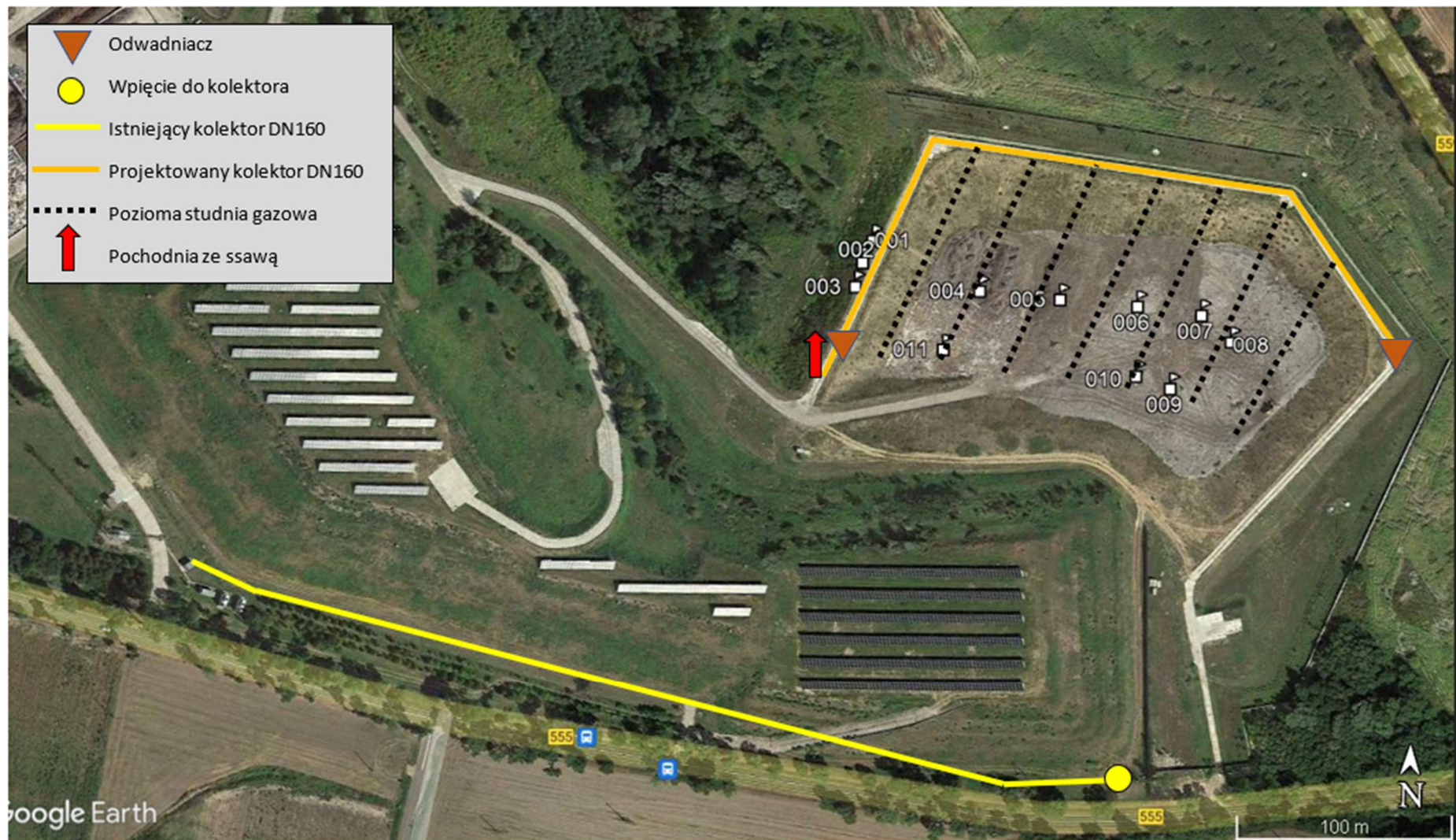
	Wariant 1	Wariant 2A i 2B	Wariant 3A i 3B
	studni w porównaniu ze studniami pionowymi. System będzie działać mimo możliwego uszkodzenia studni pionowych. System autonomiczny, łatwiejszy w eksploatacji i regulacji. Koszt eksploatacji pochodni indywidualnej niższy od kosztów utrzymania istniejącej ssawy i pochodni. System studni poziomych w stosownym czasie może być używany do recyrkulacji odcieków.	zapas wydajności, pozwalający jej na zastosowanie w przedstawionych wariantach. Wyższa skuteczność i niższa awaryjność systemu w porównaniu do Wariantów 3A i 3B. Gospodarcze wykorzystanie gazu możliwe w zasadzie od chwili wybudowania instalacji, jeśli pozwoli na to ilość i jakość gazu. System studni poziomych w stosownym czasie może być używany do recyrkulacji odcieków.	
Wady	Niewykorzystana istniejąca stacja ssawy i pochodnia. Koszt zakupu pochodni ze ssawą.	Koszt eksploatacji może być wyższy w porównaniu z pochodnią indywidualną (różnica w konsumpcji energii).	Słaba wydajność, sprawność systemu dużo niższa w porównaniu z Wariantami 1, 2A i 2B. Wysokie ryzyko nieszczelności systemu. Wysokie ryzyko uszkodzenia studni pionowych i gazociągów przez sprzęt. Trudniejsza regulacja systemu w porównaniu do pozostałych wariantów.
Zagrożenia	Na etapie projektu sprawdzić straty ciśnienia i topografię terenu, aby zapewnić skuteczne odwadnianie.	Na etapie projektu sprawdzić straty ciśnienia i topografię terenu, aby zapewnić skuteczne odwadnianie. Monitorować poziom siarkowodoru i związków śladowych w gazie w przypadku gospodarczego wykorzystania gazu. Przewidywany wysoki koszt odsiarczania gazu w przypadku generacji energii przed zamknięciem kwatery.	Wysoka awaryjność systemu opartego tylko na przedłużanych studniach pionowych. Nieszczelności mogą prowadzić do zaciągania powietrza do złoża i stwarzać ryzyko samozapłonu i pożarów podpowierzchniowych.

	Wariant 1	Wariant 2A i 2B	Wariant 3A i 3B
Szanse powodzenia	Wykonalne.	Wykonalne.	Wykonalne. W praktyce eksploatacyjnej – najmniejsze szanse prawidłowego działania w porównaniu do pozostałych wariantów.
Możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury	Nie. O ile okaże się, że jakość i ilość gazu uzasadniają gospodarcze wykorzystanie gazu, w późniejszym etapie eksploatacji kolektor można przedłużyć i podłączyć do istniejącej infrastruktury, jak w wariantach 2A i 2B.	Tak	Tak
Wstępnie szacowane koszty kapitałowe	290 – 300 tys. zł	270 – 300 tys. zł	260 – 280 tys. zł
Niezbędne zasoby	Opisane w Tabeli 10	Opisane w Tabeli 11	Opisane w Tabeli 12
Analiza opłacalności inwestycji	Efekt ekonomiczny negatywny. Tylko koszty. Zakładając cenę zakupu pochodni 90 tys. zł, zużycie energii i jej serwisowanie, koszty eksploatacyjne szacowane są na około 215 tys. złotych przy hipotetycznej cenie zakupu energii 1zł/kWh. W porównaniu do wariantów 2A i 2B daje to szacunkowo 20 – 25% oszczędności (bez uwzględnienia amortyzacji i inflacji) w ciągu 10 lat.	Ewentualna generacja energii może do pewnego stopnia zrekompensować poniesione koszty. Zob. wyżej informacje dotyczące wykorzystania gospodarczego gazu. Eksploatacja systemu odgazowania przy pomocy istniejącej ssawy o mocy 7,5 kW (na połowę mocy, aby pokonać straty ciśnienia) przy założeniu serwisu urządzeń i tej samej hipotetycznej ceny energii będzie droższa od wariantu 1 o około 20 – 25% w rozpatrywanym okresie 10 lat (szacunkowo ok. 430 tys. zł).	Efekt ekonomiczny negatywny. Tylko koszty. Generacja energii przy wysokoawaryjnym systemie jest ryzykowna i istnieje duże prawdopodobieństwo, że stworzy więcej problemów eksploatacyjnych niż korzyści.

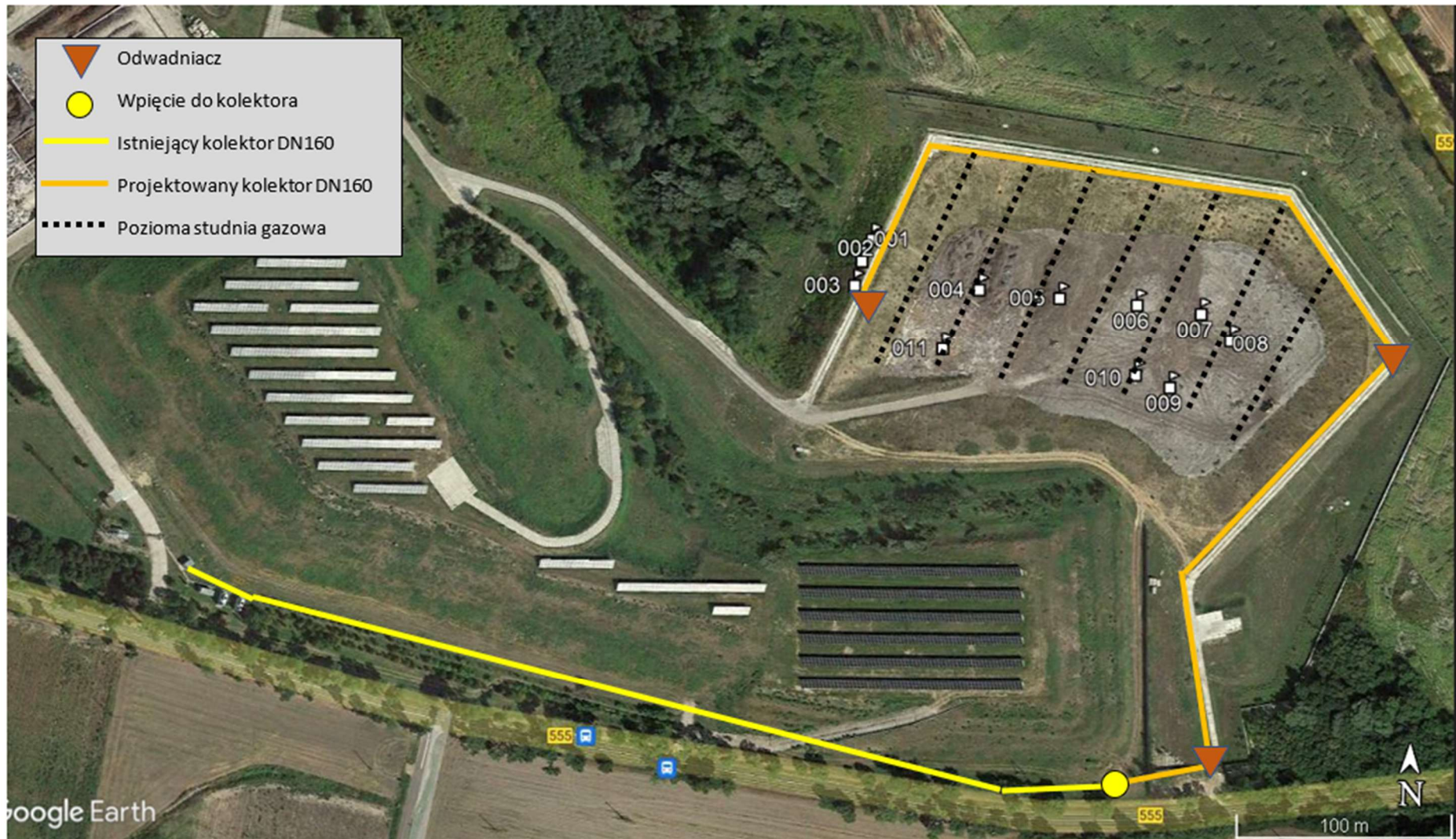
Nie brano pod uwagę:

- wariantu zerowego (brak działania) jako niezgodnego z obowiązującymi przepisami;
- wariantu systemu pasywnego odgazowania jako niezapewniającego akceptowalnego bezpieczeństwa użytkowania systemu, nieskutecznego pod względem kontroli emisji gazu, odorów, pożądanego efektu środowiskowego oraz nie dającego możliwości generacji energii z gazu.

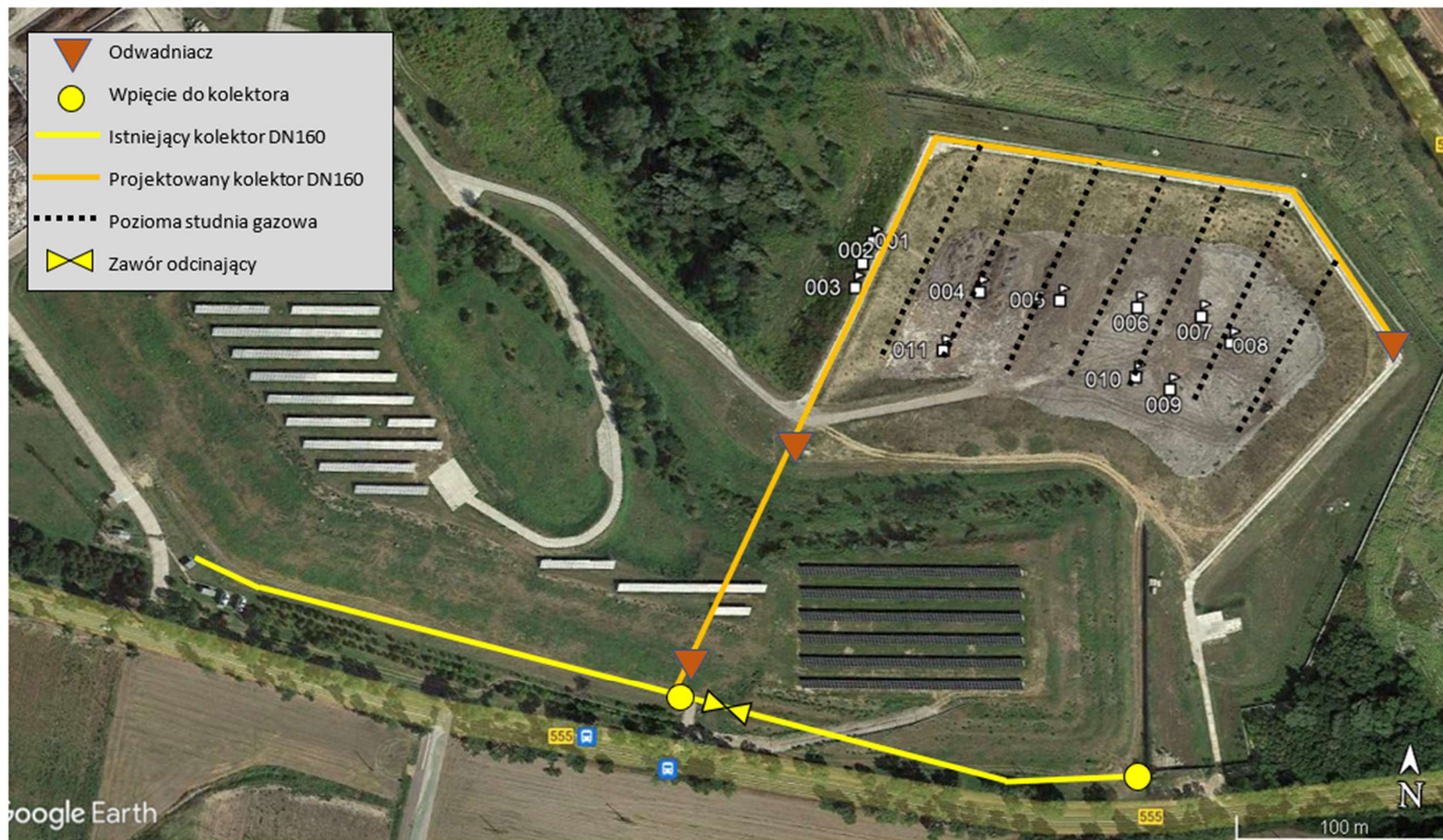
Wiercenie dodatkowych studni pionowych będzie uzasadnione po zamknięciu kwatery. Do tego czasu, optymalnym rozwiązaniem ze względu na ochronę środowiska, koszty i łatwość obsługi jest tracony wielokondygnacyjny system studni poziomych połączony z istniejącym studniami pionowymi.



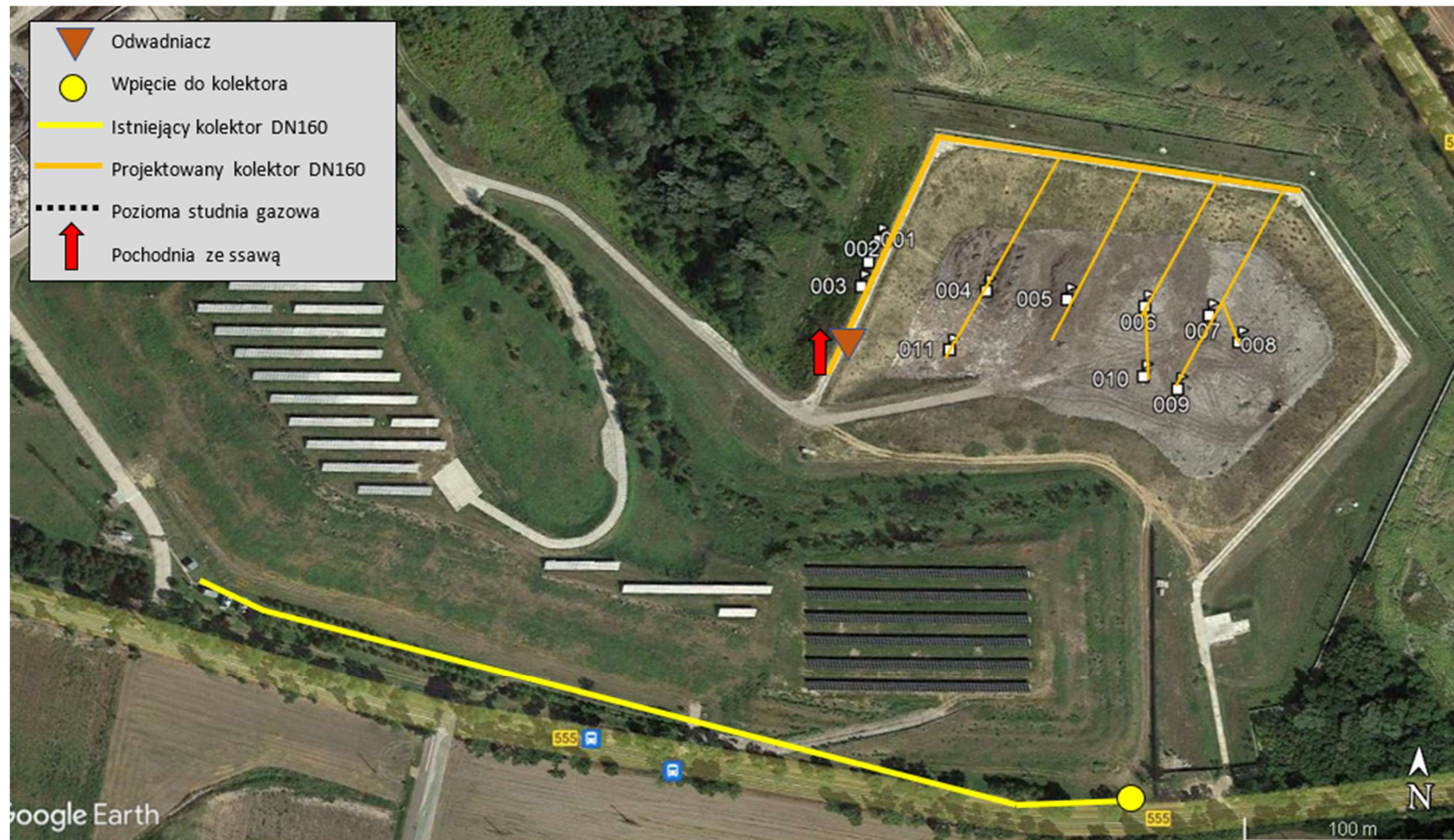
Rysunek 18 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 1



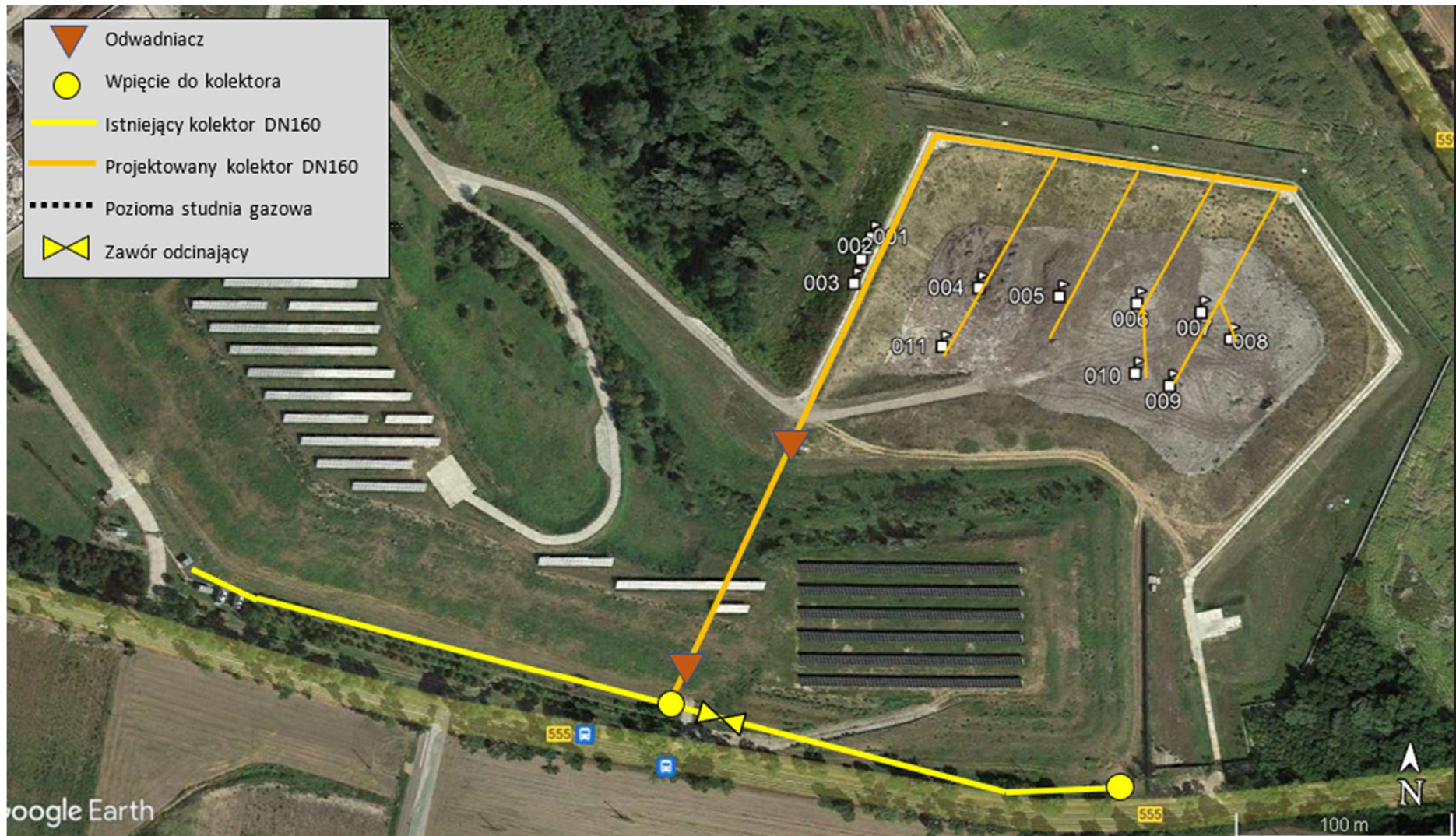
Rysunek 19 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 2A



Rysunek 20 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 2B



Rysunek 21 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 3A



Rysunek 22 Schemat odgazowania kwatery 03 – wariant 3B

Tabela 10 Oszacowanie kosztów infrastruktury wariantu 1

warant 1				
zasoby	urządzenia	sprzęt	materiały	robocizna
PLN 292,000.00				
pochodnia indywidualna	PLN 90,000.00			
odwadniacze (2)	PLN 22,000.00			
studnie poziome			PLN 80,000.00	
podłączenie istniejących studni pionowych				
podłączenie czyszczaków				
kolektor 360 m				
sprzęt (koparka, wozidło, itp.)		PLN 40,000.00		
robocizna				PLN 60,000.00

Tabela 11 Oszacowanie kosztów infrastruktury wariantów 2A i 2B

warant 2A				
zasoby	urządzenia	sprzęt	materiały	robocizna
PLN 273,000.00				
istniejąca stacja ssawy i pochodnia, serwis/naprawy			PLN 20,000.00	
odwadniacze (3)	PLN 33,000.00			
studnie poziome			PLN 100,000.00	
podłączenie istniejących studni pionowych				
podłączenie czyszczaków				
kolektor 630 m				
podłączenie do kolektora po obrzeżu				
sprzęt (koparka, wozidło, itp.)		PLN 50,000.00		
robocizna				PLN 70,000.00
warant 2B				
zasoby	urządzenia	sprzęt	materiały	robocizna
PLN 297,000.00				
istniejąca stacja ssawy i pochodnia, serwis/naprawy			PLN 20,000.00	
odwadniacze (3)	PLN 33,000.00			
studnie poziome			PLN 124,000.00	
istniejące studnie pionowe				
podłączenie istniejących studni pionowych				
podłączenie czyszczaków				
kolektor 550 m				
podłączenie do kolektora przez środek kwatery I				
sprzęt (koparka, wozidło, itp.)		PLN 50,000.00		
robocizna				PLN 70,000.00

Tabela 12 Oszacowanie kosztów infrastruktury wariantów 3A i 3B

wariant 3A				
zasoby	urządzenia	sprzęt	materiały	robocizna
PLN 286,000.00				
pochodnia indywidualna	PLN 90,000.00			
odwadniacz (1)	PLN 11,000.00			
podłączenie istniejących studni pionowych			PLN 85,000.00	
podłączenie czyszczaków				
kolektor 270 m				
sprzęt (koparka, wozidło, itp.)		PLN 40,000.00		
robocizna				PLN 60,000.00
wariant 3B				
zasoby	urządzenia	sprzęt	materiały	robocizna
PLN 262,000.00				
istniejąca stacja ssawy i pochodnia, serwis/naprawy			PLN 20,000.00	
odwadniacze (2)	PLN 22,000.00			
istniejące studnie pionowe			PLN 100,000.00	
podłączenie istniejących studni pionowych				
podłączenie czyszczaków				
kolektor 460 m				
podłączenie do kolektora przez środek kwatery I				
sprzęt (koparka, wozidło, itp.)		PLN 50,000.00		
robocizna				PLN 70,000.00