



UNIwersYTET OPOLSKI
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA I BIOTECHNOLOGII

PRACA DOKTORSKA

Aleksandra Cichoń

**KSZTAŁTOWANIE PROCESÓW PEDOGENICZNYCH
W GLEBACH TECHNOGENICZNYCH Utworzonych
NA ZWAŁOWISKACH KOPALNI WAPIENI
Z UWZGLĘDNIENIEM WYBRANYCH CZYNNIKÓW**

**DEVELOPMENT OF PEDOGENETIC PROCESSES
IN TECHNOGENIC SOILS FORMED ON LIMESTONE MINE SPOIL
HEAPS UNDER THE INFLUENCE OF SELECTED FACTORS**

Praca napisana pod kierunkiem

Promotora: dr hab. Izabelli Pisarek, prof. UO

Promotora pomocniczego: dr inż. Katarzyny Łuczak

Opole 2025

Składam serdeczne podziękowania:

*Promotorowi - Pani dr hab. Izabelli Pisarek, prof. UO
za cenne uwagi i wskazówki oraz pomoc w realizacji
niniejszej pracy*

*Promotorowi pomocniczemu – Pani dr inż. Katarzynie
Łuczak za pomoc merytoryczną i edytorską, za wsparcie
i poświęcony czas
oraz moim niezastąpionym kolegom, na których pomoc
mogłam zawsze liczyć:*

*Panu dr hab. Grzegorzowi Kusza, prof. UO za nieustanną
motywację i godziny spędzone na dyskusjach naukowych,
Panu dr hab. inż. Tomkowi Ciesielczuk, prof. UO oraz
dr Mariuszowi Głowackiemu za pomoc przy analizach
chemicznych oraz za wszelkie sugestie i cenne uwagi.*

Pracę dedykuję mojej rodzinie, za wsparcie i cierpliwość.....

Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Przegląd literatury	7
2.1. Działalność górnicza.....	7
2.1.1. Górnictwo odkrywkowe surowców skalnych	8
2.2. Degradacja gruntów.....	10
2.2.1. Przekształcenia spowodowane działalnością górnictwa odkrywkowego surowców skalnych.....	12
2.3. Rekultywacja gruntów przekształconych	15
2.3.1. Główne kierunki rekultywacji i zagospodarowania wyrobisk surowców węglanowych.....	19
2.3.2. Inne kierunki zagospodarowania wyrobisk powapiennych	23
2.4. Gleby antropogeniczne ze szczególnym uwzględnieniem gleb technogenicznych ..	24
2.5. Procesy glebotwórcze na gruntach pokopalnianych.....	29
2.6. Metody oceny jakości gleb i gruntów.....	33
3. Cel i zakres pracy	37
4. Charakterystyka obiektu badawczego	38
4.1. Lokalizacja obiektu.....	38
4.2. Warunki klimatyczne.....	38
4.3. Położenie fizjograficzne obiektu, geomorfologia, warunki glebowe, struktura użytkowania gruntów	39
4.4. Warunki geologiczne i stratygrafia złoża	40
4.5. Warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne.....	43
4.6. Roślinność	44
4.7. Charakterystyka złoża i eksploatacja surowca w Kopalni „Góraźdże”	45
4.8. Przebieg prac rekultywacyjnych.....	47
5. Metodyka badań	50
5.1. Badania terenowe	50
5.2. Prace laboratoryjne	53
5.3. Prace studyjne.....	56
5.3.1. Wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP _{Ca} – propozycja metodologii.....	56
5.4. Analizy statystyczne	60
6. Omówienie wyników badań.....	61
6.1. Morfologia profili glebowych	61
6.2. Miąższość poziomów próchnicznych.....	81

6.3.	Skład granulometryczny	82
6.4.	Odczyn gleb.....	89
6.5.	Przewodność elektryczna	95
6.6.	Węglan wapnia.....	96
6.7.	Właściwości sorpcyjne	100
6.8.	Formy przyswajalne makroelementów.....	108
6.9.	Węgiel organiczny	115
6.10.	Azot ogólny	122
6.11.	Stosunek C/N.....	128
6.12.	Wskaźniki jakości gleb.....	129
6.12.1.	Wskaźnik jakości gruntów wg Skawiny i Trafas (liczba bonitacyjna).....	129
6.12.2.	Indeks trofizmu gleb leśnych (ITGL)	131
6.12.3.	Wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP _{Ca}	132
7.	Dyskusja wyników	137
8.	Wnioski	147
9.	Streszczenie w języku polskim	149
10.	Streszczenie w j. angielskim	151
11.	Literatura	153
12.	Spis tabel	172
13.	Spis rysunków	175
14.	Załączniki tabelaryczne.....	178

1. Wstęp

Uznanie roli człowieka jako czynnika glebotwórczego pozwala na charakterystykę i klasyfikację gleb głęboko „zmodyfikowanych” lub nawet „uksztaltowanych” w efekcie industrializacji i urbanizacji (Dazzi i Lo Papa 2015). Jednocześnie, w glebach antropogenicznych nie zawsze łatwo jest wyróżnić zaburzenia pedogenetyczne spowodowane działalnością człowieka, zwłaszcza wtedy, gdy nieskonsolidowane mineralne lub organiczne materiały glebowe, pochodzące głównie ze odpadów górniczych lub przemysłowych, zmieszanych warstw ziemnych, gruzu miejskiego itp. generują świeże „antropogeomorficzne” materiały macierzyste, w których „na nowo” oddziałują czynniki glebotwórcze.

Przemysł wydobywczy wspiera rozwój gospodarczy kraju, prowadząc jednocześnie do negatywnych, często nieodwracalnych zmian w środowisku przyrodniczym. Przekształcenia spowodowane przez górnictwo odkrywkowe, mają charakter wielkopowierzchniowy i poprzez tworzone nowe formy takie jak zwałowiska i wyrobiska prowadzą do niszczenia rzeźby terenu oraz deformacji krajobrazu. Jednak przede wszystkim przyczyniają się do degradacji powierzchni ziemi, a wraz z nią trudno odnawialnych zasobów glebowych. Efektem tego jest powstawanie rozległych obszarów gruntów bezglebowych.

Ratunkiem dla zniszczonego środowiska jest przeprowadzenie działań naprawczych, do których zobowiązuje ustawodawca (Dz.U. z 2024 r. poz. 82), czyli rekultywacji gruntów, której zadaniem jest przywrócenie lub nadanie gruntom zdegradowanym albo zdewastowanym wartości użytkowych lub przyrodniczych. W procesie rekultywacji, oprócz ponownego ukształtowania terenu i uregulowania stosunków wodnych, głównym celem jest utworzenie odpowiednich warunków dla wzrostu i rozwoju roślin, co przełoży się na wysoką produktywność biomasy i jakość ekosystemów. Kształtowanie się gleby zmienia się wraz z jej fazą rozwoju. Wielofazowe oddziaływanie czynników glebotwórczych jest potencjalnie procesem nieskończonym, jeśli nie zostanie przerwane przez procesy degradacji naturalnej lub antropogenicznej. Są to procesy przebiegające z rosnącą intensywnością, obejmujące coraz większą miąższość skały macierzystej doprowadzając w efekcie do dojrzałości gleby i równowagi z kompleksem czynników glebotwórczych. Należy podkreślić, iż najistotniejszy w pierwszej fazie rozwoju gleby jest rodzaj podłoża, jego skład granulometryczny i chemizm, a w dalszych etapach rozwoju gleby – biosfera.

Rekultywowane zwałowiska i wyrobiska, w zależności od wydobywanego surowca, mają różny charakter podłoża, dlatego wymagają zastosowania odmiennych technik rekultywacji. W przypadku obiektów po eksploatacji surowców węglanowych charakterystyczną ich cechą są pionowe ściany wyrobiska oraz wysoka zawartość rumoszu skalnego, co praktycznie

wyklucza prowadzenie rekultywacji w kierunku rolnym. Najczęściej proponowanym rozwiązaniem, w zależności od panujących warunków hydrologicznych, jest ich zagospodarowanie w kierunku leśnym lub wodnym.

Rodzaj podłoża stosowanego w rekultywacji, zależy nie tylko od wydobywanego surowca – skały węglanowej, ale również od materiału jaki stanowił nadkład złoża - często materiału piaszczystego.

Właściwa gospodarka nadkładem, jak również odpowiednia technika usypywania podłoża stanowi pierwszy etap w kierunku kształtowania gleb o wysokich wskaźnikach jakościowych. Kolejnym działaniem wpływającym na prawidłowy przebieg procesu glebotwórczego jest dobór właściwej roślinności zielnej jak również odpowiedniego składu gatunkowego drzewostanu, których rolą będzie wspomaganie procesu pedogenicznego m.in. poprzez dostarczanie materii organicznej tworzącej dobrej jakości warstwę próchniczną gleby.

Kopalnie surowców węglanowych, ze względu na charakterystyczne cechy utworów zwałowych takich jak: wysoka zawartość części szkieletowych oraz węglanu wapnia, przestrzenną oraz profilową zmienność uziarnienia, zasadowy odczyn, deficyt pierwiastków biogennych a jednocześnie jakość podłoża, na którym z powodzeniem wzrastają gatunki drzew zarówno liściastych, jak też iglastych, stanowią interesujący obiekt badawczy. Problematyka badań zmian właściwości fizykochemicznych gleb powstałych w wyniku rekultywacji wyrobisk węglanowych pod wpływem czynników czasu i roślinności jest w niewielkim stopniu eksplorowana i stanowi istotny element badań z zakresu pedogenezy gleb technogenicznych. Niniejsza praca stanowi próbę wypełnienia luki w tym zakresie, opierając się przede wszystkim na poznaniu właściwości gleb technogenicznych i ocenie ich przydatności do rekultywacji biologicznej, ze szczególnym uwzględnieniem docelowego leśnego zagospodarowania.

2. Przegląd literatury

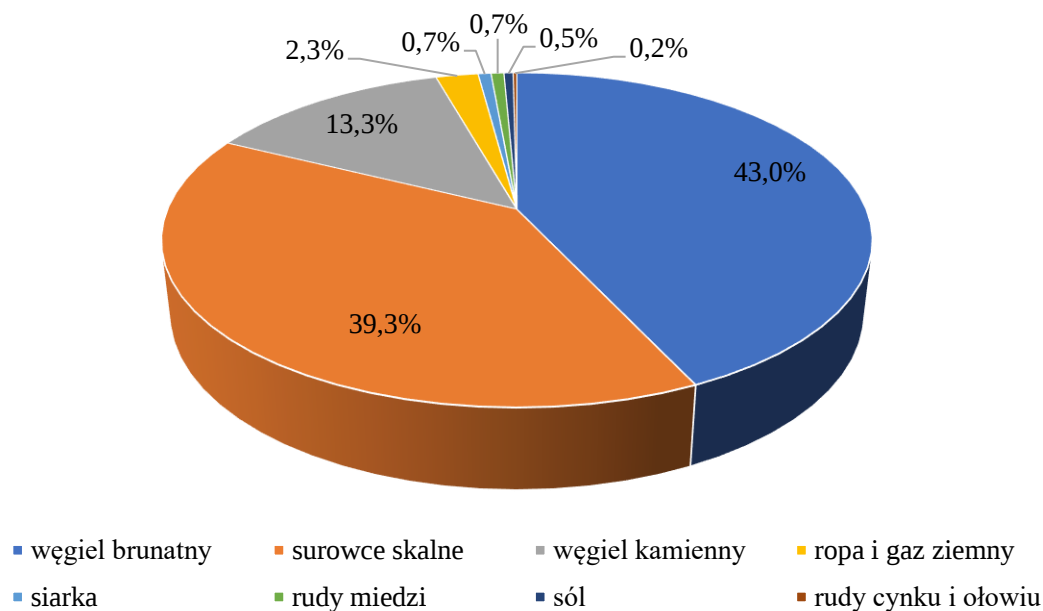
2.1. Działalność górnicza

Intensywny rozwój przemysłu, który nastąpił od drugiej połowy XIX w. z jednej strony przyczynił się do rozwoju gospodarczego kraju, a z drugiej spowodował powstanie niekorzystnych zmian w środowisku przyrodniczym, powodując jego stopniową degradację.

Jedną ze znaczących gałęzi przemysłu, przyczyniającą się w dużym stopniu do powstania szeregu niekorzystnych przekształceń jest górnictwo (Bradshaw 1997, Rosik-Dulewska i in. 1999, Santorius i in. 2007). Działalność wydobywcza obejmuje górnictwo podziemne (węgiel kamienny, rudy miedzi, cynku i ołowiu), otworowe (ropa naftowa, gaz ziemny, sól, siarka, wody lecznicze i termalne) oraz odkrywkowe (węgiel brunatny, surowce skalne).

Rozpatrując główne aspekty wpływu górnictwa na środowisko należy wymienić:

- zajmowanie dużych powierzchni terenów pod działalność eksploatacyjną,
- powstawanie wielkoobszarowych przekształceń powierzchni ziemi zwłaszcza w przypadku górnictwa odkrywkowego,
- powstawanie znacznych ilości odpadów wydobywczych,
- zmiany stosunków wodnych i jakości wód w górotworze i na powierzchni ziemi.



Rys. 1. Udział procentowy gruntów objętych działalnością górniczą z uwzględnieniem rodzaju kopaliny w 2022 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022)

Ciągłe zapotrzebowanie na kopaliny oraz brak możliwości na chwilę obecną zastąpienia ich innymi surowcami powoduje dalszy rozwój przemysłu wydobywczego przyczyniając się tym samym do zwiększania powierzchni terenów zdegradowanych i zdewastowanych w środowisku przyrodniczym (Strzyszc 1982, Dulewski i Madej 2002, Siuta i Żukowski 2011).

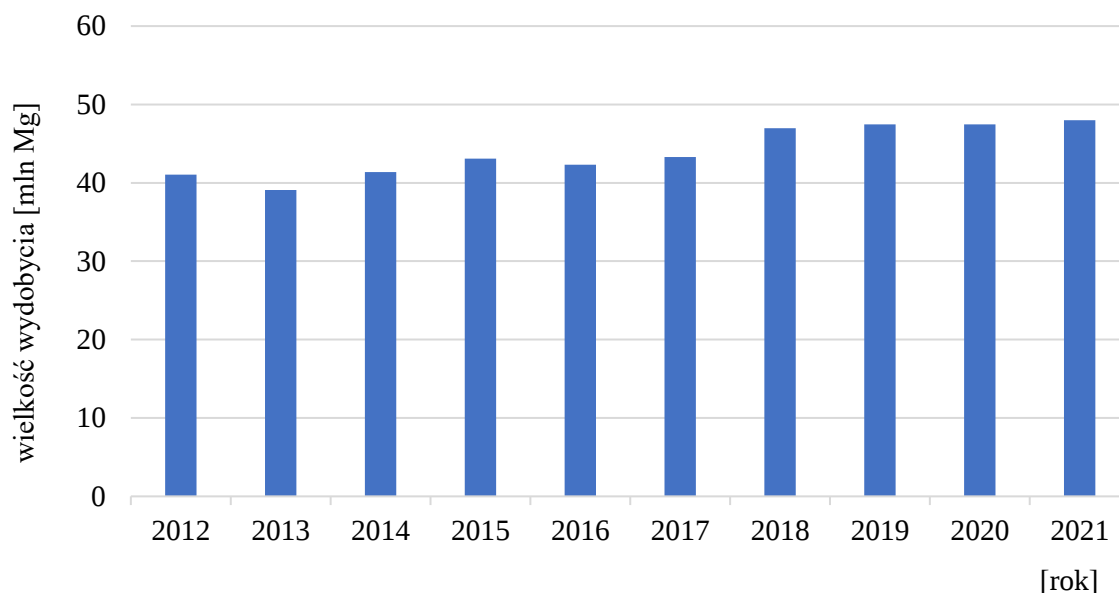
W porównaniu z górnictwem podziemnym, górnictwo odkrywkowe ma większy udział w powstawaniu rozległych, wielkopowierzchniowych obszarów zdegradowanych i zdewastowanych (Chwastek 1980, Craig i in. 2002, Karczewska 2012). Jednocześnie największą powierzchnię spośród gruntów przypadających na działalność górnictwem zajmują kopalnie węgla brunatnego (43%), zaraz za nimi znajdują się wyrobiska surowców skalnych (39,3%), a więc tereny zajęte przez górnictwo odkrywkowe, co przedstawiono na rysunku 1.

2.1.1. Górnictwo odkrywkowe surowców skalnych

Charakterystyczne dla obszarów górnictwa surowców skalnych jest ich silne rozproszenie, przy czym powierzchnia pojedynczych zakładów jest niewielka w porównaniu z terenami zajmowanymi przez górnictwo węgla brunatnego. Ze względu na płytkie zaleganie kopalin, surowce skalne eksploatuje się wyłącznie metodami odkrywkowymi (Karczewska 2012, Ptak 2019). Do surowców skalnych zalicza się kopaliny stałe poza surowcami energetycznymi, metalicznymi i chemicznymi. W Bilansie zasobów złóż kopalin (Bilans zasobów...2022) zostały one podzielone na 30 umownych grup surowców, które obejmują kopaliny zwięzłe (m.in. kamienie łamane i bloczne - bazalt, granit, wapienie i margle), okruchowe (piaski i żwiry), ilaste oraz organiczne (torfy) (Kozioł i Czaja 2010, Ptak 2019).

Wydobycie surowców skalnych w 2021 r. kształtowało się na poziomie 332,43 mln Mg, z czego 14,4% (tj. 48,00 mln Mg) stanowiły wapienie i margle dla przemysłu cementowego i wapienniczego. Przemysł wapienniczy wykorzystuje wapienie o zawartości węglanu wapnia powyżej 90% (wydobycie w 2021 r. – 20,05 mln Mg), natomiast w przemyśle cementowym stosuje się wapienie z dodatkiem iłu oraz margle (wydobycie 27,95 mln Mg). Obecnie w Polsce (dane na rok 2021) występuje 70 złóż wapieni i margli dla przemysłu cementowego oraz 125 złóż wapieni dla przemysłu wapienniczego, a w 9 złożach występują obie odmiany kopalin. Górnictwo wyżej wymienionych kopalin skoncentrowane jest głównie na obszarze trzech województw: świętokrzyskiego, którego udział w krajowym wydobyciu wapieni i margli dla przemysłu cementowo-wapienniczego wynosi 45,0%, opolskiego – udział ten jest szacowany na 19,8% i kujawsko-pomorskiego o udziale 15,2% (Bilans zasobów... 2022).

Analizując dane statystyczne z ostatniego dwudziestolecia można zauważyć tendencję wzrostową w ilościach wydobywanych wapieni i margli dla przemysłu cementowo-wapienniczego (Rys. 2), co skutkuje zwiększaniem powierzchni gruntów zaklasyfikowanych do kategorii użytki kopalne (Bilans zasobów... 2022).



Rys. 2. Wydobycie wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego w Polsce w latach 2002-2021

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Bilansu zasobów złóż kopalin 2002-2021 (2022)

W 2021 roku liczba czynnych kopalń pozyskujących surowce dla przemysłu cementowo-wapienniczego w Polsce wynosiła 40. Ze względu na wielkość wydobycia kopalin Popczyk (2016) proponuje ich podział na bardzo duże (o wydobyciu > 10 mln Mg/rok), duże (o wydobyciu 1-10 mln Mg/rok), średnie o wydobyciu (0,1-1,0 mln Mg/rok) i małe (o wydobyciu $< 0,1$ mln Mg/rok). Szewczyk i Kacprzak (2013) klasyfikują je jako: 14 kopalni w kategorii duże (sześć w województwie świętokrzyskim, cztery na terenie województwa opolskiego, po jednej w województwach: kujawsko-pomorskim, lubelskim, łódzkim i małopolskim), szesnaście z nich to zakłady średnie (po cztery w województwie świętokrzyskim, województwie opolskim i województwie łódzkim, i po dwie w województwie dolnośląskim i śląskim), dziesięć to zakłady małe (cztery w województwie świętokrzyskim, dwa w województwie mazowieckim i po jednej w województwach: lubelskim, łódzkim, małopolskim i łódzkim), co przedstawiono w tabeli 1.

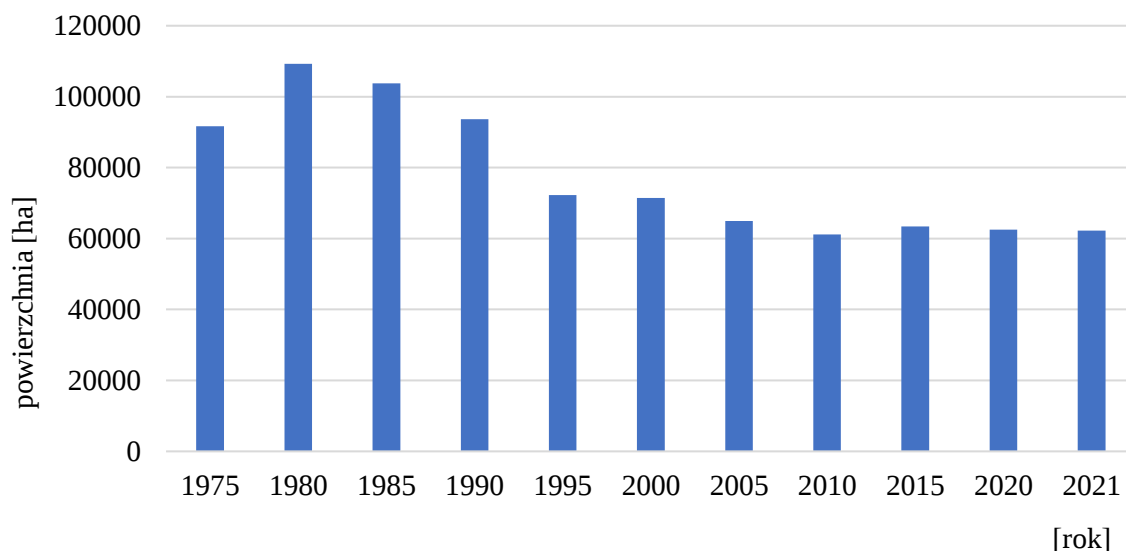
Tab. 1. Struktura wydobycia wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego w poszczególnych województwach w 2021 r. (Szewczyk i Kacprzak 2013, Bilans zasobów 2022)

Województwo	Wydobycie [mln Mg/rok]		
	1-10	0,1-1	<0,1
dolnośląskie		2	
kujawsko-pomorskie	1		
lubelskie	1		1
łódzkie	1	4	1
małopolskie	1		1
mazowieckie			2
opolskie	4	4	
śląskie		2	1
świętokrzyskie	6	4	4
Razem	14	16	10

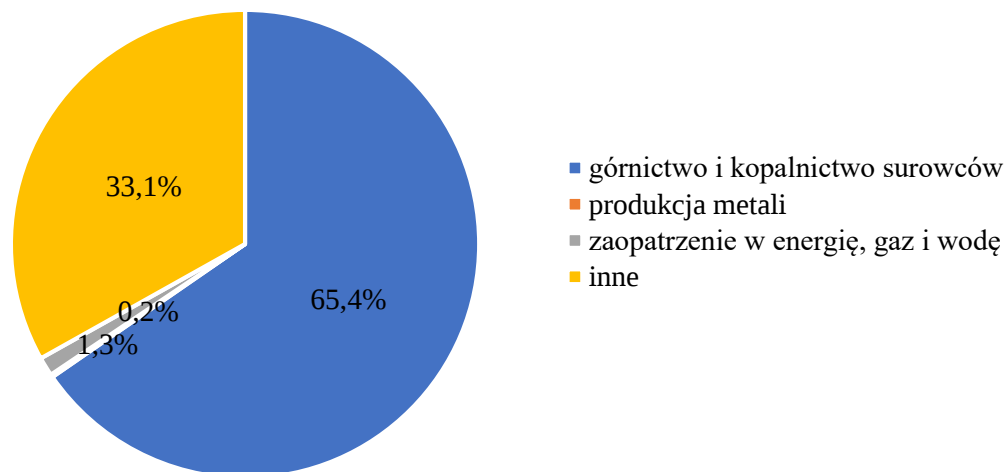
2.2. Degradacja gruntów

Powierzchnia Ziemi wraz z pokrywą glebową narażona jest na niszczące działanie zarówno czynników naturalnych, jak również antropogenicznych. Zachodzące pod ich wpływem przekształcenia mogą prowadzić do pogorszenia właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych gleb, obniżenia ich aktywności biologicznej oraz wartości użytkowych – czyli do degradacji, lub w skrajnych przypadkach do całkowitej utraty wartości użytkowych, czyli do dewastacji (Skawina 1958a, Strzyszc 1982, Karczewska 2012). Taki stan wymusza prowadzenie prac naprawczych w aspekcie szeroko rozumianej rekultywacji, której głównym celem jest przywrócenie wartości użytkowych lub przyrodniczych terenowi zdegradowanemu (Siuta 1999, Maciak 2003, Kasztelewicz 2010).

W Polsce powierzchnia gruntów zdegradowanych i zdewastowanych wymagających rekultywacji wynosi obecnie 62.270,0 ha (GUS 2021), co stanowi około 0,2% powierzchni całego kraju. W latach 1975-1980 odnotowano wzrost wielkości powierzchni przekształconych, a następnie od roku 1980 ich nieznaczny spadek. W latach 2010-2021 powierzchnia gruntów zdewastowanych i zdegradowanych utrzymywała się mniej więcej na stałym poziomie (Cymerman 1988, Krzywnicka 1988, Cymerman i Marcinkowska 2010, Gonda-Soroczyńska i Kubicka 2016, GUS Bank Danych Lokalnych 2023) (Rys. 3).



Rys. 3. Powierzchnia gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w okresach pięcioletnich obejmujących lata (1975-2020) oraz rok 2021 w Polsce
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Cymerman (1988), Krzywnicka (1988), Cymerman i Marcinkowska (2010), Gonda-Soroczyńska i Kubicka (2016), GUS (2023)



Rys. 4. Udział powierzchni gruntów zdewastowanych i zdegradowanych według działalności w Polsce
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022)

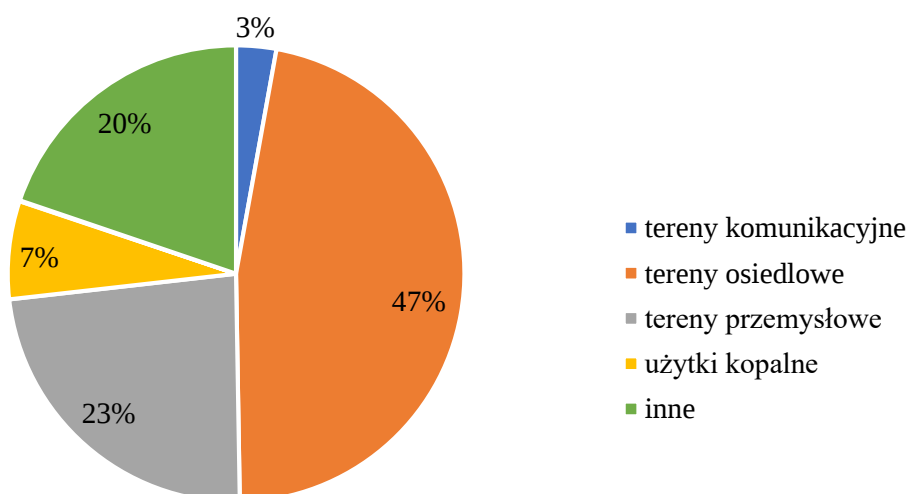
Przeobrażenia powierzchni ziemi powodowane działalnością człowieka mają znacznie większy zasięg niż te wywołane czynnikami naturalnymi (Strzyszcz 1995, Szerszeń 1999, Maciejewska 2000, Kurbiel i in. 2011). Główną technogeniczną przyczyną powstawania

gruntów zdegradowanych i zdewastowanych jest górnictwo i kopalnictwo surowców – ok. 66% wszystkich terenów zdegradowanych i zdewastowanych (Rys. 4).

2.2.1. Przekształcenia spowodowane działalnością górnictwa odkrywkowego surowców skalnych

Najistotniejsze przekształcenia środowiska przyrodniczego powodowane działalnością górnictwa odkrywkowego to przede wszystkim wyłączenie gruntów z produkcji rolnej i leśnej, a następnie powstawanie ubocznych skutków tej działalności w formie przekształceń geomechanicznych i hydrogeologicznych powierzchni ziemi (Strzyszcz 1982, Szerszeń 1999, Maciak 2003, Cymerman i Marcinkowska 2010, Karczevska 2012, Siuta i Żukowski 2015).

Wielkość wyłączanych gruntów rolnych i leśnych z dotychczasowego użytkowania i przeznaczanie ich na cele związane z funkcjonowaniem przemysłu wydobywczego, wiąże się głównie z zapotrzebowaniem rynku na surowce kopalne, a tym samym ze zwiększeniem powierzchni objętych eksploatacją odkrywkową.



Rys. 5. Powierzchnia gruntów rolnych i leśnych (ha) przeznaczonych w Polsce w roku 2021 na cele nierolnicze i nieleśne, według kierunku wyłączenia
Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022)

Analiza danych GUS (2022) wskazuje, iż w latach 1990-2020 wyłączano rocznie z użytkowania rolnego i leśnego od 28,47% (1990 r.) do 7,51% (2020 r.) gruntów i włączano je do kategorii użytków kopalnianych. W roku 2021 wyłączono z użytkowania rolnego i leśnego obszar gruntów o powierzchni 6472 ha, z tego 449 ha stanowiły grunty zajęte przez czynne kopalnie odkrywkowe, tj. 6,94% wszystkich gruntów objętych wyłączeniem (GUS 2022) (Rys. 5).

Bezpośrednim skutkiem działalności górnictwa odkrywkowego są rozległe przekształcenia geomechaniczne powierzchni Ziemi. Przekształcenia te widoczne są przede wszystkim w zmianie ukształtowania rzeźby terenu.

Ze względu na specyfikę prowadzenia eksploatacji odkrywkowej zgodnie z Polską Normą (PN-G-02400:2010) wymagane jest w pierwszej kolejności usunięcie nadkładu zalegającego nad kopaliną, a następnie jego przemieszczenie poza obszar wydobywania i zwałowanie. Zdejmowanie utworów stanowiących nadkład, który zalega na złożu przyczynia się do dewastacji całego naturalnego układu w profilu glebowym. Ponadto, jego zwałowanie na terenach przyległych do wyrobisk, w formie zwałowisk nadpoziomowych, zewnętrznych przyczynia się do dodatkowego geomechanicznego przekształcenia powierzchni nieeksploatowanych. Biorąc pod uwagę przekształcenia geomechaniczne, które powstają na terenach odkrywkowych zakładów górniczych należy wyróżnić dwie podstawowe formy degradacji: wyrobiska (kamieniołomy) jako obiekt górniczy powstały poniżej powierzchni gruntu oraz zwałowiska.

Ze względu na sposób i głębokość zalegania kopaliny wyrobiska pod względem kształtu i usytuowania w terenie dzielimy je na: wgłębne, stokowo-wgłębne, stokowe, wierzchowinowe i wierzchowinowo-wgłębne, co w późniejszym etapie wpływa na sposób ich rekultywacji (Chwastek 1976, Bujwid i Strzelczuk 1977, PN-G-01204:2010, Karczewska 2012, Chodak 2013, Naworyta 2013).

W przypadku górnictwa surowców skalnych cechą charakterystyczną powyższych kamieniołomów są strome skarpy wyrobiska, o kącie nachylenia około 70-80⁰, a czasem nawet 90⁰. Związane jest to z dążeniem zakładu górniczego do maksymalnego wykorzystania złoża, przy niskich kosztach, które jest możliwe do osiągnięcia, gdy ściany eksploatacyjne są strome, a półki mają minimalną szerokość.

Prawidłowa eksploatacja surowców, uwzględniająca wymogi rekultywacyjne i przyszłego zagospodarowania kopalni, powinna uwzględniać optymalną gospodarkę nadkładem. Warstwa nadkładu powinna być magazynowana w sposób selektywny na tymczasowych zwałowiskach, tak aby na etapie odtwarzania gleby w procesie rekultywacji można by było tę urodzajną warstwę ponownie wykorzystać. Dlatego też, w pierwszej fazie, w trakcie prowadzenia wkopu udostępniającego ściągnięty nadkład zostaje przemieszczony na zwałowisko zewnętrzne najczęściej przybierające formę zwałowiska nadpoziomowego (Chwastek 1976, Strzyszc 1982, Siuta i in. 1985, Strzyszc 2004, Gołda 2005, Kusza 2007, Kasprzak i Bruchal 2011, Karczewska 2012, Chodak 2013). W kolejnym etapie, przy prowadzeniu właściwej eksploatacji surowca następuje przemieszczenie zarówno nadkładu, jak

też nowo powstałych odpadów wydobywczych na powierzchnię zwałowiska wewnętrznego zlokalizowanego w wyeksploatowanej części wyrobiska - odkrywki. Ta forma zwałowiska wewnętrznego zgodnie z PN-G-07800 (2002) kształtowana jest w typie II, III lub IV. Ten sposób deponowania materiału nadkładowego jest najbardziej optymalny ze względu na efekt końcowy, w którym otrzymuje się wyrobisko o małej kubaturze i niewielkie zwałowisko zewnętrzne (Karczeńska 2012).

Dodatkowo, w najbliższym otoczeniu wyrobiska następuje kolejny negatywny dla gleb czynnik, a mianowicie zagęszczanie wierzchniej warstwy jako efekt wielokrotnego przejazdu i ugniatania gruntu przez ciężki sprzęt. Z tą formą degradacji mamy do czynienia w miejscach ruchu samochodów transportujących kopalinę oraz maszyn górniczych w sąsiedztwie dróg technologicznych i placów manewrowych (Szerszeń 1999, Baran i Turski 1996, Baran 2000, Maciak 2003, Chodak 2013).

Po zakończonej eksploatacji zarówno na spągu wyrobiska, jak również na usypanych zwałowiskach wewnętrznych występują grunty bezglebowe, czyli grunty całkowicie pozbawione pokrywy glebowej, a tym samym zasobów próchnicy, stanowiące surowy utwór geologiczny (Chwastek 1972, Greszta i Morawski 1972, Strzyszc 1982, Szerszeń 1999, Siuta 1998, Strzyszc 2004, Gołda 2005, Karczeńska 2012). Według Siuty i in. (1985) już grunty o zawartości próchnicy poniżej $10 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zalicza się do gruntów bezglebowych, które uważane są za utwory nieaktywne biologicznie, jałowe i trudne do ożywienia, co wynika z ich wadliwych właściwości fizycznych i deficytu makropierwiastków.

Inne podejście do gruntów bezglebowych przedstawia norma PN-G-07800, według której grunty bezglebowe to powierzchnie wyrobisk (po eksploatacji kopalin mineralnych) zwałowisk (odpadów przemysłowych i komunalnych), które wykazują różnorodne właściwości fizyczne, mineralogiczne i biochemiczne oraz wymagają skomplikowanych zabiegów rekultywacyjnych.

Zainicjowanie procesu tworzenia się gleby jest tutaj działaniem koniecznym, a zrealizować go można dobierając właściwe czynności i środki rekultywacyjne (Gołda 2005).

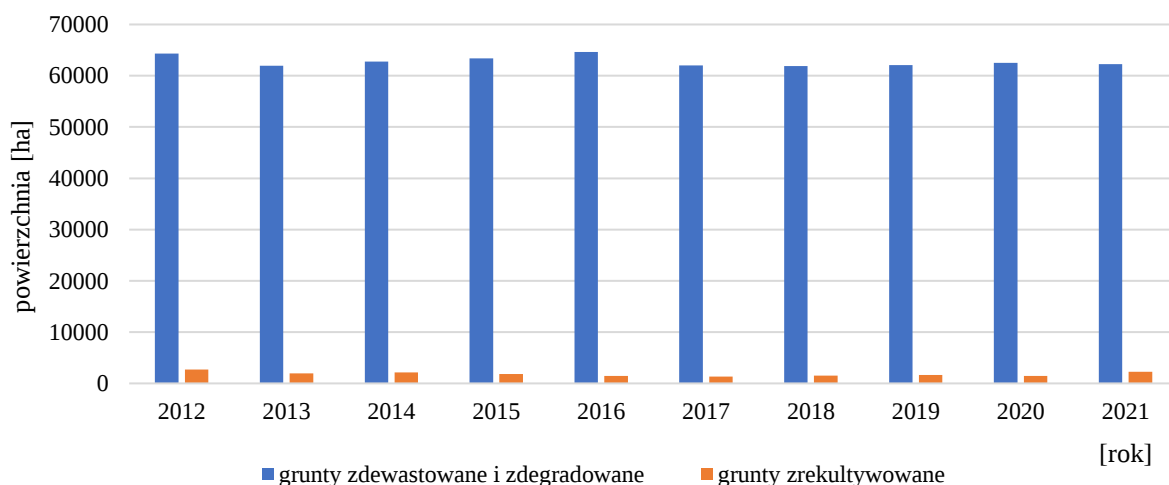
Eksplatacja kopalin to także przekształcenie hydrologiczne powstające jako efekt zmian reżimu wodnego w glebach i utworach geologicznych terenów sąsiadujących z wyrobiskiem odkrywkowym. Niekorzystne zmiany w środowisku glebowym spowodowane są wahaniami poziomu wód gruntowych i mogą być przyczyną zarówno przesuszenia, jak też zawodnienia gleb. W przypadku górnictwa odkrywkowego, dominującą formą degradacji hydrologicznej jest przesuszenie gleb, gdyż prace ziemne prowadzone w celu wydobycia złoża wymagają najczęściej odwodnienia, co powoduje powstanie „leja depresyjnego”, w sąsiedztwie, którego następuje bezpośrednie obniżenie lub całkowity zanik wód gruntowych (Strzyszc 1982 i 1995,

Baran i Turski 1996, Cymerman i Marcinkowska 2010, Karczewska 2012, Chodak 2013). Przesuszenie gleb jest szczególnie niekorzystne dla gleb lekkich, z wodą gruntową dostępną dla systemu korzeniowego roślin, a także dla gleb ekosystemów podmokłych np. odwodnione gleby torfowe zmieniają swoją strukturę, właściwości fizyczne i chemiczne (Siuta 1999, Mocek i Owczarzak 2003, Gołda 2005). Kurbiel i in. (2011) badając gleby torfowe na obszarze Łękińska znajdującego się w zasięgu leja depresji KWB „Bełchatów” stwierdzili ich degradację wywołaną przesuszeniem, polegającą na znacznym ubytku materii organicznej, która ulega mineralizacji z degradującym procesem transformacji gleb torfowych w kierunku gleb mineralno-murszowatych i murszastych.

Po zaprzestaniu wydobywania złoża metodą odkrywkową i powrotu poziomu zwierciadła wody gruntowej do stanu z przed eksploatacji możliwe jest zawodnienie gleb na terenach wcześniej przesuszonych, a obecnie tworzących nowe ekosystemy. Według Siuty (1998) stan ten należałoby rozważyć w dwóch aspektach: jako formę degradacji lub odnowę środowiska.

2.3.Rekultywacja gruntów przekształconych

Wszystkie grunty zdewastowane i zdegradowane według obowiązującego prawa (Dz.U. z 2024 r poz. 82) powinny zostać zrehabilitowane, a następnie zagospodarowane, zgodnie z ustalonym kierunkiem rekultywacji (Kasprzyk 2009, Kasztelewicz i Sypniewski 2011, Kusza 2015, Krzaklewski 2017).

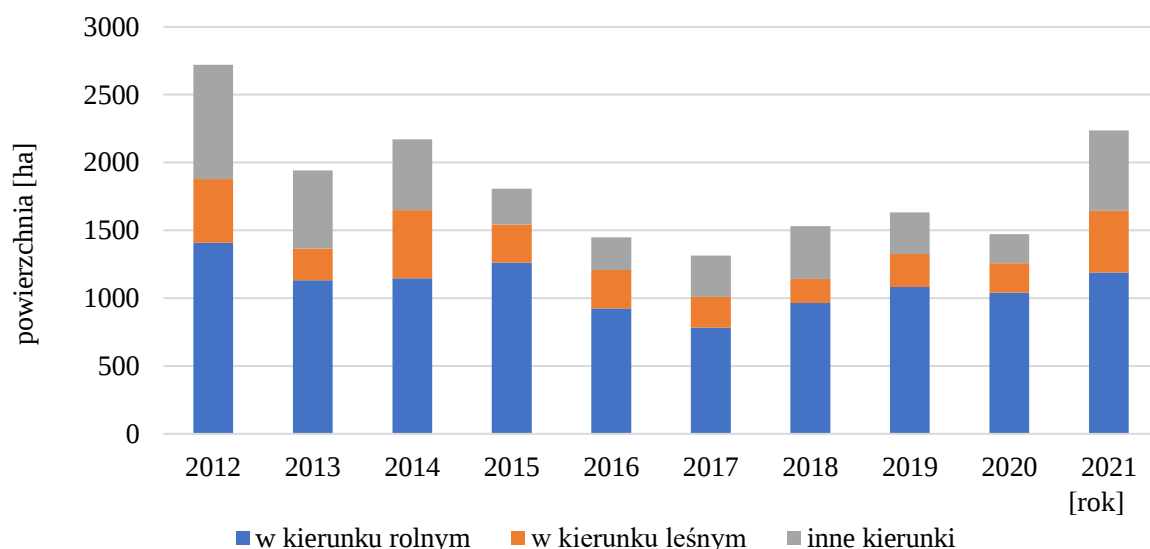


Rys. 6. Grunty wymagające rekultywacji i zrehabilitowane w latach 2012-2021 w Polsce
Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022)

W ostatnim dziesięcioleciu (2012-2021) grunty zdewastowane i zdegradowane zostały poddane procesowi rekultywacji w bardzo niewielkim stopniu w stosunku do całkowitej powierzchni gruntów przekształconych. W tym okresie grunty rekultywowano

i zagospodarowywano na poziomie od 2,1% (w 2017 r.) do 4,2% (w 2012 r.) (GUS 2022) (Rys. 6).

W ustawie z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (t.j. Dz.U. 2024, poz. 82) wskazano, iż rekultywacja terenów zdegradowanych lub zdewastowanych powinna być realizowana głównie w kierunku rolnym lub leśnym, dopuszcza się również tzw. inne zagospodarowanie gruntów rekultywowanych. Podobną klasyfikację proponuje Główny Urząd Statystyczny, wydzielając trzy podstawowe kierunki rekultywacji: rolny, leśny i inny (Gonda-Soroczyńska i Kubicka 2016, GUS 2022). W Polskiej Normie PN-G-07800 (2002) - Górnictwo odkrywkowe, rekultywacja, ogólne wytyczne projektowania, wymienia się pięć kierunków rekultywacji: rolny, leśny, wodny, komunalny i specjalny, który obejmuje wcześniej niewymienione kierunki działań. W literaturze możemy się spotkać z bardziej rozbudowanymi klasyfikacjami: Ostrega i Ubermann (2010) wskazują dziewięć ogólnych kierunków, wśród których wyróżniają 18 kierunków szczegółowych. Kaźmierczak i inni (2021) proponują siedem kierunków ogólnych i 24 szczegółowe. W Polsce w przeciągu ostatnich 10 lat dominującym jest kierunek rolny, który stanowi ponad połowę wszystkich terenów zrehabilitowanych (Rys. 7), jednak zawężając dane tylko do terenów pogórnich to dominującym kierunkiem jest kierunek leśny (ok. 70% terenów pogórnich jest rekultywowanych w w/w kierunku) (Pietrzykowski i in 2010a).



Rys. 7. Powierzchni gruntów objętych różnymi kierunkami rekultywacji w Polsce w latach 2012-2021

Źródło: opracowanie własne, na podstawie Gonda-Soroczyńska i Kubicka (2016), GUS (2022)

Wybór kierunku rekultywacji odbywa się już na etapie projektowania rekultywacji i decyduje o nim szereg czynników, które Ostręga i Uberman (2010) dzielą na osiem grup:

1. Ekonomiczne (koszty rekultywacji i zagospodarowania, koszty utrzymania zagospodarowanego terenu itp.);
2. Formalno-prawne (wynikające z przepisów prawnych np. miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, ochrony przyrody itp.);
3. Geologiczno-inżynierskie (czyli techniczne możliwości przeprowadzenia prac rekultywacyjnych np. kształt i wielkość wyrobiska, nachylenie skarp, itp.);
4. Hydrologiczne (brak lub obecność wody w wyrobisku, co może skłaniać do prowadzenia prac rekultywacyjnych w kierunku wodnym);
5. Kulturowe (np. występowanie miejsc pamięci, kultu religijnego itp.);
6. Przestrzenne (np. stopień skomunikowania terenu);
7. Społeczne (np. potrzeby społeczne, stopień akceptowalności ludności lokalnej);
8. Środowiskowe (np. istnienie siedlisk przyrodniczych, tworów przyrody nieożywionej itp.).

Do powyższych czynników należałoby dodać jeszcze warunki klimatyczne, które decydują m.in. o doborze odpowiednich gatunków roślin oraz glebowe (utwory budujące warstwy powierzchniowe obiektu). W przypadku prowadzenia selektywnej gospodarki nadkładem istotna jest jakość warstwy powierzchniowej gromadzonej w celu rozplantowania na powierzchnie rekultywowane. Często przy tworzeniu tej warstwy istnieje konieczność nawiezienia z zewnątrz utworów o lepszych parametrach, które będą kształtowały korzystne dla rozwoju roślin właściwości przyszłej gleby (Bujwid i Strzelczuk 1977, Cymerman 1988, Gołda 2005, Cohen-Fernández i Naeth 2013).

W przypadku kierunku rolnego wymagania w stosunku do pozostałych kierunków rekultywacji są wyższe, zarówno co do jakości utworów rekultywacyjnych, jak również morfologii ukształtowania terenu. Według klasyfikacji przydatności rekultywacyjnej gruntów, jedynie grunty klasy A nadają się pod rekultywację rolną, a maksymalne spadki powierzchni nie powinny przekraczać 18% (10°) dla upraw i 27% (15°) dla hodowli zwierzęcej (Skawina i Trafas 1971). Kierunek rolny wymaga dodatkowych zabiegów agrotechnicznych po obsiewie roślinnością trawiastą i motylkową, aby ostatecznie wprowadzić na powierzchnie zrehabilitowane odpowiednie rośliny uprawne (zboża, rośliny okopowe, ruń łąkową), które często w pierwszej kolejności mają za zadanie poprawę właściwości fizycznych i chemicznych tworzonego substratu glebowego (Bender 1995, Kowalik 1995, Karczewska 2012, Strzałkowski i Kaźmierczak 2014, Kołodziej i in. 2016).

Utwory, zaliczane do klasy B, C i D według klasyfikacji Skawina i Trafas (1971) nadają się do rekultywacji leśnej, jednak grunty klasy C i D wymagają dodatkowych zabiegów (użyźnienia lub odizolowania). W przypadku rekultywacji w kierunku leśnym maksymalne spadki powierzchni nie powinny przekraczać 45⁰. Po zabiegach agrotechnicznych i obsiewie roślinnością próchnicotwórczą wprowadza się roślinność drzewiastą i krzewiastą (Strzałkowski i Kaźmierczak 2014).

Literatura tematu (Krzaklewski 2017, Wójcik i Krzaklewski 2019) wskazuje, iż w praktykach rekultywacyjnych stosuje się trzy metody zalesiania: „gatunkami pionierskimi”, „biodynamicznie” i „gatunkami docelowymi”.

Metoda gatunków pionierskich polega na stosowaniu jako przedplonu roślinności fitomelioracyjnej (np. olsza szara i czarna oraz wierzby), która w dalszym etapie jest wymieniana na gatunki docelowe. Główną rolą gatunków pionierskich jest tutaj poprawa stateczności obiektu i odtworzenie gleby, natomiast drugorzędną - funkcja produkcyjna. Metoda ta obecnie jest rzadko stosowana, ale skuteczna w przypadku gruntów jałowych o niekorzystnych warunkach siedliskowych.

Metoda biodynamiczna przewiduje najpierw przeprowadzenie zabiegów agrotechnicznych, w celu przygotowania gruntu do pełnienia funkcji skały macierzystej, a następnie wprowadzenie wielogatunkowej roślinności zielnej i drzewiastej, którą reprezentują zarówno gatunki główne - docelowe (np. dąb szypułkowy, brzoza brodawkowata, buk zwyczajny czy sosna zwyczajna), których udział może dochodzić do 60%, a także fitomelioracyjne, i biocenotyczne (np. czeremcha zwyczajna, bez czarny czy leszczyna pospolita). Metoda ta pozwala na szybkie uzyskanie pełnego zwarcia koron drzew, co stymuluje procesy glebotwórcze i obecnie jest najczęściej stosowana w pracach rekultywacyjnych (Strzyszczyński i Harabin 2004, Krzaklewski 2017).

Metoda gatunków głównych polega na wprowadzeniu od samego początku gatunków docelowych, z niewielkim, do 5%, udziałem gatunków biocenotycznych, jednak warunkiem koniecznym tej metody jest obecność wysokiej jakości utworów macierzystych często poddanych wcześniej zabiegowi nawożenia (Bender 1985, Strzyszczyński i Harabin 2004, Gilewska 2010, Krzaklewski 2017, Wójcik i Krzaklewski 2019).

Zalesienie może również nastąpić na drodze sukcesji naturalnej. W tym przypadku proces glebotwórczy przebiega wolniej, ale korzystniej z punktu widzenia ekologicznego, bo zwiększa szansę na odtworzenie się w pełni funkcjonalnych ekosystemów (Pietrzykowski i Krzaklewski 2009, Krzaklewski 2017). Badania w zakresie wykorzystania zjawiska sukcesji w rekultywacji prowadzone są od wielu lat, m.in. na zwałowisku zewnętrznym kopalni węgla brunatnego

(Krzaklewski 1977, 1979, 1999, Bolibok i in. 2009, 2018), na zwałowisku odpadów karbońskich Smolnica k. Gliwic (Strzyszcz i in. 1981, Stolarska i in. 2006) oraz na terenach kopalni piasku i żwiru (Krzaklewski i Frączek 1999, Pietrzykowski i Krzaklewski 2004, Kidawa i in. 2020).

W działalności rekultywacyjnej proces sukcesji jako metoda zalesiania może być stosowany jako sukcesja wolna, kierowana lub łączona z metodą gatunków pionierskich (Krzaklewski 2017).

Rekultywacja w kierunku wodnym zdeterminowana jest szczególnymi warunkami hydrologicznymi, gdy wydobywanie kopaliny odbywa się „spod wody” (w przypadku surowców okruchowych), lub gdy wyrobisko jest podczas eksploatacji sukcesywnie odwadnianie (w przypadku surowców zwięzłych i ilastych). Po zaprzestaniu prac górniczych powstała niekiedy wypełnia się wodą. Dla kierunku wodnego zakres prac rekultywacyjnych ogranicza się do wyrównywania spągu wyrobiska, profilowania i zabezpieczania skarp i regulacji stosunków wodnych. W zależności od przeznaczenia danego zbiornika wodnego (rekreacyjna, gospodarcza, estetyczna, retencyjna) prace nad kształtowaniem skarp mogą przebiegać w odmienny sposób. Skarpy mogą zostać po uprzednich zabiegach agrotechnicznych i nawożeniu obsadzone roślinnością motylkową, a następnie krzewiastą (Kaźmierczak i Strzałkowski 2016).

W celu przygotowania terenów pod obiekty sportowe, wypoczynkowe, parki czy parkingi realizuje się komunalny kierunek rekultywacji. Kierunek specjalny obejmuje wszystkie inne kierunki rekultywacji poza omówionymi wcześniej (Pietrzykowski i in. 2020).

2.3.1. Główne kierunki rekultywacji i zagospodarowania wyrobisk surowców węglanowych

Rekultywacja wyrobisk powstałych po eksploatacji surowców węglanowych realizowana jest analogicznie do rekultywacji innych wyrobisk odkrywkowych surowców skalnych. Proces rekultywacji przebiega równolegle, z prowadzoną eksploatacją. Od samego początku prowadzenia działalności górniczej (na etapie projektu), realizowany jest pierwszy etap rekultywacji - faza przygotowawcza, której przebieg jest identyczny dla wszystkich kierunków rekultywacji a jej celem jest rozpoznanie uwarunkowań przyrodniczo-technicznych oraz środków niezbędnych do realizacji prac rekultywacyjnych. Istotnym elementem tego etapu jest ustalenie kierunku rekultywacji oraz wprowadzenie postulatów rekultywacyjnych do opracowywanej dokumentacji projektowo-kosztorysowej inwestycji.

W kolejnym etapie rekultywacji wyrobisk powapiennych – w fazie technicznej (podstawowej) - następuje kształtowanie rzeźby terenu wyrobiska, w tym warunków hydrologicznych, umacnianie skarp, wyrównanie powierzchni spągu, nadanie zboczom odpowiednich nachyleń, tworzenie gleby metodami technicznymi, poprawianie właściwości fizycznych i chemicznych gruntu, budowa dróg dojazdowych. Zakres tych prac może być odmienny w zależności od wyznaczonego kierunku rekultywacji (Zachariasz 2003, Karczewska 2012, Strzałkowski i Kaźmierczak 2014).

Należy pamiętać, iż łagodzenie skarp na etapie prowadzenia rekultywacji technicznej często nie jest już możliwe, wiąże się z koniecznością zajęcia dodatkowego terenu, a także z dużymi kosztami, dlatego rolny kierunek rekultywacji jest rzadko realizowany na zboczach zwałowisk odpadów wydobywczych górnictwa surowców węglanowych (Karczewska 2012, Chodak 2013). Przykładem, gdzie zasadnym jest rolny kierunek rekultywacji to uprawa winorośli i krzewów oliwnych na zrehabilitowanym wyrobisku wapienia na wzgórzach Tifatini we Włoszech (Buondonno i in. 2018). Najczęstszym w Polsce kierunkiem zagospodarowania wyrobisk po eksploatacji wapieni jest ich leśne zagospodarowanie. Prace takie prowadzono m.in. na terenie kopalni wapienia „Czatkowce” (gm. Krzeszowice, koło Krakowa) (Kasztelewicz 2010), „Górażdże” (gm. Gogolin w woj. opolskim) (Rosik-Dulewska i in. 2008) oraz w kamieniołomie wapienia San Giuseppe we Włoszech (Boscutti i in. 2017). W przypadku ścian wyrobisk poeksploatacyjnych, które charakteryzują się bardzo stromym nachyleniem rzędu 70° - 80°, zabezpiecza się ich stateczność i ewentualnie likwiduje nawisy skalne (Rosik-Dulewska i in. 2008, Chodak 2013, Strzałkowski i Kaźmierczak 2014).

Spąg wyrobiska tworzy lita skała, kamienie oraz rumosz. W pierwszym etapie rekultywacji technicznej należy wyrównać i uporządkować dno wyrobiska przy pomocy ciężkiego sprzętu. Optymalnym sposobem zagospodarowania wyrobisk suchych jest utworzenie na ich spągu zwałowisk wewnętrznych. Odbywa się to poprzez transport materiału zwałowego ze zwałowisk tymczasowych, zarówno zewnętrznych, jak też wewnętrznych, na których nadkład zgromadzono w ramach początkowej fazy eksploatacji.

Gospodarka nadkładem może być prowadzona w dwojaki sposób: nieselektywnie - zwałując cały nadkład zawierający zarówno wierzchnią warstwę gleby (poziom próchniczny), jak również część odpadów wydobywczych (przeróbczych) lub selektywnie jako metodę szczególnie zalecaną do realizacji. W tej metodzie osobno gromadzi się glebę urodzajną, oddzielając ją od pozostałych wytworzonych na terenie zakładu materiałów mineralnych nie przydatnych jako surowiec. Gromadzenie materiału z nadkładu w sposób selektywny jest zabiegiem wymagającym dodatkowych prac i środków finansowych. Dodatkowo warstwa

próchniczna powinna być zabezpieczona przed działaniem czynników zewnętrznych (deszcz, słońce) poprzez przykrycie jej warstwą mineralną. Jednak ten sposób pozwala na szybsze odtworzenie gleby na rekultywowanym gruncie i jest najlepszym sposobem zagospodarowania nadkładu (Krzaklewski 2017). Według Chodaka (2013), w przypadku niewystarczającej ilości materiału zgromadzonego na zwałowiskach, miąższość warstwy pokrywającej w przypadku rekultywacji w kierunku leśnym powinna wynosić około 2 m, według Strzałkowskiego i in. (2014) - 0,5 m, a także w przypadku niskiej jego jakości glebotwórczej koniecznym staje się pozyskiwanie materiału obcego (Dłubakowska i in. 1978, Dwucet i in. 1992, Baran i Turski 1996, Krzaklewski 1999, Baran 2000, Miao i Marrs 2000, Chodak 2013, Strzałkowski i Kazimierczak 2014, Kusza 2015, Krzaklewski 2017). Mogą nim być odpady wymienione w załączniku 1 do rozporządzenia w sprawie odzysku i unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015, poz. 796).

Według różnych autorów, w ramach rekultywacji wyrobiska po eksploatacji złóż wapieni stosowano: glebę i ziemię, w tym kamienie wytworzone na terenie cementowni w ramach realizacji inwestycji oraz odpady z pielęgnacji terenów zieleni zakładowej (Dulewska i in. 2008), tufy zeolityzowane (Buondonno i in. 2018), odpady organiczne pochodzące ze szkółek drzew i krzewów (zrębki pochodzące z drzew liściastych), trociny oraz słomę zbóż (Kusza 2015), kompost (Soliveres 2021), osady ściekowe, które poprawiały właściwości fizykochemiczne gruntu, poprzez zwiększenie zawartości próchnicy, azotu, fosforu i potasu (Kusza 2006, Carabassa i in. 2018).

Po technicznym kształtowaniu warstwy utworów macierzystych przyszłej gleby rozpoczyna się biologiczna faza rekultywacji, która ma na celu zapoczątkowanie procesów glebotwórczych, przywrócenie aktywności biologicznej gleby i wzbogacenie gleby w składniki odżywcze. Odbywa się to poprzez zabiegi agrotechniczne i glebotwórcze oddziaływanie roślinności oraz racjonalne nawożenie mineralne i organiczne (Gołda 2005, Strzałkowski i Kazimierczak 2014, Krzaklewski 2017). Dobór roślinności uzależniony jest od właściwości siedliska, funkcji jaką rośliny mają spełnić, a także od ich wymagań (Gołda 2005, Chodak 2013). Gleby powstające na zwałowiskach po eksploatacji wapienia charakteryzują się wysoką zawartością rumoszu, odczynem zasadowym, niską zawartością materii organicznej, azotu i fosforu (Kusza 2006, 2007, 2015, Kusza i Gołuchowska 2009, Cohen-Fernández i Naeth 2013) i z tego względu nie wszystkie rośliny mogą być zastosowane w rekultywacji na tych terenach. Skład procentowy poszczególnych grup roślin drzewiasto-krzaczastych wprowadzanych w ramach rekultywacji (gatunki przeciwoerozyjne, fitomelioracyjne, produkcyjne i biocenotyczne) uzależniony jest od jakości podłoża oraz nachylenia terenu

(Krzaklewski 1988). Tereny o stromym nachyleniu skarp wymagają wprowadzenia gatunków przeciwoerozyjnych (do około 70%), w przypadku gruntów o łagodnym nachyleniu i słabej jakości – gatunków fitomelioracyjnych (ok. 50%), jednak niezależnie od nachylenia i jakości gruntu ok. 5-10% wprowadzonych gatunków powinno być gatunkami biocenotycznymi (Chodak 2013). Według wielu autorów: Greszta i Morawski (1972), Baran i Turski (1996), Maciak (2003) do nasadzeń na terenach poeksploatacyjnych wapieni nadają się wapniolubne gatunki drzew i krzewów, tj. robinia akacjowa *Robinia pseudoacacia* L., brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, topola biała *Populus alba* L., topola osika *Populus tremula* L., modrzew europejski *Larix decidua* Mill., klon jawor *Acer pseudoplatanus* L., jarząb pospolity *Sorbus aucuparia* L., olsza szara *Alnus incana* L. Moench, olsza czarna *Alnus glutinosa* L. Gaertn., czeremcha amerykańska *Prunus serotina* Ehrh., dereń świdwa *Cornus sanguinea* L., śliwa ałczyza *Prunus cerasifera* Ehrh., porzeczka złota *Ribes aureum* Pursh, wiciokrzew pospolity *Lonicera xylosteum* L., trzmielina pospolita *Euonymus europaeus* L., wierzba iwa *Salix caprea* L., głóg jednoszyjkowy *Crataegus monogyna* Jacq., róża pomarszczona *Rosa rugosa* Thunb. Kusza i Dużyński (2004) prowadząc badania nad udatnością nasadzeń na rekultywowanych powierzchniach zwałowisk powapiennych stwierdzili, iż największą udatnością wykazały się następujące gatunki: robinia akacjowa *Robinia pseudoacacia* L., jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* L. oraz olsza czarna *Alnus glutinosa* L. Gaertn. w porównaniu z gatunkami: klon jawor *Acer pseudoplatanus* L., dąb czerwony *Quercus rubra* L., klon zwyczajny *Acer platanoides* L., jarząb pospolity *Sorbus aucuparia* L., które charakteryzowały się średnią i niską udatnością. Prace prowadzone na terenie dwóch rekultywowanych kopalni wapienia tj. „Kamień Śląski” i „Strzelce Opolskie” dotyczyły określenia zarówno przydatności drzew do rekultywacji biologicznej, jak również ich wpływu na przebieg procesów glebotwórczych w nowo powstających glebach. Spośród pięciu badanych gatunków drzew najlepszymi właściwościami glebotwórczymi wykazały się robinia akacjowa *Robinia pseudoacacia* L., wierzba iwa *Salix caprea* L. oraz modrzew europejski *Larix decidua* Mill. w porównaniu z sosną zwyczajną *Pinus sylvestris* L. i topolą balsamiczną *Populus x hybrida* 275 (Kusza 2007).

Badania dotyczące wykorzystania gatunków biocenotycznych na zwałowiskach zewnętrznych kopalni wapienia prowadzone przez Łuczak i in. (2019) wykazały, że najwyższą efektywnością nasadzeń, a tym samym najlepszą przydatnością w rekultywacji charakteryzowały się następujące gatunki: jabłoń domowa *Malus domestica* L., grusza pospolita *Pyrus communis* L., dzika róża *Rosa canina* L., śliwa tarnina *Prunus spinosa* L. oraz głóg jednoszyjkowy *Crataegus monogyna* Jacq., natomiast najniższą przydatnością wykazała się leszczyna pospolita *Corylus avellana* L.

Problemami, które pojawiają się podczas prób zadrzewiania terenów poeksploatacyjnych kopalni wapieni, są liczne wypadły sadzonek oraz słaby ich wzrost ze względu na twarde, trudno wietrzejące podłoże (Maciak 2003).

Wyrobyiska zawodnione, czyli powstałe w wyniku wydobywania surowca znajdującego się poniżej zwierciadła wód gruntowych na etapie poeksploatacyjnym wypełniane są naturalnie wodą i rekultywowane w kierunku wodnym. Wymusza to zastosowanie innych zabiegów rekultywacji technicznej w przeciwieństwie do wyrobisk suchych. Przede wszystkim należy w tym przypadku ukształtować rzeźbę terenu wewnątrz wyrobiska, poprzez przemieszczenie dużych objętości mas ziemnych, a następnie „wzmocnić” skarpy. W niektórych przypadkach zapewnia się właściwą regulację stosunków wodnych poprzez budowę odpowiednich urządzeń hydrotechnicznych. Dodatkowo należy uwzględnić prace związane z zabezpieczeniem brzegów zawodnionego wyrobiska w celu zapewnienia bezpieczeństwa ludzi. Odbyna się to poprzez budowę barier ochronnych lub nasadzenia krzewów w formie pasów ochronnych (Karczeńska 2012, Chodak 2013, Zawadzki 2013, Kaźmierczak i Strzałkowski 2016). Rekultywacja w kierunku wodnym (najczęściej dotyczy tylko wyrobiska) prowadzona jest równocześnie z innymi kierunkami np. z leśnym, czego przykładem mogą być prace rekultywacyjne prowadzone od wielu lat na terenie Kopalni Wapienia Góraźdże w woj. opolskim (Rosik-Dulewska i in. 2008, Kacprzak i Bruchal 2011).

2.3.2. Inne kierunki zagospodarowania wyrobisk powapiennych

Oprócz standardowych kierunków rekultywacji wyrobisk powapiennych, do których należą kierunek rolny, leśny czy wodny, proponuje się inne rozwiązania, które wykorzystują walory przyrodnicze, historyczne czy kulturowe terenów poeksploatacyjnych (Kasprzyk 2009). Ze względu na unikatowe formy geologiczne (reliktove ostańce, jaskinie krasowe, rzadkie odmiany wapieni), które często występują na terenie poeksploatacyjnym górnictwa wapieni tworzy się rezerваты przyrody nieożywionej, czego przykładem są: „Kadzielnia”, „Śluchowice” „Wietrznia” oraz ścieżki dydaktyczne ukazujące nie tylko budowę geologiczną terenu, ale także pozostałości po działalności przemysłu wapienniczego stanowiące elementy dziedzictwa kulturowego i cywilizacyjnego (Urban i Wróblewski 2004, Kasztelewicz 2010, Nita i Myga-Piątek 2010).

W efekcie procesu rekultywacji powstają nowe warunki siedliskowe, które umożliwiają zasiedlanie terenów przez odmienne grupy ekologiczne flory i fauny, co sprzyja rozwojowi bioróżnorodności (Baszczyńska i Kaźmierczak 2011). Wiele zagrożonych gatunków roślin i zwierząt znajduje tam sprzyjające dla siebie warunki życia. W zreultywowanych

wyrobiskach rozwijają się unikatowe zbiorowiska roślinności kserotermicznej i naskalnej, gatunki łąkowe, zaroślowe i leśne, wśród nich jest wiele gatunków chronionych (Kwiatkowski 1998, Śliwińska-Wyrzychowska i in. 2014). Są to także miejsca ostoi gadów, płazów, ptaków, nietoperzy, chrząszczy, ważek, kserofilnych motyli, ślimaków związanych z podłożem węglanowym oraz ssaków (dziki, sarny), wśród których wiele należy do gatunków ginących lub zagrożonych. W związku z powyższym nierzadko w obrębie zrehabilitowanych terenów pokopalnianych tworzy się rezerваты przyrody np. „Góra Rzepka”, „Góra Żakowa” (Solarz 1997, Beneš i in. 2003, Barga-Więclawska 2007, Tong 2009, Majgier i in. 2010, Nita i Myga-Piątek 2010, Bidas 2012). Na terenie górniczym „Górażdże” znajdują się dwa rezerваты przyrody – leśny „Kamień Śląski” utworzony w celu ochrony jarzęba brekinii *Sorbus torminalis* L. (Crantz.) oraz rezerwat faunistyczny „Gniewosze Gogolińskie” powołany do ochrony węża gniewosza plamistego *Coronella austriaca* Laurenti. Rezerwat ten zlokalizowany jest na zrehabilitowanej części zwałowiska wewnętrznego kopalni wapienia „Górażdże”.

Obecnie popularnym kierunkiem zagospodarowania terenów pogórnich wyrobisk wapiennych jest kierunek rekreacyjny, przykładem są liczne parki miejskie np. park Pogórze w dzielnicy Krakowa, park „Kadzielnia” z wybudowanym amfiteatrem, czy Park Butters - Chaumont w Paryżu, przyciągający odwiedzających ciekawymi formami geologicznymi (Ostręga 2004, Nita i Myga-Piątek 2006, Kasztelewicz 2010). Wiele z tych terenów ma wydźwięk historyczny np. park Bednarskiego w Krakowie, kamieniołom „Liban” z byłym obozem pracy funkcjonującym w czasie II wojny światowej, czy kamieniołom Góra św. Anny, gdzie znajduje się Pomnik Czynu Powstańczego a także największy w Polsce amfiteatr skalny wybudowany w latach 1934-36 (Zachariasz 2003, Kasztelewicz 2010).

Ze względu na budowę i charakterystyczne cechy wyrobisk powapiennych takie jak: duża głębokość, pionowe ściany, przejrzystość wody oraz zatopione urządzenia i instalacje pokopalniane są one doskonałymi obiektami do uprawiania turystyki specjalistycznej jaką jest nurkowanie (Kasztelewicz 2010, Majgier i in. 2010, Zawadzki 2013, Cichowska i in. 2018).

2.4. Gleby antropogeniczne ze szczególnym uwzględnieniem gleb technogenicznych

Zapoczątkowany w wyniku rekultywacji wyrobisk poeksploatacyjnych górnictwa odkrywkowego, w tym wyrobisk wapienia proces glebotwórczy prowadzi do zainicjowania powstawania nowej gleby, która ze względu na swoją genezę będzie zaliczana do gleb antropogenicznych.

Pojęcie gleb powstałych pod wpływem działalności człowieka pojawiło się po raz pierwszy w Systematyce Gleb Polski z 1974 r. (III wydanie) w randze klasy o nazwie gleby

industrioziemne, z dwiema grupami: gleby ukształtowane przez gospodarkę przemysłową oraz gleby zmienione w wyniku gospodarki przemysłowej.

Jednostka „Gleby antropogeniczne” figuruje już w kolejnych wydaniach Systematyki gleb Polski, począwszy od wydania IV (1989) w randze działu, następnie w wydaniu V (2011) i VI (2019) w rangach rzędu.

Gleby technogeniczne według obecnie obowiązującej Systematyki Gleb Polski (SGP 2019) stanowią typ gleb w obrębie rzędu gleb antropogenicznych, a cechą charakterystyczną jest ich geneza związana z działalnością człowieka. Odzwierciedleniem tej działalności w glebie jest obecność artefaktów, zaburzenie naturalnego układu poziomów genetycznych w profilu, zdeponowanie materiału obcego, czy też występowanie uformowanych warstw nieprzepuszczalnych. Gleby te występują na terenach zurbanizowanych, górniczych i przemysłowych.

Ze względu na odmienny sposób powstawania gleb w obrębie typu gleb technogenicznych wyróżnia się 10 podtypów (SGP 2019):

- ekranosole – o zniszczonych górnych poziomach genetycznych gleby, przykryte litą warstwą technogeniczną na skutek rozbudowy infrastruktury komunikacyjnej, uniemożliwiająca wymianę gazową i wodną oraz ukorzenianie się roślin,
- urbisole – powstałe w trakcie budowy obiektów głównie mieszkalnych, charakterystyczną cechą jest występowanie przynajmniej 20% artefaktów do głębokości 100 cm w profilu,
- industriosole – gleby wytworzone w całości lub częściowo z odpadów górniczych lub przemysłowych, często zdegradowane chemicznie,
- edifisole – to płytkie gleby o miąższości do 30 cm, powstające na obiektach budowlanych,
- konstruktosole – gleby celowo utworzone ponad litą warstwą technogeniczną lub geomembraną stanowiącą barierę dla wody i korzeni roślin,
- aggerosole – powstałe w wyniku nasypiania warstw ziemistych o znacznej miąższości (> 50 cm), które spełniają kryteria głębokiego materiału nasypianego, ale zawierają niewiele artefaktów (lub wcale). Do tego podtypu należą również gleby o mniejszej grubości materiału nasypianego na warstwy wymieszane, gdzie łączna miąższość zarówno warstw nasypianych i wymieszanych wynosi 50 cm,
- turbisole – to gleby powstałe na skutek głębokiego wymieszania powierzchniowych warstw naturalnej gleby czasem z wprowadzeniem niewielkiej ilości materiałów obcych. Zawierają <20% artefaktów do głębokości 100 cm. Istotnym jest, iż gleby te powstają wyłącznie z materiału znajdującego się w miejscu, a nie z materiałów nawiezionych,

- gleby technogeniczne próchniczne – charakteryzują się sztucznie utworzonym poziomem próchnicznym o miąższości minimum 20 cm. Poziom próchniczny może spełniać kryteria poziomów diagnostycznych mollic, umbric lub arenimurszic, czy nawet antric i hortic, ale o miąższości <50 cm,
- gleby technogeniczne gruntowo-glejowe – to gleby poddane długotrwałemu nasyceniu wodą w dolnej i środkowej części profilu, spowodowanym okresowo wysokim poziomem zwierciadła wód gruntowych, w związku z powyższym odnotowuje się w ich profilu właściwości gruntowo-glejowe,
- gleby technogeniczne opadowo-glejowe – charakteryzują się występowaniem właściwości opadowo-glejowych, które powstały wskutek okresowego stagnowania wód opadowych lub roztopowych i nasycenia wodą w górnej i środkowej, a niekiedy również dolnej części profilu.

Uwzględniając kolejno poszczególne wydania Systematyki Gleb Polski gleby powstałe w wyniku rekultywacji wyrobisk surowców węglanowych zaliczane były do następujących jednostek systematycznych gleb:

Klasa X: Gleby industrioziemne, Grupa 2 Gleby zmienione w wyniku gospodarki przemysłowej (wydanie III, 1974).

Dział VII: Gleby antropogeniczne, Rząd VII B. Gleby industrioziemne i urbanoziemne, Typ VII B1. Gleby antropogeniczne o niewykształconym profilu oraz typ VII B3 Pararędziny antropogeniczne (jednostka glebowa, która nie występuje już w kolejnych wydaniach Systematyki gleb Polski,) (wydanie IV, 1989).

Rząd 11: Gleby antropogeniczne, typ 11.2. Gleby industrioziemne, Podtyp 11.2.1 Gleby industrioziemne inicjalne lub podtyp 11.2.2 Gleby industrioziemne próchniczne (wydanie V, 2011).

Obecnie w/w gleby w zależności od zróżnicowanych ich właściwości sklasyfikować można następująco:

Rząd 9: Gleby antropogeniczne, Typ 9.2: Gleby technogeniczne, Podtypy: Industriosole, Aggerosole, Gleby technogeniczne próchniczne, Gleby technogeniczne gruntowo-glejowe, Gleby technogeniczne opadowo-glejowe (wydanie VI, 2019).

Odpowiednikiem gleb technogenicznych w klasyfikacji WRB 2022 są Technosols.

Klasyfikacja WRB (World Reference Base for Soil Resources – Klasyfikacja Zasobów Glebowych Świata) została po raz pierwszy opublikowana w 1998 r. przez Organizację do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa Narodów Zjednoczonych (FAO) i obecnie stanowi nie tylko międzynarodowy system nomenklatury gleb, ale także jest używana do tworzenia legend map

(WRB 2014). Nazwy gleb w klasyfikacji WRB tworzy się na dwóch poziomach szczegółowości: pierwszy poziom to określenie przynależności do jednej z 32-ch referencyjnych grup gleb (RSG) identyfikowanych za pomocą klucza, drugi poziom to uszczegółowienie nazwy przy użyciu kwalifikatorów głównych i uzupełniających. Określanie nazwy gleby składa się z 3-ch etapów: 1) zdiagnozowanie poziomów, właściwości czy materiałów diagnostycznych, 2) dopasowanie do referencyjnej grupy gleb za pomocą klucza, 3) przydzielenie kwalifikatorów.

Referencyjna grupa gleb (RSG) Technosols została wprowadzona w drugim wydaniu WRB w 2006 r. Obecnie (2023 r.), w obowiązującym czwartym wydaniu systematyki gleb, Technosols definiowane są przez dwa materiały diagnostyczne: artefakty oraz masywny materiał technogeniczny. Z grupą Technosols związane są również inne parametry diagnostyczne: glebowy węgiel organiczny oraz materiał organotechniczny, który został wprowadzony do klasyfikacji WRB w IV edycji (WRB 2014, Schad 2018, WRB 2022, Schad 2023).

Technosols według WRB 2022 to gleby, które:

1. spełniają wszystkie poniższe właściwości:
 - a) posiadają jedną z dwóch lub obie cechy z poniższych:
 - posiadają $\geq 20\%$ artefaktów (objętościowo, w stosunku do całej gleby), do 100 cm głębokości liczonej od powierzchni gleby lub do warstwy ograniczającej, jeśli występuje płycej w profilu
 - posiadają warstwę ≥ 10 cm miąższości i zaczynającą się ≤ 50 cm od powierzchni gleby, zawierającą $\geq 80\%$ artefaktów (objętościowo, w stosunku do całej gleby)
 - b) nie mają warstwy z artefaktami, która spełnia kryteria poziomów diagnostycznych *argic*, *duric*, *ferralic*, *ferric*, *fragic*, *hydragric*, *natric*, *nitic*, *petrocalcic*, *petroduric*, *petrogypsic*, *petroplinthic*, *pisoplinthic*, *plinthic*, *spodic* or *vertic horizon*, która występuje ≤ 100 cm od powierzchni gleby, chyba, że jest to gleba pogrzebana;
 - c) nie posiadają warstwy ograniczającej, która wystąpiłaby ≤ 10 cm od powierzchni gleby
- lub
2. posiadają ciągłą, bardzo słabo przepuszczalną lub nieprzepuszczalną sztuczną membranę, dowolnej miąższości lub masywny materiał technogeniczny zaczynający się ≤ 100 cm od powierzchni gleby.

Według Schad (2018) kryterium 1b dotyczy gleb, zawierających warstwę z artefaktami, które jednak po zdeponowaniu nie uległy przekształceniom pedogenicznym i nie nabrały cech w/w poziomów diagnostycznych.

Do opisu rodzaju artefaktów występujących w glebie służą 3 kwalifikatory z 16 kwalifikatorów głównych przeznaczonych do opisu Technosols. Kwalifikator Urbic stosuje się przy artefaktach typu gruz oraz pochodzących z osiedli ludzkich, Spolic do artefaktów przemysłowych (odpadów górniczych, materiałów z pogłębiania kanałów, popiołu, żużla itp.), a Garbic stosuje się do odpadów organicznych (Schad 2018). Pozostałe cechy Technosols można określić używając oprócz kwalifikatorów głównych kwalifikatory uzupełniające, których dla Technosols w ostatnim wydaniu systematyki WRB przewidziano w liczbie 59 (WRB 2022).

W obowiązującej Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) gleby wytworzone i przekształcone w wyniku działalności gospodarczej człowieka znalazły się w randze typu „Gleby industrioziemne i urbanoziemne”, który dzieli się na podtypy:

- gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu, powstające współcześnie z materiałów tworzących nasypy, skarpy, wyrobiska i zwałowiska oraz zieleni miejskiej,
- gleby industrioziemne i urbanoziemne próchniczne, o tej samej genezie co podtyp poprzedni tylko charakteryzujące się głębokim poziomem próchnicznym także pochodzenia antropogenicznego,
- pararendziny antropogeniczne – gleby z wysoką zawartością wapnia w poziomach powierzchniowych,
- gleby antropogeniczne słone – zawierające poziom słony (zawierający powyżej 2% soli w wodzie i o miąższości co najmniej 15 cm), powstające najczęściej w miastach w wyniku stosowania soli do likwidacji oblodzeń (Brożek 2017).

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost zainteresowania glebami technogenicznymi, co przejawia się w dużej liczbie publikacji dotyczących badań nad ich genezą, rozwojem i właściwościami tej jednostki systematycznej. Przyczyną tego zjawiska jest fakt, iż większość populacji ludzkiej zamieszkuje tereny istotnie przekształcone przez człowieka tj. tereny aglomeracji miejskich i przemysłowych. Dodatkowo gleby technogeniczne bardzo różnią się morfologią i właściwościami od gleb naturalnych (Kabała i in. 2020, Uzarowicz i in. 2020). Często są to gleby o wadliwych cechach, toksyczne, wymagające „naprawy”. Większość z nich tworzy gleby wtórnie inicjalne, które wymagają zainicjowania i podtrzymania procesu glebotwórczego. W pierwszym stadium formowania się nowej gleby

procesy glebotwórcze przebiegają bardzo intensywnie, z czasem przemiany spowalniają i stają się mniej widoczne (Skawina 1958b).

2.5. Procesy glebotwórcze na gruntach pokopalnianych

Czynniki glebotwórcze na gruntach pokopalnianych

Jedynym z głównych zadań rekultywacji jest zainicjowanie tworzenia się gleby na gruntach pokopalnianych. Intensywność i tempo procesów glebotwórczych na tych obszarach uzależnione są od różnych czynników. Gleby technogeniczne są glebami młodymi, dlatego w pierwszej fazie ich tworzenia decydującą rolę odgrywa materiał macierzysty (Greinert i Walczak 2001), a zwłaszcza jego skład granulometryczny i właściwości chemiczne. Przykładowo, na terenach poeksploatacyjnych na gruntach lekkich, w porównaniu z utworami cięższymi, następuje powolna akumulacja materii organicznej, co odzwierciedla się w mniejszej miąższości poziomu próchnicy nadkładowej, a także w niższych zawartościach węgla i azotu (Wójcik i Krzaklewski 2007). W dalszym etapie z powyższych gruntów powstają gleby o niskiej pojemności wodnej i sorpcyjnej (Pietrzykowski 2006, Smółczyński i Orzechowski 2010).

Grunty macierzyste mogą charakteryzować się skrajnymi wartościami odczynu, których nie odnotowuje się w glebach naturalnych, a które zakłócają a wręcz hamują przebieg procesów glebotwórczych. Na gruntach po eksploatacji siarki wartości odczynu mogą dochodzić do pH 2, a zakwaszenie przyczynia się do niszczenia organizmów glebowych i szaty roślinnej (eliminacja jednego z czynników glebotwórczych) (Gołda 1995, Siuta 2001). Podobna sytuacja występuje na obiektach poeksploatacyjnych węgla brunatnego (Łęknica, Turów, Adamów, Łużyckie Zagłębie Węglowe), gdzie zakwaszenie jest procesem wtórnym, spowodowanym obecnością utleniających się siarczków żelaza głównie pirytu i markazytu i podobnie jak w przypadku gruntów zasiarzonych powoduje fitotoksyczność i wzmożenie procesów erozji (Greinert 1996, Krzaklewski i in. 1997, Hüttl i Weber 2001, Nietrzeba-Marcinonis i Mrówczyńska-Siadak 2004, Drab i Greinert 2011, Gilewska i Otremba 2011).

W kolejnym etapie tworzenia się gleby istotną rolę zaczyna odgrywać roślinność, która inicjuje proces glebotwórczy m.in. poprzez gromadzenie w wierzchnich warstwach materii organicznej. W miarę rozwoju zbiorowisk roślinnych, skład drzewostanu zaczyna mieć wpływ na zasoby i jakość próchnicy glebowej (Węgorek 1995, Wójcik i Krzaklewski 2007, Pietrzykowski 2010, Woś i in. 2018).

Pietrzykowski i Krzaklewski (2004) badając glebę pod drzewostanem sosny zwyczajnej, brzozy brodawkowatej z domieszką topoli osiki stwierdzili, iż z czasem (5-25 lat) wzrasta miąższości poziomów próchnicznych oraz zawartość w nich węgla i azotu.

Gatunki iglaste (sosna zwyczajna, sosna czarna, modrzew europejski) przyczyniają się do wzrostu zakwaszenia powierzchniowych warstw glebowych oraz akumulacji materii organicznej w poziomach próchnicy nadkładowej w znacznie większym stopniu niż gatunki liściaste (brzoza brodawkowata, olsza czarna) (Uggla 1967, Wójcik i Kowalik 2006, Miletić i in. 2011, Woś i Pietrzykowski 2019).

Zasoby próchnicy nadkładowej i jej skład różnią się jednak w obrębie gatunków iglastych, jak też liściastych. Pod sosną zwyczajną tworzy się grubsza warstwa próchnicy nadkładowej w porównaniu z modrzewiem europejskim, ale o niższej zawartości węgla i azotu, natomiast w poziomie akumulacyjnym zależność jest odwrotna (Kowalik i Wójcik 2005).

W przypadku gleb pod drzewostanami różnych gatunków dębu, Nicolini i Topp (2005) stwierdzili, iż wyższy wskaźnik akumulacji materii organicznej, jak również wyższa mineralizacja w ściółce występuje pod dębem bezszypułkowym w porównaniu z dębem czerwonym.

Gatunkami, które najsilniej modyfikują właściwości gleb i wpływają na proces glebotwórczy są gatunki z rodzaju olsz, ze względu na ich zdolność do wiązania azotu atmosferycznego. Poziomy organiczne tworzące się pod olszą czarną zawierają wyższe zawartości nie tylko azotu, ale także węgla organicznego, magnezu i potasu. Mineralne poziomy próchniczne odznaczają się wyższą miąższością i nie wykazują już takiego zróżnicowania w zawartościach makroelementów (w porównaniu z innymi gatunkami takimi jak: sosna zwyczajna, modrzew europejski, brzoza brodawkowata (Wójcik i Kowalik 2006, Nietrzeba-Marcinonis 2008, Wójcik i Kowalik 2014, Woś i Pietrzykowski 2019).

W badaniach porównawczych właściwości gleb pod dwoma różnymi gatunkami olszy: czarnej i zielonej wykazano korzystniejsze oddziaływanie w procesie glebotwórczym olszy czarnej ze względu na wyższą zawartość składników odżywczych (N, P i K) w poziomie organicznym (Chodak i in. 2019, Pietrzykowski i in. 2020).

Czas jaki musi upłynąć, aby surowy grunt stał się produktywną glebą w przypadku gleb naturalnych wynosi ok. 200-300 lat, natomiast w warunkach kształtowanych przez człowieka może być skrócony do 10-20 lat (Bender 1995).

Według Gilewskiej i Otremby za Bender (Bender 1995, Gilewska i Otremba 2005, 2006) o efekcie rekultywacji decyduje nie czas jej przebiegu, ale intensywność i zaawansowanie

procesów glebotwórczych, które zależą w głównej mierze od odpowiednio dobranych i zastosowanych zabiegów rekultywacyjnych mających na celu „naprawę chemizmu gruntu”.

W przypadku gruntów po eksploatacji węgla brunatnego zastosowanie nawożenia NPK (konfiguracja 0 NPK, 1 NPK, 2 NPK) oraz orki spowodowało poprawę właściwości fizycznych warstwy ornej (zmniejszenie gęstości objętościowej, zwiększenie strukturalności i porowatości), a także wytworzenie poziomu próchnicznego o ciemniejszym zabarwieniu wskazującym na gromadzenie się substancji humusowych oraz podwyższonej zawartości węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu w porównaniu do gleby nienawożonej (0 NPK) (Gilewska i Otremba 2001, 2004, 2005, Mocek i in. 2004). Według Gilewskiej 1995 to głównie nawozy zawierające azot przyczyniają się do wytworzenia korzystnej i trwałej struktury gleby.

Uprawa roślin z rodziny bobowatych: - łubin żółty *Lupinus luteus* L. - stosowana na gruntach po eksploatacji piasku, jak też lucerna siewna *Medicago sativa* L. na gruntach po wydobywaniu węgla brunatnego wspomaga efekt działania nawozów mineralnych poprzez dodatkowy wzrost zawartości węgla organicznego, azotu oraz pojemności sorpcyjnej (Pietrzykowski i in. 2017, Otremba i in. 2020).

W celu poprawy właściwości gruntów po wydobywaniu piasku i żwiru podjęto próbę aplikacji do gleby biowęgla wytworzonego ze słomy pszennej. Najlepsze efekty w postaci wzrostu wartości pH i zawartości węgla organicznego oraz poprawy retencji wodnej uzyskano przy zastosowaniu biowęgla wraz z nawozem mineralnym NPK (Bednik i in. 2020).

Pozytywny wpływ na poprawę właściwości fizykochemicznych gruntów porekultywacyjnych odnotowano również po zastosowaniu różnych dodatków do gleby np. wprowadzenie osadów ściekowych do gruntów po rekultywacji wyrobiska powapiennego (przy zachowaniu obowiązujących zasad zgodnych z przepisami dotyczącymi ochrony środowiska), spowodowało wzrost zawartości węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu (Carabassa i in. 2018), a także podwyższenie wartości pH (Kusza 2006).

Badania nad zastosowaniem w rekultywacji wyrobisk powapiennych materiałów takich jak słoma, trociny oraz kora ze zrębkami drzew liściastych wzbogaconych nawozami mineralnymi (NPK) wykazały, iż najlepszym dodatkiem pod względem wzrostu zawartości węgla organicznego w glebie jest słoma, natomiast najwyższy wzrost zawartości azotu odnotowano na poletku wzbogaconym korą ze zrębkami z dodatkiem nawozu mineralnego (Kusza 2015). Według Cohen-Fernandez i in. (2013) najwyższą skutecznością w produkcji biomasy na gruntach powapiennych wykazał się osad z celulozowni, najniższą siano i słoma.

Pierwszymi symptomami świadczącymi o przebiegu procesów glebotwórczych są: stopień wykształcenia struktury i jej trwałość (Gilewska 1995), akumulacja substancji

organicznej przejawiająca się jako zwiększenie miąższości poziomu próchniczego zarówno pod postacią ektopróchnicy, jak i endopróchnicy, oraz jej przemiany o czym świadczy wzrost zawartości węgla organicznego i azotu (Gilewska 1991, Kowalik 2004, Pietrzykowski i Krzaklewski 2004, Wójcik i Krzaklewski 2007, 2009, 2019), spadek stosunku C/N (Węgorek 1995), wzrost zasobności w makroelementy (Mg, K i P) (Wójcik i Kowalik 2006) oraz zakwaszanie warstw przypowierzchniowych (Kowalik i Wójcik 2005). Według Pietrzykowskiego i Krzaklewskiego (2004) przyrost miąższości poziomu akumulacji próchnicy jest jednym ze wskaźników oceny postępu procesu odtwarzania gleb i efektywności rekultywacji.

Rola materii organicznej w tworzeniu gleb i kształtowaniu ich właściwości

Głównym procesem glebotwórczym w pierwszej fazie formowania się gleb jest akumulacja i transformacja materii organicznej (Abakumov i in. 2012). Według Turskiego (1996), Drozda i in. (1997) oraz Bednarek i in. (2005) materię organiczną stanowią żywe organizmy glebowe (edafon), obumarłe szczątki roślin i zwierząt w różnych stadiach rozkładu oraz próchnica. Węższym pojęciem jest próchnica glebowa (humus) – bezpostaciowe ciemno zabarwione produkty procesu humifikacji, w skład której wchodzi związki humusowe: kwasy huminowe, kwasy fulwowe i huminy oraz kompleksy organiczno-mineralne (Bednarek i in. 2005).

W gleboznawstwie leśnym za próchnicę uznaje się całą materię organiczną nagromadzoną na powierzchni gleby w różnym stopniu rozkładu, tworzy ona próchnicę organiczną - ektopróchnicę (próchnicę nadkładową), a po zmieszaniu z częścią mineralną gleby - endopróchnicę (próchnicę wewnątrzglebową) (Brożek 2017).

Materia organiczna jest układem dynamicznym i w glebie podlega ciągłym przemianom, które przebiegają w dwóch kierunkach:

- mineralizacji - czyli rozkładzie do prostych związków mineralnych, która prowadzi do zmniejszenia zasobów węgla oraz uwalniania składników pokarmowych dla roślin (Jamroz 2012),
- humifikacji, czyli procesów prowadzących do powstania próchnicy.

Procesy te są ze sobą ściśle powiązane i zachodzą w glebie jednocześnie. Przyjmuje się, że około 75-80% materii organicznej ulega procesowi mineralizacji natomiast jedynie 20-25% przekształca się w próchnicę (Zawadzki i in. 1999, Gonet i in. 2007).

Wykształcenie inicjalnych poziomów organicznych w glebach jest właściwością, która pozwala odróżnić je od gruntów bezglebowych (Dziadowiec 1993). Próchnica wpływa na wiele właściwości fizycznych i chemicznych gruntów, istotnych z punktu widzenia tworzenia się nowego utworu glebowego tj. m.in.: ze względu na ciemną barwę związków humusowych powoduje szybsze nagrzewanie się warstw powierzchniowych gleby, poprawia jej strukturę poprzez tworzenie agregatów, zwiększa retencję wodną i pojemność wymiany kationów, zmniejsza gęstość właściwą i objętościową gleby a tym samym powoduje wzrost porowatości, przeciwdziała gwałtownym zmianom odczynu poprzez swoje właściwości buforowe, przeciwdziała erozji, a przede wszystkim jest źródłem składników pokarmowych dla roślin (Kononowa 1968, Stevenson 1994, Mazur 1995, Turski 1996, Gonet 2007, Pałosz 2009, Kuś 2015). Intensywność przemian i jakość materii organicznej można przedstawić m. in. za pomocą wskaźnika C/N, który oznacza proporcję węgla organicznego do azotu ogólnego i jest to wskaźnik oceny kierunku i szybkości transformacji materii organicznej w glebie. Niskie jego wartości - w granicach poniżej 12 wskazują na wysoką aktywność biologiczną gleb i szybki rozkład materii organicznej, co charakteryzuje głównie poziomy mineralne, natomiast wartości powyżej 20 oznaczają powolny rozkład i akumulację materii organicznej i występują w poziomach i glebach organicznych (Gonet i in. 2007, Brożek 2017, Łabęda i Kondras 2020). Dla gleb w szkółkach leśnych optymalnym zakresem wskaźnika C/N jest przedział 10-15 (Szołtyk i Hilszczańska 2003).

Według Siuty (Siuta 1998) wskaźnik C/N może być jednym z kryteriów stosowanych do oceny stanu degradacji gleb (Tab.2).

Tab. 2. Stan degradacji gleb na podstawie wartości wskaźnika C/N (Siuta 1998)

Wartość wskaźnika C/N	Stan degradacji gleb
8:1 – 10:1	gleba czysta
10:1 – 17:1	gleba słabo zdegradowana
17:1 – 30:1	gleba średnio zdegradowana
30:1 – 45:1	gleba w dużym stopniu zdegradowana
powyżej 45:1	gleba silnie zdegradowana

2.6. Metody oceny jakości gleb i gruntów

Jakość gleby definiowana jako zdolność gleby do wypełniania danej funkcji w ekosystemie (Brożek 2007) nie jest wielkością bezpośrednio mierzalną, ale można ją ocenić

na podstawie jej właściwości. W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele metod oceny jakości gleb, z których najbardziej rozpowszechniona jest metoda „wskaźnika jakości gleb”, która polega na waloryzacji gleb poprzez nadanie wielu właściwościom gleb wartości liczbowych a następnie zebranie ich w jeden wskaźnik – indeks (Karlen i in. 1994, Doran i Parkin 1996, Schoenholtz i in. 2000, Brożek 2001, Pietrzykowski i in. 2010b, Gawęda i in. 2018). Indeks jakości gleb może stanowić narzędzie służące do ich wyceny, porównań, klasyfikacji, a także wykazywania zmian w czasie pod wpływem określonych czynników (Brożek 2007). Trudno jest opracować wskaźnik uniwersalny dla wszystkich gleb ze względu na ich dużą zmienność i niejednorodność (Mamehpour i in. 2021), jak również określić najistotniejsze cechy gleb, na podstawie których zostanie on wyznaczony.

Dobór standardowego zestawu właściwości gleb celem opracowania takiego wskaźnika może odbywać się na drodze metod statystycznych (Shukla i in. 2006, Bandyopadhyay i in. 2020) lub systemem eksperckim (opartym na wiedzy specjalistycznej) (Amacher i in. 2007, Asensio i in. 2013). Według Brożka i in. (2007) stosowanie metod statystycznych może prowadzić do zbyt daleko idących uproszeń.

W przypadku gleb uprawnych, dla których początkowo stosowano koncepcję wskaźników jakości gleb najszerszy zestaw cech opracowali Barbiroli i in. (2004) opierając się na ponad 30 właściwościach gleb tj. m.in. na odczynie, zawartości potasu wymiennego czy obecności bakterii fosforowych. Brejda i in. (2000) zastosował jedynie 4 cechy gleby: zawartość węgla organicznego i azotu, trwałość wodną agregatów i zasolenie, które najtrafniej określały jakość gleb uprawnych w półsuchym regionie Ameryki Północnej (Brożek i in 2007). Badania Andrews i in. (2003) (wskaźnik oparty na 6 cechach) oraz Mukherjee i Lal (2014) (wskaźnik oparty na 13 cechach) wykazały dodatnią korelację obliczonego wskaźnika jakości gleb z wysokością plonów. Mamehpour i in. (2021) w swych badaniach obliczyli wskaźnik jakości gleb miejskich uwzględniając wariant z maksymalną liczbą właściwości gleby (23 cechy), w tym zawartością metali ciężkich, ze względu na specyficzną genezę gleb miejskich (zawartość materiałów pochodzenia antropogenicznego) odróżniającą je od gleb leśnych czy rolnych oraz wariant z minimalną (kluczową) liczbą wskaźników. W obu wariantach stwierdzono negatywny wpływ urbanizacji na jakość gleb miejskich.

Najczęściej stosowane wskaźniki (indeksy) jakości gleb leśnych w Polsce to Indeks Trofizmu Gleb Leśnych - ITGL (Brożek 2001, Brożek i Zwydak 2003) oraz jego rozszerzona forma – Siedliskowy Indeks Glebowy – SIG (Brożek i in. 2008, 2011). Wyliczone indeksy jakości gleb znajdują praktyczne zastosowanie w diagnozowaniu siedlisk leśnych, projektowaniu typów lasu czy w wykazaniu naturalnych i antropogenicznych zmian w glebie

(Brożek 2007). Indeks Trofizmu Gleb Leśnych przedstawiany jest za pomocą liczby, na którą składają się wartości pojedynczych wskaźników reprezentujących właściwości takie jak skład granulometryczny gleby, w tym zawartość części szkieletowych, odczyn, suma zasad, oraz stopień rozkładu materii organicznej. Dodatkowo w obliczaniu w/w wskaźnika uwzględniono miąższość poszczególnych poziomów genetycznych w profilu (Brożek 2007). Siedliskowy Indeks Glebowy dodatkowo odnosi wszystkie wymienione właściwości do objętości gleby (Brożek 2011).

Oprócz gleb, ocenie poddaje się również surowe grunty bezglebowe, celem określenia ich przydatności do rekultywacji. Największe zastosowanie w rekultywacji obiektów po eksploatacji odkrywkowej ma klasyfikacja opracowana przez Skawinę i Trafas (1971), która ujmuje cztery cechy gruntu (skład granulometryczny, zawartość węgla wapnia, sorpcję i spoistość) w jeden wskaźnik liczbowy tzw. liczbę bonitacyjną na podstawie, której kwalifikuje się grunt do odpowiedniej klasy (A, B, C, D lub E) (Tab. 3). Klasyfikację gruntów musi poprzedzać rozpoznanie, czy badany utwór nie jest fitotoksyczny (Gołda 2005).

Tab. 3. Klasy przydatności gruntów na potrzeby rekultywacji według Skawiny i Trafas (Gołda 2005)

Liczba bonitacyjna LB	Klasa przydatności gruntów	Opis gruntów w danej klasie
> 75	A	grunty bardzo dobre, przydatne do rekultywacji rolnej
50-75	B	grunty dobre, mniej przydatne do rekultywacji rolnej, natomiast bardzo przydatne do rekultywacji leśnej
21-50	C	grunty wadliwe, nieprzydatne do rekultywacji rolnej, a do rekultywacji leśnej dopiero po częściowym ulepszeniu
<21	D	grunty złe, jałowe tj. nieproduktywne i nieprzydatne do rekultywacji, wymagające podstawowego użyźnienia lub izolacji
	E	grunty toksyczne, nieprzydatne do rekultywacji, wymagające neutralizacji lub izolacji

Korzystając z w/w wskaźnika Chodak (2013) dokonał klasyfikacji surowców odpadowych z górnictwa surowców skalnych (nadkład i odpady przerobcze z kopalń wapieni,

dolomitów, bazaltów, diabazu, porfiru i piaskowca) pod względem ich przydatności do rekultywacji w górnictwie kruszyw mineralnych. Większość badanych utworów (ok. 56%) wykazywała przydatność do rekultywacji leśnej. Wskaźnik ten znalazł zastosowanie również w ocenie „młodych” (20-40 letnich) gleb pogórnich (Pietrzykowski i in. 2009), gdzie diagnoza jakości gleb tworzonych na gruntach pokopalnianych jest jednym z najważniejszych kryteriów szacowania powodzenia rekultywacji (Bandyopadhyay i in. 2020).

Na terenach pogórnich, zarówno na glebach tworzonych w ramach prac rekultywacyjnych, jak również powstających na drodze sukcesji początkowo w ocenie jakości gleb stosowano indeksy opracowane dla gleb leśnych. Pierwszą próbę zastosowania nieznacznie zmodyfikowanego wskaźnika ITGL do oceny gleb w wyrobiskach kopalni piasku Szczakowa podjęli Pietrzykowski i Krzaklewski (2006), a następnie rozszerzono badania na kolejne obiekty tj. zwałowiska kopalni węgla brunatnego Bełchatów, składowisko odpadów węglowych Smolnica oraz zwałowisko odkrywkowej kopalni siarki Piaseczno. Powyższe badania potwierdziły przydatność wskaźnika ITGL w ocenie gleb pogórnich, ale jednocześnie wskazywały na konieczność jego modyfikacji celem dostosowania do specyfiki gleb tworzonych na gruntach pokopalnianych, których cechą charakterystyczną jest duża zmienność czasowa i przestrzenna (Pietrzykowski i Pająk 2009, Pietrzykowski i in. 2010b). Asensio i in. (2013) analizując gleby powstałe w wyniku rekultywacji terenów po wydobyciu miedzi wykazali, iż w zależności od miejsca lokalizacji profili glebowych (zbiornik odpadów poflotacyjnych lub zwałowisko) wskaźnik jakości gleb powinien być wyznaczony na podstawie odmiennych właściwości.

Jedną z koncepcji nowego wskaźnika jakości gleb (W_{JGP} – wskaźnik jakości gleb pogórnich) dedykowanego dla gleb pogórnich w warunkach polskich została opracowana przez Pietrzykowskiego (Pietrzykowski i in. 2010a). Dobór cech – składowych wskaźnika obejmował właściwości decydujące o trofizmie gleb tj. skład granulometryczny, sumę zasad, zawartość fosforu przyswajalnego, kwasowość wyrażoną w jednostkach pH, wskaźnik C/N oraz pojemność wodną kapilarną. Każdy ze wskaźników cząstkowych miał swoją wagę i sposób standaryzacji (wartości od 0 do 1,0). Wnioskiem z powyższych badań było stwierdzenie, iż ze względu na znaczną zmienność warunków siedliskowych i specyfikę obiektów pogórnich powyższy wskaźnik powinien podlegać dalszej weryfikacji – zarówno w aspekcie jakości gruntów, jak też wprowadzanego drzewostanu.

3. Cel i zakres pracy

Prowadzone badania miały na celu określenie wpływu wybranych czynników (rodzaju podłoża, czasu i roślinności) na przebieg procesów glebotwórczych oraz na zmiany właściwości gleb technogenicznych tworzonych na zwałowiskach kopalni surowców węglanowych. W pracy zaproponowano **nowy** wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca} , który pozwoli zweryfikować prawidłowość przebiegu dotychczasowej rekultywacji. Na jego podstawie będzie możliwe sformułowanie zaleceń możliwych do zastosowania na podobnych obiektach przeznaczonych do rekultywacji.

Aby osiągnąć powyższe cele sformułowano następujące tezy badawcze:

- Teza 1 (T1) Niejednorodność podłoża glebowego (potencjalnej skały macierzystej) determinuje kształtowanie się cech jakościowych gleb technogenicznych.
- Teza 2 (T2) Czynnik czasu wpływa na zmiany właściwości gleb technogenicznych powstałych na zwałowiskach kopalni surowców węglanowych.
- Teza 3 (T3) Zróżnicowanie szaty roślinnej stanowi czynnik dynamizujący procesy glebotwórcze w utworach zwałowych surowców węglanowych.

4. Charakterystyka obiektu badawczego

4.1. Lokalizacja obiektu

Powierzchnie badawcze zostały założone na zwałowiskach wewnętrznych wyrobisk kopalni wapienia „Góraždze”, która znajduje się w południowo-zachodniej części kraju, w województwie opolskim, w miejscowości Góraždze, gminie Gogolin. Najbliższe większe miasta to: Opole – ok. 20 km na północny-zachód od wyrobiska oraz Gliwice ok 80 km w kierunku południowo – wschodnim.

Zgodnie z obecnym podziałem administracyjnym obszar złoża Góraždze należy do gminy Gogolin. W bezpośrednim sąsiedztwie zalegania złoża występują tereny lasów państwowych należących do Nadleśnictwa Strzelce Opolskie oraz tereny miejscowości Góraždze (Rosik-Dulewska i in. 2008).

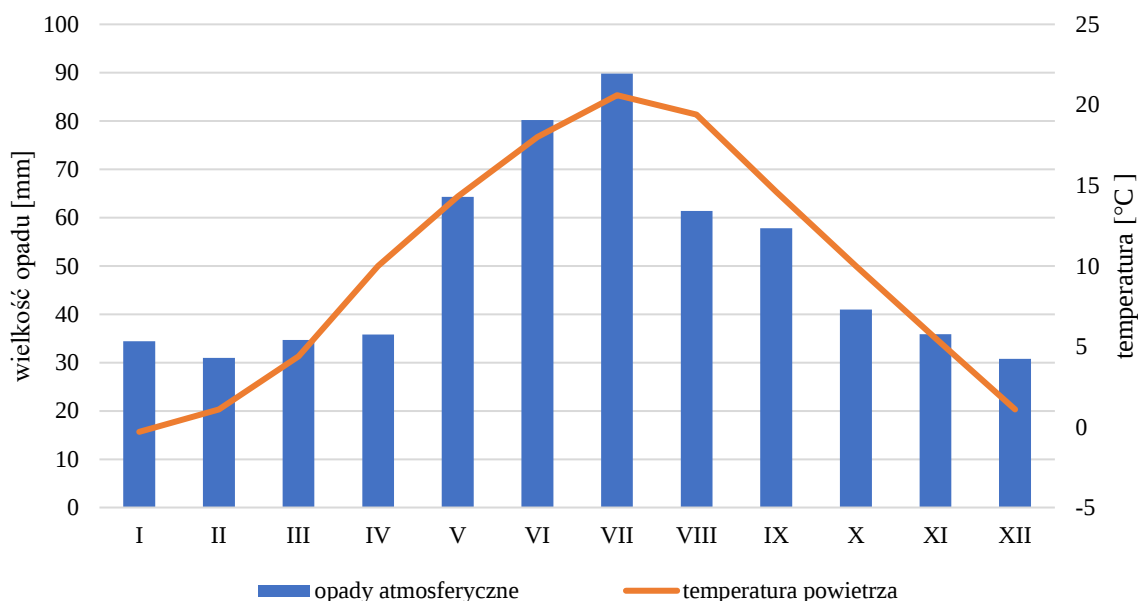
W centralnej części złoża znajduje się rezerwat przyrody „Kamień Śląski”, dla którego na podstawie decyzji Okręgowego Urzędu Górniczego w Gliwicach z dnia 26 marca 1977 r. ustanowiono filar ochronny o szerokości 200 m od granic rezerwatu (Plan urządzenia lasu ...2022).

4.2. Warunki klimatyczne

Charakterystykę klimatyczną obiektu kopalni wapienia Góraždze oparto o wielkości wieloletnich pomiarów meteorologicznych w stacji Opole znajdującej się w najbliższym sąsiedztwie omawianego terenu. Obszar, na którym znajduje się Kopalnia Wapienia Góraždze należy do najcieplejszych rejonów klimatycznych kraju. Średnia roczna dobową temperaturą dla danych z okresu 1998-2022 kształtuje się na poziomie 9,8°C. Analizując dane z poszczególnych lat w w/w okresie najwyższą średnią roczną dobową temperaturę powietrza odnotowano w 2019 r. (11,2°C), natomiast najniższą w 2010 r. (8,2°C). Najcieplejszym miesiącem w roku jest lipiec ze średnią dobową temperaturą 20,6°C, natomiast najzimniejszym styczeń ze średnią dobową temperaturą -0,3°C.

Średnia roczna suma opadów dla okresu 1998-2022 wynosi 597 mm. Okresem, w którym odnotowano najwyższe opady był rok 2010 z wartością 868 mm, natomiast najniższe stwierdzono w 2015 roku – 358 mm.

Najwyższe opady odnotowuje się w miesiącu lipcu, w tym okresie miesięczna suma opadów kształtuje się na poziomie 90 mm, najniższe opady przypadają na miesiące: luty i grudzień (31 mm) (Rys. 8) (IMGW Instytut Badawczy, dane dla stacji meteorologicznej w Opolu 2023).



Rys. 8. Diagram klimatyczny dla stacji Opolo dla lat 1998-2022, stacja meteorologiczna w Opolu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych: IMGW Instytut Badawczy, <https://danepubliczne.imgw.pl>)

4.3. Położenie fizjograficzne obiektu, geomorfologia, warunki glebowe, struktura użytkowania gruntów

Według regionalizacji fizyczno-geograficznej Kondrackiego (2022) badany obszar leży w obrębie makroregionu Wyżyna Śląska, natomiast obszar zalegania złoża znajduje się w południowo-zachodniej części mezoregionu Chełm, którego monoklinalną budowę geologiczną stanowią dolomity i wapień środkowego triasu. Płytowy charakter budowy geologicznej ma wpływ na ukształtowanie powierzchni terenu, który jest łagodnie pochylony w kierunku północno-zachodnim. W trakcie wieloletniej eksploatacji kopaliny, jak również prowadzonych na bieżąco prac rekultywacyjnych pierwotna morfologia terenu uległa dużym przeobrażeniom i obecnie najwyższą wysokość odnotowuje się w południowo-wschodniej części złoża tj. około 190 m n.p.m., a najniższą w północno-zachodniej tj. około 166 m n.p.m., są to jednocześnie najdalej wysunięte punkty rozpoznawcze złoża (Dokumentacja Geologiczna 1969, dodatek nr 3 do Dokumentacji Geologicznej 2006).

Gleby występujące w rejonie kopalni należą głównie do typu rędzin, podtypów rędziny właściwe oraz rędziny brunatne, dodatkowo na terenie rezerwatu „Kamień Śląski” zlokalizowano gleby rdzawe brunatne (Biały i in. 2000, Plan urządzania lasu 2022).

W strukturze przestrzennej gminy Gogolin, na terenie której znajduje się teren kopalni, dominują użytki rolne, zajmujące 47,5% powierzchni gminy (z tego 79,1 % stanowią grunty orne), 36% pokrywają lasy i zadrzewienia, 10% zajmują grunty zabudowane i zurbanizowane, a 3,7% stanowią użytki kopalne na obszarach działających kopalni (kopalnia Góraźdże i częściowo Tarnów Opolski), które poddawane są sukcesywnej rekultywacji oraz nieużytki pokopalniane, które zajmują ok. 2% powierzchni gminy. Rozpatrując gleby pod względem ich rolniczej przydatności to największą powierzchnię gruntów ornych zajmują gleby kompleksów żytnich – 61,1% (żytni słaby – 23,2%, żytni dobry – 20,0%, żytni bardzo słaby 17,9%), kompleksy pszenne stanowią 27% powierzchni gruntów ornych (pszenny dobry 15,2% i pszenny wadliwy 11,8%). Użytki zielone klasy średniej stanowią 85%.

Pod względem bonitacji gleby orne należą głównie do VI i V klasy bonitacyjnej (tj. odpowiednio 35,7 i 29,1% gruntów ornych), do klasy IVb i IVa należy 13,7 i 10,1% gruntów, do klasy IIIb i IIIa – 8,2 i 2,7% gruntów, najmniej jest gruntów klasy II – 0,5%, natomiast grunty orne klasy I nie występują na terenie gminy. Gleby pod trwałymi użytkami zielonymi to głównie gleby klasy IV i V (w sumie ok. 78% powierzchni wszystkich użytków zielonych), następnie gleby klasy III – 11%, II – 7% i VI – ok. 4%. Podobnie jak w kategorii gleb ornych, na terenie gminy Gogolin nie występują gleby klasy I użytków zielonych (Program ochrony środowiska dla gminy Gogolin 2020).

4.4. Warunki geologiczne i stratygrafia złożeń

Po względem budowy badany obszar należy do dużej jednostki geologicznej jaką jest Wyżyna Śląsko-Krakowska, którą tworzą głównie skały osadowe okresu dewonu, karbonu, permu, triasu i jury, przykryte warstwą utworów trzecio- i czwartorzędowych.

Ekspluatowana kopalina to wapienie triasowe, triasu środkowego należące w większości do oddziału wapienia muszlowego dolnego. Złoże zalega prawie poziomo, nieznacznie zapada się ku NNW pod kątem 2-5°. Profil stratygraficzny złożeń tworzą poczynając od części spągowej: warstwy gogolińskie, następnie góraźdżańskie, terebratulowe, karchowickie oraz w części północnej złożeń częściowo wapienie diploporowe należące do piętra środkowego wapienia muszlowego (Dokumentacja geologiczna 1969).

Warstwy gogolińskie wykazują znaczne zróżnicowanie pod względem wykształcenia, budowy oraz składu chemicznego. Według Assmann (1944) i Siedleckiego (1949) warstwy gogolińskie dzielą się na dwie formacje: dolną i górną.

Formację dolną tworzą: wapienie z Pecten i Dadorinus, poziom margli ilastych oraz wapien komórkowy, formacja górna to: gruboławicowe wapienie i wkładki wapieni falistych, poziom wapienia marglistego oraz główny poziom falisty (Kowal-Linka 2009). W obu formacjach wapieni zidentyfikowano fazy węglanowe o różnym udziale magnezu, które utworzone są przez: czysty kalcyt (o zawartość magnezu <1%), kalcyt magnezowy zwany magnezjo-kalcytem, dolomit oraz huntyt oraz fazy niewęglanowe: kwarc, skalenie, minerały ilaste oraz muskowit. Jednak zawartość poszczególnych faz w obrębie każdej z formacji jest zróżnicowana. Wapienie góraždzańskie dolne reprezentują osady strefy litoralnej, są bogate w pozostałości fauny i charakteryzują się wyższą zawartością faz węglanowych niż formacja górna. Wapienie góraždzańskie górne to utwory lagunowe o wyższej zawartości krzemianów i glinokrzemianów nie posiadające faz węglanowych wzbogaconych w żelazo. Miąższość warstw gogolińskich wynosi ok. 50 m. Na warstwach gogolińskich zalegają warstwy góraždzańskie.

Warstwy góraždzańskie stanowią wapienie drobno i średniokrystaliczne o zbitej strukturze. Wyróżniają się żółtawym zabarwieniem i występowaniem rozwiniętych poziomów stylitowych oraz warstw oolitycznych. Charakteryzują się bardzo wysoką zawartością tlenku wapnia, rzędu powyżej 53%, niską zawartością krzemionki – niecałe 2%, oraz niewielkimi zawartościami tlenków magnezu, glinu i żelaza – sumarycznie poniżej 2% (Tab. 4).

Tab. 4. Skład chemiczny warstwy góraždzałskiej w latach 1969 i 2006

Źródło: Dokumentacja geologiczna 1969, Plan ruchu, Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej 2006

Rok	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	[%]				
1969	54,13	0,42	1,58	0,41	0,68
2006	53,08	0,29	1,65	0,60	0,84

W rejonie południowym złoża warstwy wapieni góraždzańskich podlegały procesom krasowienia, a ponieważ stropowe części złoża w tym miejscu są zerodowane miąższość całej warstwy mieści się w granicach 6,2-24,5 m, średnio 15,35 m. Warstwy te ze względu na upad w południowej części złoża występują bezpośrednio pod nakładem utworów czwartorzędowych, natomiast w części północnej zalegają kolejno pod warstwami terebratulowymi, a następnie karchowickimi (Dokumentacja geologiczna 1969, Plan ruchu, Dodatek nr 3, Rosik-Dulewska i in. 2008).

Warstwy terebratulowe zbudowane są z wapieni o teksturze zbliżonej do falistej, niekiedy łupkowej, z przewarstwieniami ilasto-marglistymi, fragmentami ławice wapieni zawierają zwiększoną ilość frakcji piaszczystej. Wapienie te, barwy kremowo-szarej, powstały m.in. z nagromadzenia terebratul i krynoidów i charakteryzują się wysoką twardością i zwięzłością. Średnia zawartość tlenku wapnia w warstwach terebratulowych oscyluje w granicach 50% i jest niższa niż w warstwach górażdżańskich, natomiast ilości pozostałych składników: krzemionki oraz tlenków magnezu, żelaza i glinu są wyższe, zwłaszcza w zakresie zawartości krzemionki, która kształtuje się od 4,49% (1969) do 7,10% (2006). (Tab. 5).

Tab. 5. Skład chemiczny warstwy terebratulowej w latach 1969 i 2006

Źródło: Dokumentacja geologiczna 1969, Plan ruchu, Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej 2006

Rok	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	[%]				
1969	51,37	0,58	4,49	0,58	1,64
2006	48,25	0,55	7,10	1,05	2,65

Warstwy terebratulowe mają miąższość od 7,4 do 15 m i na ich stropie zalegają warstwy karchowickie.

Warstwy karchowickie to utwory gruboławicowe, występujące w formie bloków skalnych o licznych spękaniach. Dolne części kompleksu tworzy wapień krystaliczny o barwie kremowo-szarej, górne tworzy utwór silnie porowaty, kawernisty z wypełnieniami kalcytowymi. W obrębie tych utworów lokalnie występuje dolomityzacja. Zawartość CaO w warstwach karchowickich kształtuje się podobnie jak w warstwach terebratulowych na poziomie ok. 50% i podobnie jak wyżej odnotowuje się wysoki poziom krzemionki od 2,51% (2006) do 7,05% (1969), zawartości poszczególnych tlenków metali kształtują się następująco: MgO – od 0,59% (2006) do 0,79% (1969), Fe₂O₃ – od 0,94% (1969) do 1,05% (2006), Al₂O₃ od 0,81% (2006) do 1,57% (1969) (Tab. 6).

Tab. 6. Skład chemiczny warstwy karchowickiej w latach 1969 i 2006

Źródło: Dokumentacja geologiczna 1969, Plan ruchu, Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej 2006

Rok	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	[%]				
1969	49,65	0,79	7,05	0,94	1,57
2006	52,29	0,59	2,51	1,05	0,81

Powyżej warstw karchowickich zalegają warstwy diploporowe, jednak ze względu na trudności w wyznaczeniu granicy pomiędzy nimi całą serię wapieni leżących na warstwach terebratulowych określa się jako wapienie karchowickie. Miąższość warstw karchowickich wynosi średnio około 14 m.

Nad warstwami karchowickimi lokalnie odnotowano zaleganie utworów trzeciorzędowych, które występują w formie słaboplastycznych ilów piaszczystych.

Utwory czwartorzędowe utworzone są przez: różnoziarniste piaski akumulacji lodowcowej, zawierające wkładki żwirów, w północnej części złoża często zaglinione oraz słaboplastyczne gliny morenowe z dodatkiem frakcji piasku, a także rumoszu wapiennego.

W złożu zaobserwować można uskoki o kącie nachylenia płaszczyzny uskokowej 80°, oraz liczne leje krasowe wypełnione zwietrzeliną w formie glin, piasków deluwialnych i okruchów wapieni (Dokumentacja geologiczna 1969, Plan ruchu, Dodatek nr 3, Rosik-Dulewska i in. 2008).

4.5. Warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne

Obszar zalegania złoża należy do dorzecza górnej Odry i jej dopływów. Charakterystyczną cechą zlewni jest brak zbiorników powierzchniowych oraz cieków w rejonie wychodni wapieni triasowych, co związane jest z dużą infiltracją bezpośredniej zlewni wyrobiska górniczego.

Na omawianym terenie występuje jeden poziom wodonośny związany z utworami dolnego i środkowego wapienia muszlowego, tworzą go spękane i o licznych szczelinach wapienie karchowickie, terebratulowe i górażdzańskie o zróżnicowanych właściwościach filtracyjnych (0,096 - 207,36 m·d⁻¹) zalegające na trudno przepuszczalnych marglistych wapieniach warstw gogolińskich. Poziom wodonośny ma charakter swobodny i występuje

w zależności od morfologii na głębokości od 5,8 do 30,6 m, głównym jego źródłem zasilania są opady atmosferyczne infiltrujące z powierzchni terenu.

W części zachodniej obszaru zalegania złoża, w utworach czwartorzędowych charakteryzujących się największą grubością nadkładu lokalnie występuje woda. Jej zwierciadło występuje w części spągowej utworów piaszczystych zalegających bezpośrednio na wapieniach triasowych.

W eksploatowanym złożu wapieni triasowych wydzielono pod względem hydrogeologicznym trzy obszary złoża:

- I. Obszar niezawodniony, obejmujący rejon obecnej eksploatacji we wschodniej części wyrobiska
- II. Obszar częściowo zawodniony obejmuje centralną część złoża. Zawodnienie występuje tylko w warstwach dolnych – górażdżańskich - część złoża z przeznaczeniem wydobywania surowca na potrzeby przemysłu wapienniczego (średnia depresja ok. 10 m, maksymalna ok. 19 m, średni dopływ wód podziemnych $3\text{ m}^3/\text{min}$), w przypadku warstw terebratulowych i karchowickich zawodnienia nie odnotowano.
- III. Obszar zawodniony we wszystkich warstwach złoża, obejmuje północną część złoża, średnia depresja ok. 15 m, przewidywany dopływ wód podziemnych $8\text{ m}^3/\text{min}$ – dla warstw terebratulowych i karchowickich, oraz średnia depresja ok. 30 m, przewidywany średni dopływ wód podziemnych $15\text{ m}^3/\text{min}$.

Do odwadniania wyrobisk i odprowadzania wód kopalnianych oraz wód opadowych służy system odwadniania składający się z rowów, rzepi, pięciu stałych pompowni oraz przestawnych pompowni prowizorycznych. Odwadnianie zakładu górniczego powoduje obniżanie się zwierciadła wód podziemnych, występowanie leja depresji a także lokalne zmiany naturalnych kierunków przepływu wód podziemnych

Według dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej prognozuje się, iż powstający lej, który ma ograniczone możliwości zwiększenia swego zasięgu, gdyż jest ograniczony strukturalnie (uskok i wychodnie) i hydrodynamicznie (koryto cieku Struga) nie będzie miał wpływu na siedliska rolne i leśne (Plan ruchu odkrywkowego zakładu górniczego...na lata 2019-2025).

4.6. Roślinność

Zgodnie z regionalizacją przyrodniczo-leśną Polski 2010 według Zielony i Kliczkowskiej (2012) badany obszar należy do V Krainy Śląskiej Mezonejonu Gogolińsko-Strzeleckiego

(V.21). Teren poza wyrobiskiem eksploatacyjnym jest w większej części zalesiony, krajobraz roślinny stanowią tutaj głównie grądy, żyzne buczyny niżowe oraz bory sosnowe, na niewielkich powierzchniach występują kwaśne dąbrowy niżowe, w pozostałej części obszar wykorzystywany jest jako pola uprawne, łąki i pastwiska. Dodatkowo, jak wspomniano wyżej, w centralnej części złoża znajduje się rezerwat „Kamień Śląski”, który został ustanowiony Rozporządzeniem Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z dnia 11 lutego 1958 r. w celu zachowania ze względów naukowych i dydaktycznych fragmentu lasu mieszanego ze stanowiskiem jarzębu brekinii (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz). Na obszarze rezerwatu o powierzchni 13,60 ha występują również fragmenty żyznej buczyny niżowej oraz fragmenty z dominującą sosną zwyczajną i grabem pochodzenia antropogenicznego. Od kilku lat na terenie kamieniołomu „Góraždze” można obserwować rozwój muraw kserotermicznych (Decyzja OUG 1977, Plan urządzania lasu 2012, Plan urządzania lasu 2022, Zmiana Studium uwarunkowań....2022). Ponadto, na terenie zrehabilitowanego zwałowiska wewnętrznego powołano Zrządzeniem Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Opolu z dnia 4 stycznia 2023 r. rezerwat faunistyczny „Gogolińskie Gniewosze” obejmującego powierzchnię 28,18 ha (Dz. Urz. Woj. Op. z 2023 r. poz. 105).

4.7. Charakterystyka złoża i eksploatacja surowca w Kopalni „Góraždze”

Wapienie triasowe w Kopalni „Góraždze” eksploatowane były na potrzeby przemysłu wapienniczego już w XIX w., natomiast od roku 1976 r. również na potrzeby produkcji cementu. W 1977 r. uruchomiono cementownię Góraždze Cement S.A. (Baszczyńska i Kaźmierczak 2011, Stanieda 2014).

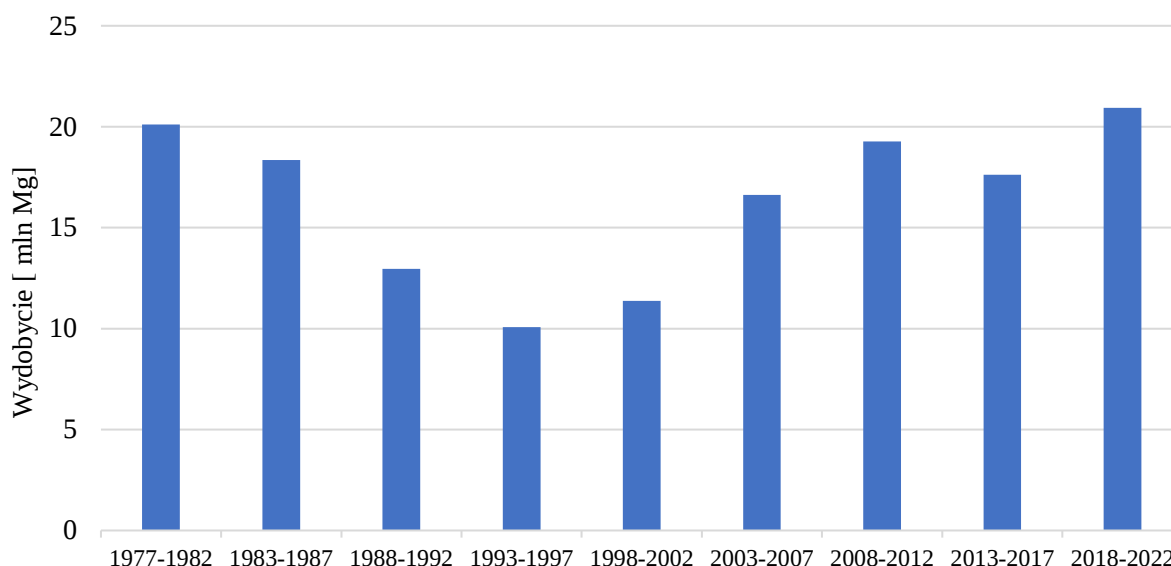
Złoże wapieni „Góraždze” jest obecnie eksploatowane na podstawie koncesji nr 12/2001 Ministra Środowiska z dnia 30.11.2001 r. ważnej do 30.11.2051 r. W decyzji koncesyjnej został utworzony obszar górniczy „Góraždze III” o powierzchni 491,89 ha oraz teren górniczy „Góraždze II” o powierzchni 1416,47 ha (dodatek nr 3).

Zasoby geologiczne bilansowe złoża wg stanu na 2022 r. (Bilans zasobów złóż ...2022) wynoszą:

- wapienie dla przemysłu cementowego – poza filarami ochronnymi (przemysłowe) 116 743 tys. Mg,
- wapienie dla przemysłu wapienniczego – poza filarami ochronnymi (przemysłowe) 144 556 tys. Mg.

Kopalnia Wapienia „Góraždze” jest kopalnią stokowo-wgłębną.

Złoże posiada charakterystyczną dwudzielną budowę, jego górna część (warstwy terebratulowe i karchowickie) posiada parametry, które kwalifikują go jako surowiec do produkcji cementu, natomiast jego dolna część – warstwy góraždzańskie stanowią kopalinę najwyższej jakości spełniającą wymogi dla przemysłu wapienniczego (Dokumentacja geologiczna 1969).



Rys. 9. Wydobywanie wapienia w kopalni „Góraždze w 5-letnich okresach - lata 1977-2022
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce 1978-2023, <https://www.pgi.gov.pl/bilans-zasobow>)

Wydobywanie kopaliny na przełomie ostatnich pięciu lat (2018-2022) kształtuje się na poziomie ok. 4 mln Mg rocznie, a planuje się zwiększenie wydobywania surowca do 5 mln Mg.

Analizując dane przedstawione na rysunku 9 (eksploatacja wapienia od roku 1977, w poszczególnych okresach 5-letnich) odnotowuje się stopniowy spadek wydobywania kopaliny z 20 mln Mg w latach 1977-1982 do ok. 10 mln Mg w okresie 1993-1997, natomiast od roku 1998 obserwuje się ponowny wzrost ilości eksploatowanego surowca, aż do pięciolecia 2018-2022, kiedy wartości te osiągnęły poziom najwyższy w ciągu całego analizowanego okresu tj. 20,941 mln Mg/5lat.

Złoże zalegające w granicach istniejącego obszaru górniczego jest przewidziane w całości do eksploatacji, jedynie jego część uwieczniona w filarach ochronnych stanowi zasoby nieprzemysłowe. Jeden z filarów ochronnych utworzony został dla taśmociągu surowcowego transportującego kamień łamany do Cementowni Góraždze i jednocześnie stanowi on południową granicę obszaru górniczego.

Granice obszaru górniczego w części wschodniej, północnej oraz zachodniej wyznacza granica udokumentowanego złoża.

Drugi filar ochronny ustanowiony został jak już wspomniano wcześniej dla rezerwatu przyrody „Kamień Śląski”, który usytuowany jest w centralnej części złoża i dzieli je na część zachodnią (wzrostisko nr 1) i część wschodnią (wzrostisko nr 2). Dalsze prace eksploatacyjne będą przebiegały jednocześnie w dwóch wzrostiskach, ale na dwóch poziomach wydobywczych, co podyktowane jest zróżnicowaniem jakościowym surowca. Poziom I (górny) stanowią warstwy karchowickie i terebratulowe o odpowiedniej jakości surowca dla przemysłu cementowego, natomiast poziom II (dolny) tworzą warstwy górażdżańskie i przejściowe o składzie dedykowanym dla przemysłu wapienniczego. Eksploatacja surowca odbywa się systemem ścianowym. Wysokość ścian dla poziomu I wahają się w przedziale od 7,0 do 19,0 m, natomiast dla poziomu II: od 11,0 do 24,0 m. Nachylenie skarp eksploatacyjnych dla obu poziomów wynosi do 80°.

Przed rozpoczęciem robót eksploatacyjnych prowadzone są działania związane ze zdejmowaniem nadkładu.

Nadkład złoża stanowią utwory czwartorzędowe (piaski akumulacji lodowcowej, często zaglinione) wraz z warstwą nadległą w postaci humusu o miąższości ok 30 cm, oraz częściowo stropowe partie warstw górażdżańskich, terebratulowych lub karchowickich (na obszarach ich wychodni) o charakterze zaglinionego rumoszu wapiennego lub gliny zwietrzelinowej.

Miąższość nadkładu wynosi od 0,3 do 2,5 m, lokalnie dochodzi do 10 m (w miejscach występowania krasu). Zdejmowanie nadkładu odbywa się metodą selektywną – w pierwszej kolejności usuwana jest warstwa gleby a następnie pozostałe skały nadkładowe.

W kopalni prowadzone jest zwałowanie wewnętrzne prowadzone w ramach etapu rekultywacji technicznej oraz w niewielkim zakresie zwałowanie zewnętrzne celem utworzenia wału ochronnego zabezpieczającego górną krawędź wzrostiska (Plan ruchu odkrywkowego zakładu górniczegona lata 2019-2025).

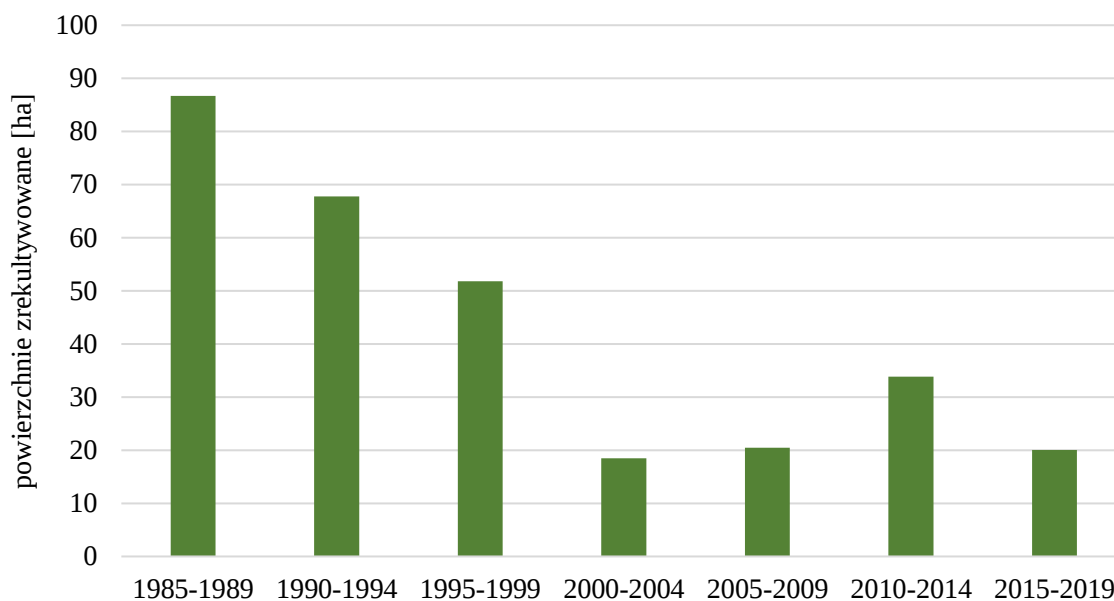
4.8.Przebieg prac rekultywacyjnych

Dla kopalni wapienia „Górażdże” przewidziane są dwa kierunki rekultywacji: leśny i wodny (Zmiana Studium... 2022). Kierunek leśny ze względu na lokalizację wzrostiska, warunki przyrodnicze, glebowe i wodne wydaje się najbardziej uzasadniony technicznie i ekonomicznie. Od roku 1985 prace rekultywacyjne są już sukcesywnie realizowane w tym kierunku (dotyczy to fragmentów terenów już wyeksploatowanych nieprzydatnych do dalszych prac wydobywczych). Kierunek wodny jest przewidziany do realizacji po całkowitym

zakończeniu eksploatacji, w części północnej złoża, po utworzeniu zalewu wodnego, który powstanie po zaprzestaniu odwadniania.

Pierwsze powierzchnie zrekultywowane (7,41 ha) zostały w roku 1985. Od tego czasu do roku 2019r. zrekultywowano już ok. 300,00 ha (dane źródłowe Kopalnia „Góraźdże”).

Na rysunku 10 przedstawiono wielkości powierzchni zrekultywowanych w okresach pięcioletnich w kopalni wapienia „Góraźdże”. Dane dotyczą tych terenów, dla których otrzymano decyzję uznającą rekultywację za zakończoną.



Rys. 10. Wielkość powierzchni zrekultywowanych gruntów poeksploatacyjnych w kopalni wapienia „Góraźdże” w poszczególnych pięcioleciach

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalni „Góraźdże” (2023)

Najwięcej terenów zrekultywowano w latach 1985-1989 (ok. 87 ha) tj. ok. 30% całej powierzchni zrekultywowanej do tej pory, najmniej w latach 2000-2004 – ok. 19,0 ha.

Tereny już zrekultywowane są efektem prac prowadzonych w ramach rekultywacji technicznej i biologicznej. W ramach rekultywacji technicznej ukształtowano rzeźbę terenu poprzez niwelację nierówności, równomierne rozmieszczenie mas skalnych (odpady przeróbcze), przemieszczenie mas nadkładu, który był wcześniej selektywnie składowany i zwałowany.

Masy skalne (odpady przeróbcze) stanowią utwory powstałe w trakcie eksploatacji, charakteryzujące się bardzo niską jakością surowcową, bez znaczenia dla przemysłu cementowo-wapienniczego. Są to m.in. utwory krasowe oraz drobne frakcje kamieni z przeróbki mechanicznej. Utwory te zostały przebadane pod względem przydatności do

rekultywacji, oznaczono w nich podstawowe parametry fizyko-chemiczne tj. skład granulometryczny, odczyn, zawartość węglanu wapnia, zasolenie oraz zawartość węgla organicznego. Ze względu na znaczny udział w badanych próbkach części szkieletowych utwory zaliczono do bardzo silnie szkieletowych i szkieletowych właściwych o odczynie lekko alkalicznym, przy zasoleniu na poziomie od 0,039% do 0,043%. Stwierdzono wysoką zawartość węglanu wapnia (62%), przy jednoczesnym braku węgla organicznego. Uzyskane wyniki klasyfikują przebadany grunt jako materiał przydatny do rekultywacji, nadający się jako dobre podłoże do rozwoju i wzrostu roślinności wprowadzonej w ramach rekultywacji biologicznej.

Po przygotowaniu podłoża, na wierzchnią warstwę zostały nawiezione masy nadkładu – gleba próchniczna, która była selektywnie zdjęta (z obszarów leśnych) w trakcie przygotowania terenu pod eksploatację kopaliny. Skład granulometryczny nadkładu określono jako utwory gliniaste oraz piaszczyste. Związane jest to obecnością wokół wyrobiska gleb należących do gliniastych rędzin brunatnych oraz piaszczystych gleb rdzawych.

Dalsze prace realizowane były już w ramach rekultywacji biologicznej.

Na etapie rekultywacji biologicznej wprowadzono odpowiednie do warunków siedliskowych gatunki drzew szybkorosnących i światłożądnych tj. sosnę zwyczajną *Pinus silvestris* L., olszę czarną *Alnus glutinosa* L. Gaertn, brzozę brodawkowatą *Betula pendula* L., robinie akacjową *Robinia pseudoacacia* L., modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill., jesioną wyniosłego *Fraxinus excelsior* L. wraz z gatunkami domieszkowymi i biocenotycznymi takimi jak: jarzab pospolity *Sorbus aucuparia* L., wierzba iwa *Salix caprea* L., jarzab brekinia *Sorbus torminalis* L., klon jawor *Acer pseudoplatanus* L., śliwa tarnina *Prunus spinosa* L., głóg jednoszyjkowy *Crataegus monogyna* Jacq. (Rosik-Dulewska i in. 2008).

W wyniku przeprowadzenia powyższych działań rekultywacyjnych na terenie kopalni odkrywkowej wapienia „Górażdże” na zwałowisku wewnętrznym stwierdza się obecność gleb technogenicznych w podtypach: aggerosole i industriosole.

5. Metodyka badań

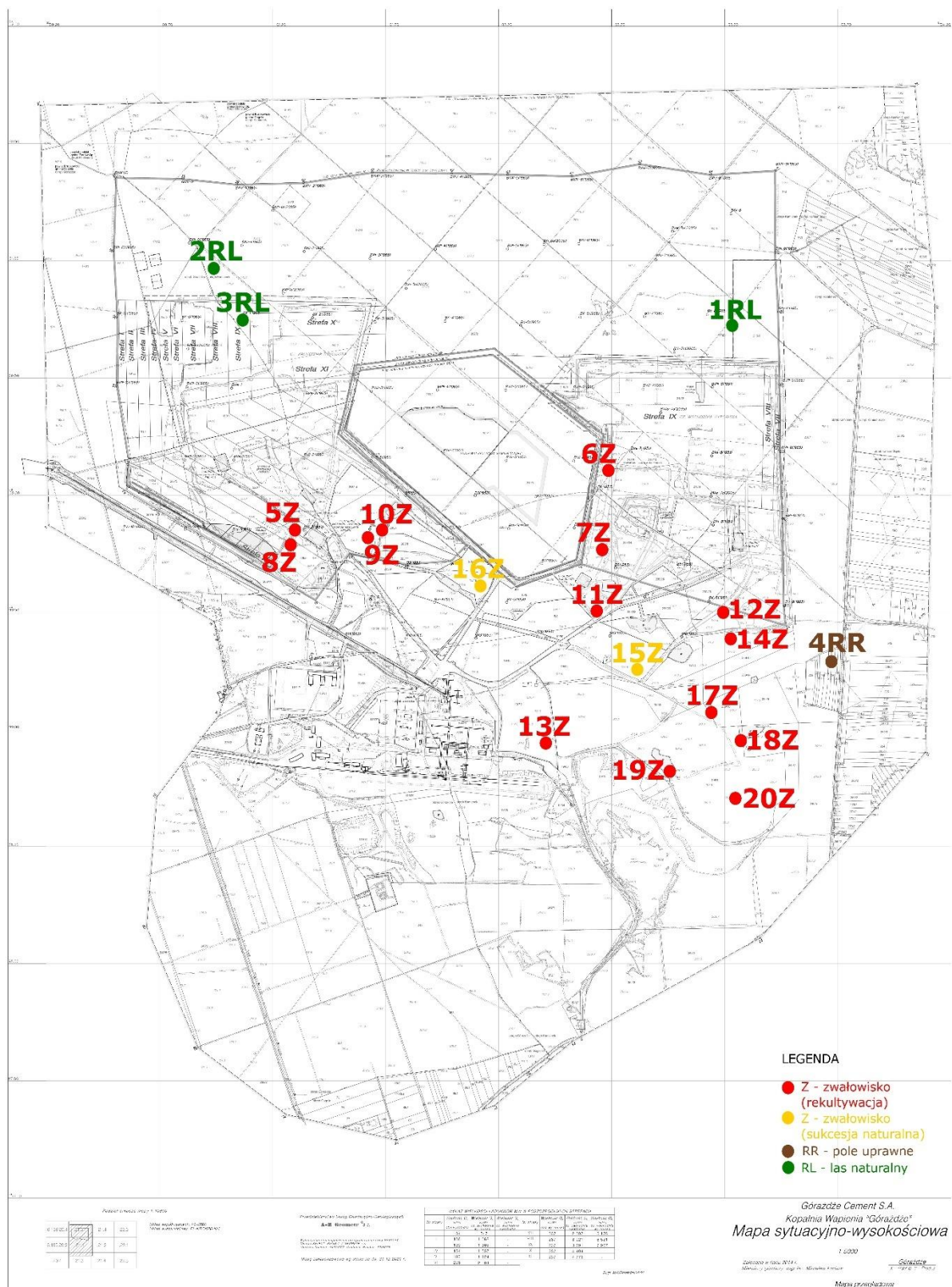
5.1. Badania terenowe

Badaniami objęto 16 obszarów (powierzchni), wydzielonych na zrehabilitowanych zwałowiskach wewnętrznych kopalni wapienia „Góraždze”. Powierzchnie były zróżnicowane ze względu na zastosowany rodzaj nadkładu (utwór gliniasty lub piaszczysty) oraz na wiek ich utworzenia (od uformowania zwałowiska do zakończenia prac rekultywacyjnych). Jednocześnie charakteryzowały się odmiennymi gatunkowo nasadzeniami drzew (sosna zwyczajna, olsza czarna). W celu porównania właściwości gleb technogenicznych wyznaczono powierzchnie referencyjne, znajdujące się w sąsiedztwie terenu kopalni – 3 profile na glebach leśnych i jeden profil na glebie ornej (Tab. 7).

Prace terenowe zostały przeprowadzone na przełomie sierpnia i września 2022 r. Na wytypowanych obszarach założono 20 odkrywek glebowych celem odsłonięcia profili glebowych (szesnaście na powierzchniach zrehabilitowanych zwałowiska wewnętrznego - oznaczenie Z, trzy na powierzchniach referencyjnych gleb leśnych – oznaczenie RL, oraz jedną na powierzchni referencyjnej gleby rolnej - oznaczenie RR) (Rys. 11). Jednocześnie opisano: lokalizację profilu na podstawie współrzędnych geograficznych, jego usytuowanie w terenie, wiek powierzchni/drzewostanu (na podstawie danych uzyskanych z kopalni „Góraždze”) oraz dominujące zbiorowisko roślinne (Tab. 7). Określono również grupy wiekowe drzewostanu wraz z przypisaniem do nich numerów odkrywek glebowych (Tab. 8). Ponadto, wyróżniono podstawowe cechy morfologiczne gleby: ilość warstw i poziomów glebowych i ich miąższość, barwę, szkieletowość, obecność artefaktów, występowanie korzeni roślin oraz fauny glebowej.

W profilach, w których nie było możliwości makroskopowego odróżnienia poziomów genetycznych wyznaczono umowne warstwy o zakresach głębokości: 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm i 50-70 cm i poniżej 70 cm. W pozostałych profilach poziomy glebowe zostały wyróżnione zgodnie z wytycznymi Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego zawartymi w obowiązującej systematyce gleb (PTG 2019). W poziomach oraz warstwach określono barwę za pomocą skali barw Munsell’a oraz odnotowano inne cechy szczególne.

Z charakterystycznych poziomów i warstw pobrano próbki glebowe w stanie naruszonym, a następnie przewieziono je do laboratorium. Łącznie do badań laboratoryjnych pobrano 97 próbek glebowych z poziomów i warstw organicznych i mineralnych. Dodatkowo wykonano dokumentację fotograficzną każdego profilu.



Rys. 11. Lokalizacja powierzchni badawczych na obszarze wyrobiska kopalni „Górażdże”
Źródło: Opracowanie własne na podstawie mapy górniczej (2024)

Szczegółowy opis odkrywek wraz z numeracją przedstawiono w poniższej tabeli 7.

Tab. 7. Charakterystyka powierzchni badawczych zlokalizowanych na terenie wyrobiska kopalni wapienia „Górażdże”

Lokalizacja odkrywki	Nr profilu	Forma wprowadzenia roślin	Wiek powierzchni/ drzewostanu (lata)	Drzewostan
las naturalny/rzędzina brunatna/sąsiaduje z wyrobiskiem wschodnim	1RL	nasadzenia	ok. 100	buk zwyczajny/sosna zwyczajna
las naturalny/gleba rdzawa/sąsiaduje z wyrobiskiem zachodnim	2RL	nasadzenia	ok. 100	sosna zwyczajna, buk zwyczajny, głóg jednoszyjkowy, ceremcha amerykańska
las naturalny/gleba inicjalna/sąsiaduje z wyrobiskiem zachodnim	3RL	nasadzenia	15-18	sosna zwyczajna
pole uprawne/rzędzina brunatna/sąsiaduje z wyrobiskiem wschodnim	4RR	-	-	-
zwałowisko zachodnie	5Z	nasadzenia	1	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	6Z	nasadzenia	2	olsza czarna
zwałowisko wschodnie	7Z	nasadzenia	6	olsza czarna
zwałowisko zachodnie	8Z	nasadzenia	10	sosna zwyczajna
zwałowisko zachodnie	9Z	nasadzenia	15	sosna zwyczajna
zwałowisko zachodnie	10Z	nasadzenia	15-17	olsza czarna
zwałowisko wschodnie	11Z	nasadzenia	15-17	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	12Z	nasadzenia	18	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	13Z	nasadzenia	15-20	brak
zwałowisko wschodnie	14Z	nasadzenia	19-20	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	15Z	sukcesja	25	sosna zwyczajna, brzoza brodawkowata, olsza czarna
zwałowisko wschodnie	16Z	sukcesja	25	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	17Z	nasadzenia	27-30	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	18Z	nasadzenia	30	olsza czarna
zwałowisko wschodnie	19Z	nasadzenia	30	sosna zwyczajna
zwałowisko wschodnie	20Z	nasadzenia	30-35	olsza czarna

Tab. 8. Lokalizacja odkrywek glebowych z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu

Lokalizacja odkrywki	Gatunek drzewa (grupa wiekowa)	Numer odkrywki
zwałowisko wewnętrzne powierzchnie zrekultywowane (nasadzenia)	olsza czarna (0-5 lat)	6Z
	sosna zwyczajna (0-5 lat)	5Z
	olsza czarna (6-15 lat)	7Z
	sosna zwyczajna (6-15 lat)	8Z, 9Z
	olsza czarna (16-25 lat)	10 Z
	sosna zwyczajna (16-25 lat)	11Z, 12Z, 14Z
	olsza czarna (> 25 lat)	18Z, 20Z
	sosna zwyczajna (> 25 lat)	17Z, 19Z
zwałowisko wewnętrzne powierzchnie zrekultywowane (sukcesja)	sosna zwyczajna (16-25 lat), buk zwyczajny, głóg jednoszyjkowy, czeremcha amerykańska	15Z
	sosna zwyczajna (16-25 lat)	16Z
las naturalny	buk zwyczajny/sosna zwyczajna >100 lat	1RL
las naturalny	sosna zwyczajna (11-20 lat)	3RL
las naturalny	sosna zwyczajna, buk zwyczajny, głóg jednoszyjkowy, czeremcha amerykańska	2RL

5.2. Prace laboratoryjne

Pobrane próbki glebowe zostały przewiezione do laboratorium i wysuszone w temperaturze pokojowej do stanu powietrznie suchego, następnie próbki z poziomów organicznych zostały zmielone w kulowym młynie agatowym Retsch S1, a mineralne zostały przesiane przez sito o wymiarach oczek 2 mm, celem oddzielenia części szkieletowych od ziemistych. Dalszym analizom laboratoryjnym zostały poddane próbki organiczne oraz części

ziemiste próbek mineralnych, zgodnie z przyjętymi normami oraz metodyką stosowaną w gleboznawstwie (Ostrowska i in. 1991, Kabała i Karczewska 2019).

W próbkach gleby mineralnej oznaczono:

- barwę w stanie suchym zgodnie z Munsell Soil Colour Charts (barwę w stanie wilgotnym oznaczono w trakcie prac terenowych),
- zawartość części szkieletowych metodą sitową (sito o średnicy oczek 2mm),
- skład granulometryczny metodą areometryczno – sitową wg Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego,
- wskaźnik plastyczności będący różnicą pomiędzy granicą płynności i granicą plastyczności gruntów, celem obliczenia wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas
- odczyn metodą potencjometryczną, pH w wodzie i 1M roztworze KCl (z zachowaniem proporcji gleba : roztwór - 1:2,5) przy użyciu pH-metru firmy ELMETRON CP-411 z elektrodą IJ44A,
- przewodność elektryczną metodą konduktometryczną (z zachowaniem proporcji gleba:woda – 1:5) przy użyciu konduktometru firmy ELMETRON CC-401 z czujnikiem ECF-1,
- zawartość węglanu wapnia metodą objętościową Scheiblera,
- kwasowość hydrolityczną (H_h) metodą Kappena; ekstraktor 1M octan sodu,
- zawartość form wymiennych Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} w wyciągu 1M chlorku amonu, a ich koncentrację w wyciągach oznaczono techniką spektroskopii absorbcyjnej (Mg^{2+}) przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej Thermo iCE 3500 oraz techniką emisyjną (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}), z wykorzystaniem fotometru płomieniowego BWB-XP firmy BWB Technologies UK LTD,
- sumę zasad (S) z sumowania kationów wymiennych Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
- pojemność sorpcyjną (T) i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi ($V\%$) odpowiednio z kwasowości hydrolitycznej (H_h) i sumy zasad (S),
- zawartość węgla organicznego metodą oksydacyjno-miareczkową wg Tiurina,
- zawartość azotu ogólnego za pomocą aparatu Elemental Analyzer EA 3100,
- zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu wg metody Egnera- Riehma w wyciągu mleczanu wapnia, następnie zawartość fosforu oznaczono metodą spektrofotometrii przy użyciu spektrofotometru PU 8620 UV/VIS/NIR firmy Philips, a potasu metodą

spektrometrii emisyjnej na fotometrze płomieniowym BWB-XP firmy BWB Technologies UK LTD,

- zawartość przyswajalnego magnezu metodą Schachtschabela techniką spektroskopii absorbcyjnej przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej Thermo iCE 3500.

W próbkach pobranych z poziomu organicznego oznaczono:

- barwę w stanie suchym zgodnie z Munsell Soil Colour Charts (barwę w stanie wilgotnym oznaczono w trakcie prac terenowych),
- odczyn metodą potencjometryczną, pH w wodzie i 1M roztworze KCl (z zachowaniem proporcji gleba : roztwór - 1:10) przy użyciu pH-metru firmy ELMETRON CP-411 z elektrodą IJ44A,
- przewodność elektryczną metodą konduktometryczną (z zachowaniem proporcji gleba : woda – 1:5), przy użyciu konduktometru firmy ELMETRON CC-401 z czujnikiem ECF-1,
- zawartość węglanu wapnia metodą objętościową Scheiblera,
- kwasowość hydrolityczną (H_h) metodą Kappena; ekstraktor 1M octan sodu,
- zawartość form wymiennych Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} w wyciągu 1M chlorku amonu, a ich koncentrację w wyciągach oznaczono techniką spektroskopii absorbcyjnej (Mg^{2+}) przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej Thermo iCE 3500 oraz techniką emisyjną (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}), z wykorzystaniem fotometru płomieniowego BWB-XP firmy BWB Technologies UK LTD,
- sumę zasad (S) z sumowania kationów wymiennych Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
- pojemność sorpcyjną (T) i stopień wzbogacenia kationami zasadowymi ($V\%$) odpowiednio z kwasowości hydrolitycznej (H_h) i sumy zasad (S),
- zawartość węgla organicznego metodą Alena,
- zawartość azotu ogólnego za pomocą aparatu Elemental Analyzer EA 3100,
- zawartość przyswajalnych form: fosforu, potasu i magnezu wg PN-R-04024 w wyciągu 0,5M roztworu kwasu solnego, następnie zawartość fosforu oznaczono metodą spektrofotometrii na spektrofotometrze PU 8620 UV/VIS/NIR firmy Philips, potasu metodą spektrometrii emisyjnej na fotometrze płomieniowym BWB-XP firmy BWB Technologies UK LTD, a magnezu oznaczono techniką spektroskopii absorbcyjnej przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej Thermo iCE 3500,

- zawartość przyswajalnego magnezu metodą Schachtschabela techniką spektroskopii absorbcyjnej przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej Thermo iCE 3500.

Wszystkie analizy fizyko-chemiczne i chemiczne wykonano w trzech powtórzeniach, a omawiane wyniki stanowią ich średnią arytmetyczną.

Tabelaryczne zestawienie wyników analiz zostało umieszczone w załączniku do niniejszej pracy.

5.3. Prace studyjne

Na podstawie wybranych właściwości gleb obliczono następujące wskaźniki jakości gleb i gruntów:

- A. Wskaźnik jakości gruntów oparty na liczbie bonitacyjnej LB wg Skawiny i Trafas.
- B. Wskaźnik ITGL (Indeks Trofizmu Gleb Leśnych) wg Brożka.
- C. Wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca}.

Dla potrzeb obliczenia jednej ze składowych wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas (wskaźnika sorpcji) zastosowano obliczoną na podstawie przeprowadzonych analiz wartość pojemności sorpcyjnej.

W obliczeniach ITGL wartość jednostkowego wskaźnika sumy kationów wymiennych odniesiono do wartości wyrażonych w $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$.

W obliczeniach uwzględniono tylko poziomy mineralne.

5.3.1. Wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca} – propozycja metodologii

Korzystając z założeń metodycznych uwzględnianych przy wyznaczaniu wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas oraz wskaźnika ITGL wg Brożka opracowano nowy autorski wskaźnik jakości gleb na terenach powstałych po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca}.

Wybrano siedem cech – właściwości gleby, stanowiących wskaźniki cząstkowe (W_L , W_{sz} , W_{Ca} , W_{pH} , W_T , $W_{C/N}$, W_P) mających istotne znaczenie dla gleb tworzonych na zwałowiskach kopalni wapieni:

W_L – wskaźnik litologiczny obliczony na podstawie zawartości procentowej frakcji pyłu i iłu wg metody Skawiny i Trafas tj.

- dla utworów zawierających do 20% frakcji iłu:

$$W_L = ił + 0,5 \text{ py}$$

- dla utworów zawierających powyżej 20% frakcji iłu

$$W_L = 20 + 0,5 \text{ py}$$

W_{Sz} – wskaźnik szkieletowy wyznaczony na podstawie procentowej zawartości części szkieletowych.

W_{Ca} – wskaźnik wapniowy wyznaczony na podstawie procentowej zawartości węglanu wapnia w glebie.

W_{pH} – wskaźnik informujący o odczynie gleby (pH oznaczone w 1M roztworze KCl)

W_T – wskaźnik informujący o pojemności sorpcyjnej gleby.

W_{C/N} – wskaźnik informujący o przemianach materii organicznej w glebie, wyznaczono go tylko dla poziomów i warstw mineralnych o zawartości węgla organicznego > 0,2%

W_P – wskaźnik informujący o zasobności gleby w fosfor przyswajalny.

Wskaźnikom cząstkowym przypisano odpowiednie wartości liczbowe (zgodnie z poniższymi tabelami), oprócz wskaźnika litologicznego, gdzie ostateczną wartość stanowiła suma frakcji pyłowej i iłowej obliczona wg założeń w tab. nr 9, a następnie zsumowano je dla każdego poziomu genetycznego (lub warstwy glebowej).

$$W_{\text{suma}} = (W_L - W_{\text{Sz}}) + W_{\text{Ca}} + W_{\text{pH}} + W_{\text{T}} + W_{\text{C/N}} + W_{\text{P}}$$

Z uzyskanych sum w poszczególnych poziomach genetycznych (warstwach) obliczono średnią ważoną dla całego profilu glebowego. Wagą była miąższość poszczególnych poziomów (warstw).

$$\mathbf{WGP}_{\text{Ca}} = [(W_{\text{suma } C1} \cdot \text{miąższość}_{C1}) + [(W_{\text{suma } C2} \cdot \text{miąższość}_{C2}) + [(W_{\text{suma } C3} \cdot \text{miąższość}_{C3})] \\ + \dots + [(W_{\text{suma } Cn} \cdot \text{miąższość}_{Cn})] : \text{suma miąższości wszystkich poziomów}$$

C1, C2...Cn – oznaczenie poszczególnych poziomów (warstw)

Zakresy zmienności wybranych parametrów gleb i odpowiadające im wartości wskaźników cząstkowych (W) w modelu $\mathbf{WGP}_{\text{Ca}}$. ujęto w zestawienia tabelaryczne (Tab. 9 - 15).

Tab. 9. Wartość wskaźnika litologicznego (W_L) w zależności od zawartości frakcji pyłowej i iłowej

Wskaźnik litologiczny (W_L)		
Wartość W_L	dla utworów zawierających do 20% frakcji iłu: $W_L = ił + 0,5 \text{ py}$	dla utworów zawierających powyżej 20% frakcji iłu: $W_L = 20 + 0,5 \text{ py}$

Tab. 10. Wartość wskaźnika szkieletowego (W_{sz}) w zależności od zawartości części szkieletowych

Wskaźnik szkieletowy (W_{sz})						
Udział frakcji >2mm [%]	0-30	31-40	41-50	51-60	61-80	81-100
Wartość W_{sz}	0	1	2	3	4	5

Tab. 11. Wartość wskaźnika wapniowego (W_{Ca}) w zależności od zawartości węglanu wapnia

Wskaźnik wapniowy (W_{Ca})							
$CaCO_3$ [%]	<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-50	>50
Wartość W_{Ca}	0	5	10	15	10	5	0

Tab. 12. Wartość wskaźnika informującego o odczynie (W_{pH}) w zależności od wartości pH_{KCl}

Wskaźnik pH (W_{pH})							
Zakres pH w KCl	$\leq 3,5$	3,51- 4,50	4,51- 5,50	5,51- 6,50	6,51-7,50	7,51-8,50	$\geq 8,51$
wartość W_{pH}	0	2	5	10	5	2	0

Tab. 13. Wartość wskaźnika pojemnościowego (W_T) w zależności od wartości pojemności sorpcyjnej T

Wskaźnik pojemnościowy (W_T)						
zakres T [cmol(+)·kg ⁻¹]	<0,1	0,1-2,0	2,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	>20,0
wartość (W_T)	0	2	4	6	8	10

Tab. 14. Wartość wskaźnika przemian materii organicznej ($W_{C/N}$) w zależności od wartości C/N

Wskaźnik przemian materii organicznej ($W_{C/N}$)					
zakres C/N	>20	15-20	10-15	6-10	<6
wartość $W_{C/N}$	2	5	10	5	2

Przyjęto optymalną wartość wskaźnika C/N 10-15 (za Szołtyk i Hilszczańska 2003). Skala zaproponowana przez Siutę (Siuta 1998) klasyfikowałaby referencyjne naturalne gleby leśne do gleb słabo i średnio zdegradowanych.

Tab. 15. Wartość wskaźnika fosforowego (W_P) w zależności od zawartości fosforu przyswajalnego

Wskaźnik fosforowy (W_P)											
zakres P_2O_5 [mg100g ⁻¹]	< 0,1	0,10-0,20	0,21-0,50	0,51-1,00	1,01-2,00	2,01-5,00	5,01-8,00	8,01-10,00	10,01-15,00	15,01-20,00	>20,01
wartość W_P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Na podstawie przeprowadzonych analiz i obliczonego wskaźnika jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca} opracowano trzystopniową skalę udatności procesów rekultywacji (tab. 16).

Powyższy wskaźnik może być przydatny do oceny przebiegu procesów rekultywacji, której efektem będzie propozycja konkretnych zabiegów, do zastosowania w ramach optymalizacji podłoża glebowego ze szczególnym uwzględnieniem nowych rekultywowanych obiektów górnictwa surowców węglanowych.

Tab. 16. Skala określająca udatność rekultywacji

Zakres wartości wskaźnika WGP_{Ca}	Udatność rekultywacji
0-20	Znikoma (niewielki stopień udatności)
21-50	Zadawalająca (średni stopień udatności)
>50	Optymalna (wysoki stopień udatności)

Ponadto badane gleby sklasyfikowano wg obowiązujących systematyk:

1. Systematyka gleb Polski PTG 2019
2. WRB 2022 (Światowa baza referencyjna zasobów glebowych)
3. Klasyfikacja gleb leśnych (KGL) 2000

Wyniki klasyfikacji umieszczono przy opisie profilu w omówieniu wyników.

W celu określenia zróżnicowania właściwości gleb w zależności od zastosowanego materiału do rekultywacji, rodzaju drzewostanu oraz wieku powierzchni przyjęto następujący podział w/w czynników na grupy (Tab. 17)

Tab. 17. Czynniki parametryzujące wybrane właściwości gleb

Parametr	Grupa			
rodzaj podłoża	materiał piaszczysty		materiał gliniasty	
rodzaj roślinności	drzewostan sosnowy		drzewostan olchowy	
wiek powierzchni	0-5 lat	6-15 lat	16-25 lat	>25 lat

Dodatkowo rozpatrując rozkład cech w profilu glebowym przyjęto następujące zakresy głębokości: 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, 70-90 cm oraz <90 cm

Powyższy podział zastosowano w obliczeniach statystycznych.

5.4. Analizy statystyczne

Do przeprowadzenia analiz statystycznych wykorzystano program Statistica w wersji 13.3 PL (TIBCO Software Inc.).

Do określenia statystycznie istotnych różnic pomiędzy wybranymi właściwościami gleb w zależności od zastosowanego materiału do rekultywacji (tworzącym podłoże powstających gleb technogenicznych) wykorzystano test U Manna-Whitneya. Celem uzyskania dodatkowych informacji na temat rozkładu analizowanej cechy przy określonym podłożu z uwzględnieniem rodzaju drzewostanu oraz jego klasy wiekowej zastosowano test Kruskala-Wallisa. Wykorzystując współczynnik korelacji Spearmana określono siłę związku pomiędzy wybranymi właściwościami gleb. Analizę skupień metodą Warda zastosowano do określenia podobieństwa pomiędzy indeksami (wskaźnikami) jakości gleb (tj. wskaźnik wg Skawiny i Trafas, ITGL oraz WGP_{Ca}).

6. Omówienie wyników badań

6.1. Morfologia profili glebowych

Charakterystykę profili glebowych opisano zgodnie z przyjętymi standardami w glebowych pracach kartograficznych określając: klasyfikację typu gleby, lokalizację w terenie, wystawę, współrzędne geograficzne, sposób użytkowania, występującą roślinność, a także opis poszczególnych poziomów genetycznych z uwzględnieniem miąższości i barwy. Zastosowano oznaczenia: RL – gleba referencyjna leśna, RR – gleba referencyjna rolna, Z – gleba technogeniczna na zwałowisku wewnętrznym.

Numer profilu	Profil 1RL	
Klasyfikacja	PTG 2019: rędzina brunatna rumoszowa (BRrm) FAO WRB 2022: Calcaric Cambisols Klasyfikacja gleb leśnych: rędzina brunatna	
Lokalizacja profilu	wschodnia część terenu kopalni, na wschód od wzrostu, teren leśny przeznaczony pod dalszą eksploatację	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°32'23"N	18°02'47"E
Wysokość n.p.m.	204	
Sposób użytkowania	drzewostan w wieku 100 lat	
Gatunki dominujące	buk zwyczajny <i>Fagus sylvatica</i> L. (70%), sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L. (30%)	
Uwagi:	gleba b. płytka, od głębokości 25 cm zalega lita skała wapienna, w całym profilu liczne korzenie	
	O _{fh} 2-0 cm	poziom detrytusowy, barwa w stanie wilgotnym 2,5YR 3/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2
	A _{caq} 0-10 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 3/1, występuje rumosz w 30% objętości, odłamki wapienia o średnicy do 10 cm oraz pojedyncze otoczaki.
	B _{wcaq} 10-20 cm	poziom wzbogacenia, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/3, barwa w stanie suchym 10YR 4/3, licznie występują otoczaki granitowe i kwarcowe
	B _{wcaq} C _{caq} 20-25 cm	poziom przejściowy pomiędzy poziomem wzbogacenia a skałą macierzystą barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/3, barwa w stanie suchym 10YR 4/3
	R _{Ca} poniżej 25 cm	lita skała – wapień barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 10YR 4/6

Numer profilu	Profil 2RL	
Klasyfikacja	PTG 2019: gleba rdzawa typowa (BVt) FAO WRB 2022: Brunic Arenosols Klasyfikacja gleb leśnych: gleba rdzawa właściwa	
Lokalizacja profilu	zachodnia część terenu kopalni, na zachód od wzrostu, teren leśny przeznaczony pod dalszą eksploatację	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°32'24"N	18°00'32"E
Wysokość n.p.m.	183	
Sposób użytkowania	drzewostan w wieku 100 lat	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L. w podszybie: buk zwyczajny <i>Fagus sylvatica</i> L., głóg jednoszyjkowy <i>Crataegus monogyna</i> Jacq., czerecha amerykańska <i>Prunus serotina</i>	
Uwagi:	liczne korzenie w profilu do głębokości 50 cm	
	O ₁ 1-0,5 cm	poziom surowinowy, utworzony głównie z liści buka i igieł sosny barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 10YR 3/3
	O _{fh} 0,5-0 cm	poziom detrytusowy, barwa w stanie wilgotnym 2,5YR 3/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 3/2
	A 0-15 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 2/1, barwa w stanie suchym 2,5YR 2,5/1
	B _v 15-35 cm	poziom wzbogacenia, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/3
	B _v C 35-50 cm	poziom przejściowy pomiędzy poziomem wzbogacenia a skałą macierzystą, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
	C poniżej 50	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 7/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 7/3

Numer profilu	Profil 3RL	
Klasyfikacja	PTG 2019: gleby inicjalne luźne (SIlu) FAO WRB 2022: Arenosols Klasyfikacja gleb leśnych: arenosol właściwy	
Lokalizacja profilu	zachodnia część terenu kopalni, na zachód od wyrobiska, teren leśny przeznaczony pod dalszą eksploatację	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°32'16"N	18°00'33"E
Wysokość n.p.m.	177	
Sposób użytkowania	Drzewostan w wieku 15-18 lat	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	drzewostan usytuowany na wydmie	
	O ₁ 1-0 cm	poziom surowinowy (igły sosnowy), barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/3, barwa w stanie suchym 10YR 4/3
	A 0-5 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/3
	C1 5-30 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6
	C2 30-100 cm	skała macierzysta, warstwa 30-60 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4, przewarstwienia żelaziste przy korzeniach, od wody opadowej
		skała macierzysta, warstwa 60-80 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4, przewarstwienia żelaziste o barwie 10YR 6/8
		skała macierzysta, warstwa 80-85 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/8, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4, przewarstwienie żwirowe
		skała macierzysta, warstwa 85-100cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 7/8, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa poniżej 100 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/8, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4, przewarstwienie żwirowe

Numer profilu	Profil 4RR	
Klasyfikacja	PTG 2019: rędziny brunatne próchniczne (BRh) FAO WRB 2022: Calcaric Cambisols Humic	
Lokalizacja profilu	południowo - wschodnia część obszaru kopalni, na południowy-wschód od wyrobiska, pole uprawne	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'46"N	18°03'05"E
Wysokość n.p.m.	199	
Sposób użytkowania	pole uprawne	
Uwagi:	powierzchnia po zbiorze roślin	
	AB _w 0-35 cm	poziom przejściowy pomiędzy poziomem próchnicznym a poziomem wzbogacenia, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 10YR 4/2, na głębokości 10-15 cm ślady występowania fauny glebowej (dżdżownic), fragmenty węgla drzewnego i otoczaki
	B _w 35-45 cm	Poziom wzbogacenia, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/3, barwa w stanie suchym 10YR 4/2
	R _{Ca} poniżej 45 cm	Lita skała, barwa w stanie suchym 10YR 3/3 barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/3,

Numer profilu	Profil 5Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko zachodnie	
Wystawa terenu	wschodnia	
Współrzędne geograficzne	50°32'03"N	18°01'03"E
Wysokość n.p.m.	163	
Sposób użytkowania	zwałowisko 1 roczne	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	gleba w początkowej fazie rozwoju, brak poziomów genetycznych, skała macierzysta zróżnicowana morfologicznie co dało podstawy do wydzielenia w jej obrębie podpoziomów	
	Ca1 0-10 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
	Ca2 10-30 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6
	Ca3 30-100 cm	skała macierzysta, warstwa 30-50 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6
		skała macierzysta, warstwa 50-70 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa 70-100cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
	Ca4 100-120 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4

Numer profilu	Profil 6Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Spolic Technosols (Calcaric, Hyperartefactic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	wschodnia	
Współrzędne geograficzne	50°32'11"N	18°02'15"E
Wysokość n.p.m.	175	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 2 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	
Uwagi:	wysoka zawartość rumoszu w całym profilu	
	Ca1 0-50 cm	skała macierzysta, warstwa 0-10 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/6, barwa w stanie suchym 10YR 4/3
		skała macierzysta, warstwa 10-30 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/6, barwa w stanie suchym 10YR 4/3
		skała macierzysta, warstwa 30-50 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 10YR 4/6
	Ca2 50-70 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 10YR 4/6

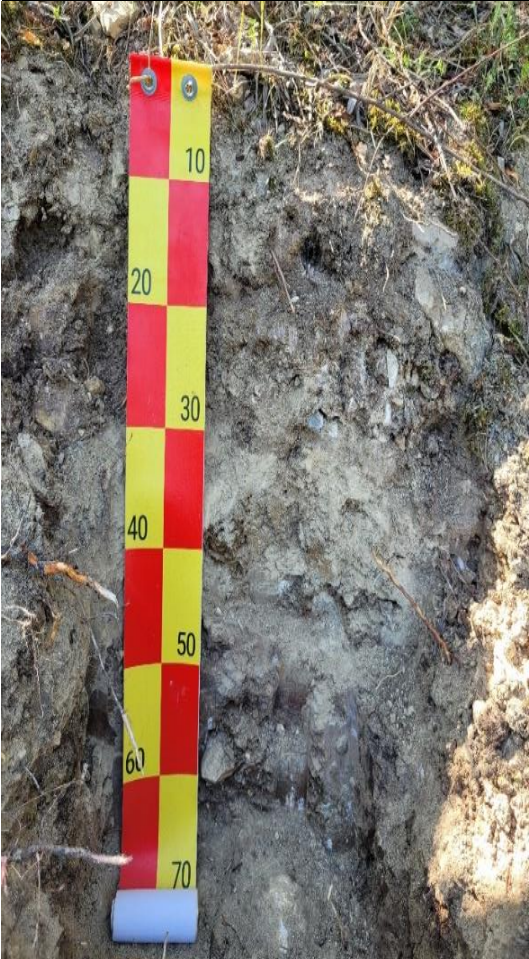
Numer profilu	Profil 7Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Spolic Technosols (Calcaric, Hyperartefactic, Ochric, Skeletic) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	wschodnia	
Współrzędne geograficzne	50°32'02"N	18°02'15"E
Wysokość n.p.m.	183	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 6 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	
Uwagi:	wysoka zawartość rumoszu w całym profilu	
	Ca1 0-80 cm	skała macierzysta, warstwa 0-10 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4
		skała macierzysta, warstwa 10-30 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6
		skała macierzysta, warstwa 30-50 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6
		skała macierzysta, warstwa 50-80 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
	Ca2 80-100 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/3
	Ca3 100 – 120 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/8, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6

Numer profilu	Profil 8Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko zachodnie	
Wystawa terenu	wschodnia	
Współrzędne geograficzne	50°32'03"N	18°01'05"E
Wysokość n.p.m.	162	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 10 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	na powierzchni cienka warstwa igieł sosnowych i mchu	
	Ca1 0-10 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4
	Ca2 10-30 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4
	Ca3 30-50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
	Ca4 poniżej 50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4

Numer profilu	Profil 9Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko zachodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°32'02"N	18°01'21"E
Wysokość n.p.m.	173	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 15 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	korona drzew zwarta, pełne zacielenie na powierzchni gleby występuje cienka warstwa mchu	
	O ₁ 0,5 - 0 cm	poziom surowinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/4, barwa w stanie suchym 10YR 4/4
	Ca ₁ 0 - 30 cm	skała macierzysta, warstwa 0-10 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/4
		skała macierzysta, warstwa 10-30 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4
	Ca ₂ 30 - 50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4
	Ca ₃ 50 - 90 cm	skała macierzysta, warstwa 50-70 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa 70-90 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4

Numer profilu	Profil 10Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol próchniczny (AXag-h) FAO WRB 2022: Spolic Technosols (Calcaric, Humic) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko zachodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°32'02"N	18°01'24"E
Wysokość n.p.m.	175	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 15-17 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	
Uwagi:	brak poziomu organicznego pełne pokrycie krzewami jeżyn i zbiorowiskami trawiastymi poziom próchniczny pochodzący z sąsiednich terenów leśnych (przeznaczonych do eksploatacji), wysoka zawartość rumoszu w całym profilu	
	Ca1 0-10 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2
	Ca2 10-50 cm	skała macierzysta, warstwa 10-50 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2
		skała macierzysta, warstwa 50-70 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2
	Ca3 50-70 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2

Numer profilu	Profil 11Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Calcaric, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'52"N	18°02'13"E
Wysokość n.p.m.	172	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 15-17 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	korony drzew zwarte, pełne zacielenie, liczne korzenie widoczne w całym profilu	
	Of 0,5-0 cm	poziom butwinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 10YR 4/3
	A 0-10 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/2
	Ca1 10-30 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/3, barwa w stanie suchym 10YR 6/2
	Ca2 30-70 cm	skała macierzysta, warstwa 30-50 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/2, barwa w stanie suchym 10YR 5/2
		skała macierzysta, warstwa 50-70 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 10YR 5/3
	Ca3 70-90 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4, barwa w stanie suchym 10YR 5/3
	Ca4 poniżej 90 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/3

Numer profilu	Profil 12Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Spolic Technosols (Calcaric, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	północna	
Współrzędne geograficzne	50°31'53"N	18°02'44"E
Wysokość n.p.m.	175	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 18 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	brak ściółki, powierzchnia pokryta zbiorowiskami trawiastymi i mchem	
	Ca1 0-30 cm	skała macierzysta, warstwa 0-20 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/2
		skała macierzysta, warstwa 20-30 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/2
	Ca2 30-50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/3
	Ca3 50-70 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/3, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/3

Numer profilu	Profil 13Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ gleba technogeniczna, podtyp industriosol (AXin) FAO WRB 2022: Spolic Technosols (Calcaric, Hyperartefactic, Ochric, Skeletic) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'31"N	18°02'03"E
Wysokość n.p.m.	186	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 15-20 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	sukcesja	
Gatunki dominujące	brak roślinności wysokiej	
Uwagi:	zwał utworzony z odpadów wydobywczych – zwietrzały rumosz wapienny, silnie scementowany, powierzchni pokryta mchem	
	Ca	skała macierzysta,
	0-5 cm	barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/3

Numer profilu	Profil 14Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Spolic Technosols (Calcaric, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	północna	
Współrzędne geograficzne	50°31'49"N	18°02'45"E
Wysokość n.p.m.	175	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 19-20 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	na powierzchni występuje mech, oraz pojedyncze siewki buka, lipy, sosny i dębu	
	Of 0,3-0 cm	poziom butwinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 10YR 3/4
	A 0-0,5 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2
	Ca1 0,5-20	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/3
	Ca2 20-40 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/3, barwa w stanie suchym 10YR 7/2
	Ca3 40-60 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 7/3

Numer profilu	Profil 15Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol opadowo-glejowy (AXag -og) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Gleyic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'45"N	18°02'26"E
Wysokość n.p.m.	175	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 25 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	sukcesja	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L. (90%), brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i> Roth.(5%), olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. (5%)	
Uwagi:	na głębokości poniżej 60 cm pojawia się woda	
	O ₁ 0,5-0 cm	poziom surowinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4 barwa w stanie suchym 10YR 4/3
	A 0-10 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/2, ślady bytowania dżdżownic
	Ca ₁ 10-40 cm	skała macierzysta, warstwa 10-30 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4, występuje przewarstwienie barwy rdzawej świadczące o występowaniu żelaza
		skała macierzysta, warstwa 30-40 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4, występuje jasny kwarcowy piasek
	Ca ₂ 40-50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/6, ślady oglejenia ok 2 % - soczewki ilu o barwie 5Y 4/3
	Ca ₃ poniżej 50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 7/4

Numer profilu	Profil 16Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Calcaric, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko zachodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'52"N	18°01'45"E
Wysokość n.p.m.	174	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 25 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	sukcesja	
Gatunki dominujące	Sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	płytką odkrywka, poniżej 40 cm występuje rumosz wapienny	
	O ₁ 0,5-0 cm	poziom surowinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/4 barwa w stanie suchym 10YR 4/3
	A 0-10 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/3, ślady bytowania dżdżownic
	Ca ₁ 10-40 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 10YR 5/3, poziom wzbogacony w żelazo
	Ca ₂ poniżej 40 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/2

Numer profilu	Profil 17Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'37"N	18°02'39"E
Wysokość n.p.m.	180	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 27-30 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	Sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	w całym profilu występują liczne korzenie	
	O _f 0,5-0 cm	poziom butwinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 10YR 4/4
	A 0-20 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/2
	Ca poniżej 20 cm	skała macierzysta, warstwa 20-40 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa 40-70 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa poniżej 70 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4

Numer profilu	Profil 18Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag-h) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'35"N	18°02'45"E
Wysokość n.p.m.	179	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 30 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	
Uwagi:	w drzewostanie dodatkowo występuje pojedynczo głóg, jarzab brekinia, śliwa tarnina, robinia akacjowa, pełne zadarnienie, w podszycie jeżyna	
	A 0-20 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 3/1
	Ca1 20-40 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4,
	Ca2 40-50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4,
	Ca3 poniżej 50 cm	skała macierzysta, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/4,

Numer profilu	Profil 19Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'30"N	18°02'34"E
Wysokość n.p.m.	186	
Wiek powierzchni	30 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i> L.	
Uwagi:	na powierzchni występują pojedyncze siewki buka, sosny, lipy i dębu, w całym profilu liczne korzenie	
	O ₁ 0,3-0 cm	poziom surowinowy, barwa w stanie wilgotnym 10YR 3/3 , barwa w stanie suchym 10YR 4/4
	A 0-5 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 4/2, barwa w stanie suchym 2,5YR 4/3
	C _a 5-60 cm	skała macierzysta, warstwa 5-40 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa 40-60 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4

Numer profilu	Profil 20Z	
Klasyfikacja	PTG 2019: typ: gleba technogeniczna, podtyp: aggerosol (AXag) FAO WRB 2022: Technosols (Arenic, Ochric) Klasyfikacja gleb leśnych: Gleby industrioziemne i urbanoziemne o niewykształconym profilu	
Lokalizacja profilu	zwałowisko wschodnie	
Wystawa terenu	południowa	
Współrzędne geograficzne	50°31'30"N	18°02'45"E
Wysokość n.p.m.	185	
Sposób użytkowania	zwałowisko w wieku 30-35 lat	
Forma wprowadzenia roślin (nasadzenia lub sukcesja)	nasadzenia	
Gatunki dominujące	olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	
Uwagi:	w całym profilu widoczne liczne korzenie, największe ich skupienie w warstwie 0-30 cm	
	A 0-15 cm	poziom próchniczny, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 5/3
	Ca 15-80 cm	skała macierzysta, warstwa 15-40 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 6/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa 40-60 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/6, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4
		skała macierzysta, warstwa 60-80 cm, barwa w stanie wilgotnym 10YR 5/4, barwa w stanie suchym 2,5YR 6/4

W celu uzyskania układu odniesienia i możliwości porównawczych w dyskusji wyników w pierwszej kolejności scharakteryzowano gleby referencyjne znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie odkrywki tj. trzy profile gleb leśnych zlokalizowane na powierzchniach przeznaczonych do dalszej eksploatacji w najbliższym czasie (profil nr 1RL, 2RL i 3RL) oraz jeden profil reprezentujący glebę uprawną (profil nr 4RR).

6.2. Miąższość poziomów próchnicznych

W glebach powierzchni referencyjnych leśnych (profile 1RL, 2RL i 3RL) odnotowano obecność zarówno podpoziomów organicznych (O_1 i O_{fh}), jak również poziomu próchnicznego A, jednak o zróżnicowanej miąższości pomiędzy profilami. Profil 1RL (stuletni drzewostan bukowy) posiadał 2 centymetrowy poziom detrytusowy O_{fh} oraz 10 centymetrowy poziom A, profil 2RL (stuletni drzewostan sosnowy z domieszką buka, głogu i czeremchy), wyróżniał się obecnością dwóch podpoziomów organicznych: O_1 o miąższości 0,5 cm i O_{fh} o miąższości 0,5 cm oraz poziomu A o miąższości 15 cm, profil 3RL (las sosnowy 15-18 lat) charakteryzował się obecnością podpoziomu O_1 o miąższości 1 cm i poziomu próchnicznego A o miąższości 5 cm.

Referencyjna gleba orna (profil nr 4RR) posiadała jedynie poziom przejściowy AB_w o znacznej miąższości – 35 cm, utworzony w wyniku zabiegów agrotechnicznych.

Profile reprezentujące powierzchnie rekultywacyjne najmłodsze (do 15 lat) - profil nr 5Z, 6Z, 7Z i 8Z nie miały jeszcze wykształconych poziomów akumulacyjnych, nie posiadały również podpoziomów organicznych stanowiących warstwę próchnicy nadkładowej (ektopróchnicy).

Jedynie w profilu 9Z (powierzchnia piętnastoletnia z sosną) zaobserwowano cienką – 0,5 cm warstwę ściółki leśnej O_1 , przy braku poziomu próchnicznego A. Kolejne profile: nr 10Z (15-17 letnia powierzchnia z olszą), 12Z (osiemnastoletnia powierzchnia z sosną) i 13Z (ponad piętnastoletnia powierzchnia bez roślinności) charakteryzowały się brakiem wykształconego poziomu próchnicznego. Profil nr 10A (ponad piętnastoletnia powierzchnia z olszą) zawierał do głębokości ok. 70 cm warstwę próchniczną, która nie powstała w wyniku naturalnych procesów glebotwórczych, lecz stanowi materiał obcego pochodzenia (nadkład z terenów leśnych przeznaczonych pod eksploatację).

Gleba profilu 11Z reprezentująca powierzchnię porośniętą sosną w wieku 15-17 lat, wykazywała obecność zarówno podpoziomu organicznego O_f (poziom butwinowy) o miąższości 0,5 cm, jak również wykształconego poziomu akumulacyjnego A o miąższości 10

cm. W profilu 14Z (powierzchnia pokryta 19-20 letnim drzewostanem sosnowym) wyróżniono podpoziom butwinowy O_f (0,3 cm) oraz poziom próchniczny A (0,5 cm). W profilu 15Z odnotowano obecność podpoziomu O_1 o miąższości 0,5 cm i poziomemu A o miąższości 10 cm, w profilu 16Z: O_1 – 0,5 cm i A – 10 cm.

Dwie powierzchnie z ponad 25 letnim zalesieniem (profil nr 17Z i 19Z) charakteryzowały się glebami o wykształconych podpoziomach organicznych (O_1 i O_f) i poziomem próchnicznym A, o znacznie większej miąższości w porównaniu do powierzchni młodszych. W profilu 17Z wartości te wynosiły: O_f – 0,5 cm i A – 20 cm a w profilu 19Z: O_1 – 0,3 cm i A – 5 cm, (oba profile zlokalizowane były pod drzewostanem sosnowym), natomiast profile 18Z oraz 20Z podolszą wyróżniała obecność jedynie rozbudowanego poziomu próchnicznego A o miąższości 20 cm w profilu 18Z i 15 cm w profilu 20Z.

6.3.Skład granulometryczny

Skałę macierzystą analizowanych gleb technogenicznych tworzy materiał zwałowy zastosowany w procesie rekultywacji. Materiałem tym ze względu na sąsiedztwo wokół wyrobiska gleb należących do gliniastych rędzin brunatnych oraz piaszczystych gleb rdzawych są utwory o charakterze glin – utwory gliniaste (G) lub piasków – utwory piaszczyste (P).

Części szkieletowe

Analizując zawartość części szkieletowych ($> 2\text{mm}$) w profilach gleb referencyjnych, stwierdzono, iż profil oznaczony nr 1RL zlokalizowany na obszarze kompleksu leśnego, we wschodniej części terenu kopalni, jak również profil nr 4RR gleby ornej, charakteryzowały się zmienną zawartością frakcji szkieletowych tj. od 6% w poziomie B_{wcaq} do 23 % w poziomie $B_{wcaq}C_{caq}$ profilu nr 1RL i od 5% w poziomie AB_w do 18% w poziomie B_w profilu nr 4RR (Tab. 35). Związane jest to z obecnością rumoszu wapiennego w w/w profilach. Natomiast profile naturalnych gleb leśnych zlokalizowanych w zachodniej części terenów wokół wyrobiska (profil 2RL i 3RL) charakteryzowały się niską zawartością części szkieletowych tj. profil nr 2RL zawierał od 0 % w poziomie powierzchniowym A do 2% frakcji szkieletowych w poziomie B_vC , a profil nr 3RL: 1% w poziomie A do 11% frakcji szkieletowych w poziomie najniższym C2 (Tab. 34).

Cechą charakterystyczną profili nr 1RL, 2RL, 3RL i 4RR był wzrost zawartości frakcji szkieletowych wraz ze wzrostem głębokości.

Gleby tworzone na zrehabilitowanym zwałowisku wewnętrznym kopalni wapienia „Góra Rzędów”, charakteryzują się znaczną, ale też zmienną zawartością frakcji szkieletowych.

Najniższą zawartość części szkieletowych i jednocześnie niskie zróżnicowanie zawartości poszczególnych frakcji odnotowano w profilach nr 15Z (1-5%), 17Z (0-1%), 19Z (2-4%) i 20Z (2-4%). Profile te zlokalizowane są w części południowo - wschodniej wyrobiska i reprezentują najstarsze zrehabilitowane powierzchnie z nasadzeń, w tym jedną z sukcesji (profil 15Z). Pokryte są one drzewostanem sosnowym (profil 17Z i 19Z), sosnowym z domieszką brzozy i olszy (profil 15Z) oraz olchowym (profil 20Z). Analizowane gleby zaliczono do utworów bardzo słabo szkieletowych. Nieco wyższą zawartość frakcji szkieletowych mieszczącą się w granicach od 1 do 12% odnotowano w profilach nr: 5Z (powierzchnia z jednoroczną sosną zwyczajną), 9Z (powierzchnia 15-letnia porośnięta sosną) i 18Z (powierzchnia 30-letnia z olszą). Gleby te zakwalifikowano do utworów bardzo słabo i słabo szkieletowych. Obecność utworów słabo i średnio szkieletowych stwierdzono w glebach oznaczonych nr 8Z (powierzchnia 10 letnia z nasadzeniem sosny) oraz nr 16Z (powierzchnia 25-letnia z sosną z sukcesji). W profilu nr 8Z zawartość części szkieletowych była najwyższa w poziomie powierzchniowym Ca1 (0-10cm) – 25%, nieco niższa, bo ok. 6% w poziomach Ca2 (10-30 cm) oraz Ca3 (30-50 cm), oraz 13% w poziomie Ca4 (<50 cm). W profilu 16Z zawartość frakcji szkieletowych wzrastała od 13% w poziomie A (0-10 cm), poprzez 19% w poziomie Ca1 (10-40 cm) do maksymalnej wartości 31% w poziomie najgłębszym Ca2 (< 40 cm) (Tab. 34).

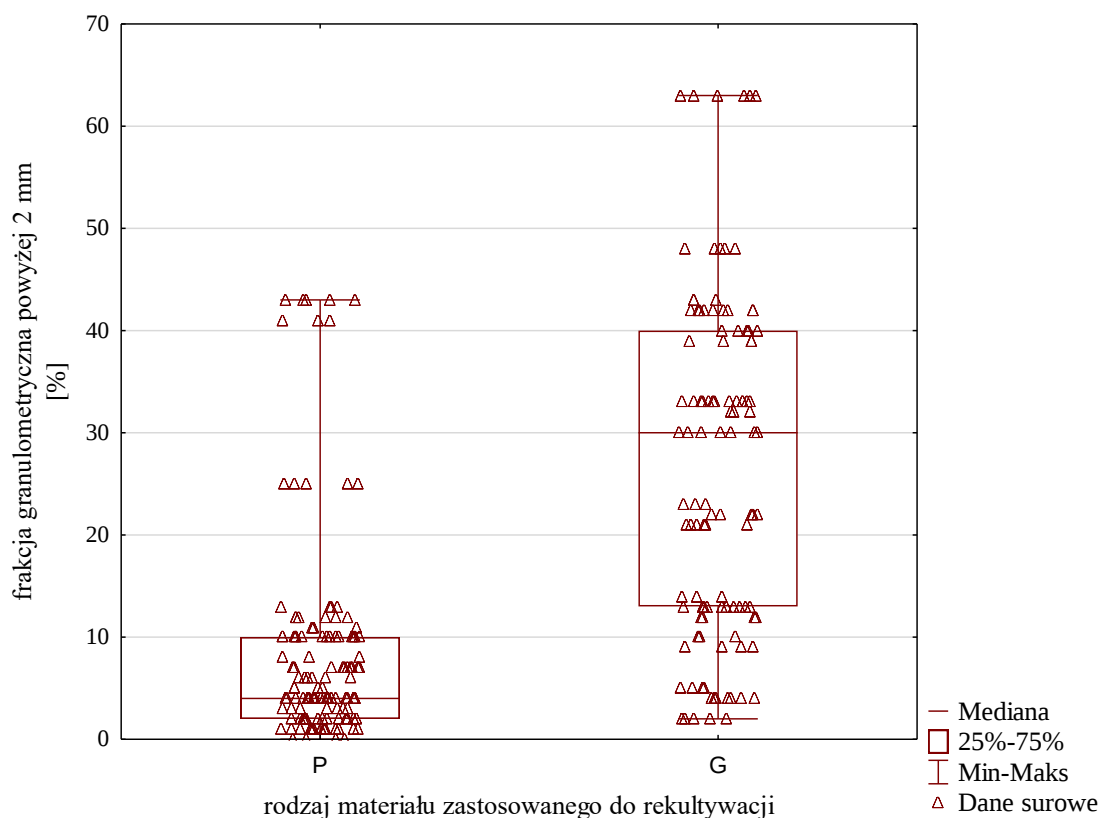
Gleba profilu 6Z wykazuje niewielką zmienność profilową w zakresie udziału frakcji szkieletowej, przy wysokiej jej zawartości - od 30% w poziomach powierzchniowych (0-30 cm) do 33% w poziomach niższych (30-70 cm). Profil 6Z zlokalizowany w południowo-wschodniej części wyrobiska, reprezentuje młodą (2 letnią) powierzchnię rekultywacyjną porośniętą olszą czarną. Ze względu na zawartość części szkieletowych w omawianym profilu glebę zakwalifikowano do utworów średnio szkieletowych. W glebie oznaczonej numerem 13Z (powierzchnia ponad 15 letnia nie pokryta roślinnością drzewiastą) odnotowano wysoką zawartość części szkieletowych – 43%, co pozwoliło zaklasyfikować ją do utworów silnie szkieletowych (Tab. 34).

Pozostałe profile tj. nr 7Z, 10Z, 11Z, 12Z i 14Z charakteryzują się wysokim zróżnicowaniem i zmiennością skokową zawartości frakcji szkieletowych w poszczególnych warstwach lub poziomach genetycznych. Dla profilu nr 7Z są to wartości od 10% w poziomie najgłębszym C3 (100-120 cm) do wartości 45% w poziomie C1 (50-80), co kwalifikuje poszczególne warstwy jako słabo-, średnio-, silnie- i bardzo silnie szkieletowe. Dla odkrywki

nr 10Z wartości te kształtowały się następująco: 7% zawartości frakcji szkieletowych w poziomie powierzchniowym Ca1 (0-10) do 43% w poziomie Ca2 (10-30), co różnicuje poszczególne warstwy jako utwory słabo-, średnio- i silnie szkieletowe. Profile 11Z i 14Z reprezentujące powierzchnie w tym samym przedziale wiekowym (16-25 lat) i pod tym samym drzewostanem, charakteryzowały się zróżnicowanym przedziałem zawartości szkieletu, odpowiednio dla 11Z: od 2% w poziomie Ca (30-50 cm) do 32% w poziomie A (0-10 cm); oraz dla 14Z: od 2% w poziomie powierzchniowym A (0-0,5 cm) do 39% w poziomie najgłębszym Ca3 (40-60 cm). Oba profile reprezentowały zróżnicowanie w poszczególnych warstwach (utwory bardzo słabo-, słabo- i średnioskieletowe). Odkrywka nr 12Z charakteryzowała się bardzo wysokim udziałem frakcji szkieletowych w poziomie powierzchniowym Ca1 (0-20 cm): 42% oraz bardzo niską zawartością w poziomie najniżej zalegającym Ca3 (50-70 cm): 5%, wykazując profilowe zróżnicowanie szkieletowości (Tab. 34).

Analizując badane profile nie zauważono tendencji wzrostowej ani spadkowej zawartości frakcji szkieletowych w obrębie profili – brak korelacji pomiędzy zawartością szkieletu a głębokością profilu.

Rozpatrując zawartość frakcji szkieletowej (powyżej 2 mm) w materiale zwałowym zastosowanym do rekultywacji stwierdzono w podłożach piaszczystych niewielki udział szkieletu (wartość mediany wyniosła 4%), z jednocześnie dużą jednorodnością tj. 2-10% (dla 25-75% wszystkich wyników). Dla utworów gliniastych uzyskano dużą rozpiętość oznaczonych wartości: od 13 do 40% (dla 25-75% wszystkich wyników), przy wartości mediany 30%. Powyższe zróżnicowanie potwierdził przeprowadzony test statystyczny U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 12).



Rys. 12. Rozkład zawartości frakcji granulometrycznej powyżej 2 mm (części szkieletowe) w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

Części ziemiste

Gleby referencyjne (profile o numerach 1RL, 2RL, 3RL oraz 4RR) charakteryzowały się małą zmiennością składu granulometrycznego w profilu.

Gleby zlokalizowane we wschodniej części obszaru kopalni (profil nr 1RL – gleba leśna oraz profil nr 4RR – gleba orna) charakteryzują się jednorodnością składu granulometrycznego w całym profilu i należą do gleb średnich pod względem kategorii ciężkości agronomicznej, o dominującej frakcji piasku: 67-69% (profil nr 1RL) i 56-64% (profil nr 4RR), przy znacznym udziale frakcji pyłowej: 20-22% (profil nr 1RL) i 20-24% (profil nr 4RR) oraz iłowej: 9-13% (profil nr 1RL) i 16-20% (profil nr 4RR). Glebę tworzącą profil nr 1RL zaliczono do glin piaszczystych, natomiast gleba z profilu nr 4RR to glina lekka (Tab. 34).

Nieco odmienne właściwości posiadają gleby referencyjne zlokalizowane w zachodniej części terenu kopalni (profil nr 2RL i 3RL). Zawartość poszczególnych frakcji wykazuje w nich niewielkie zróżnicowanie w obrębie profilu, poziomy powierzchniowe zawierają wyższe zawartości frakcji drobniejszych (pyłu i iłu) niż poziomy niżej zalegające. W profilu 2RL

powierzchniowy poziom A (0-15 cm) ma uziarnienie piasków gliniastych, który od głębokości 15 cm przechodzi w uziarnienie charakterystyczne dla piasków luźnych. Profil 3RL do głębokości 30 cm reprezentuje podgrupę granulometryczną piasków słabogliniastych, natomiast od 30 cm w dół – piasków luźnych.

Badane gleby technogeniczne wykazują duże zróżnicowanie zawartości poszczególnych frakcji zarówno w aspekcie powierzchniowym, jak też w przekroju pionowym poszczególnych profili (podobnie jak w przypadku zawartości części szkieletowych). Jedynie gleba z odkrywki nr 20Z (najstarsza powierzchnia rekultywacyjna z nasadzeniem olszy 30-35 letniej) charakteryzuje się jednolitym uziarnieniem w całym profilu, klasyfikującym ją do podgrupy granulometrycznej piasków luźnych.

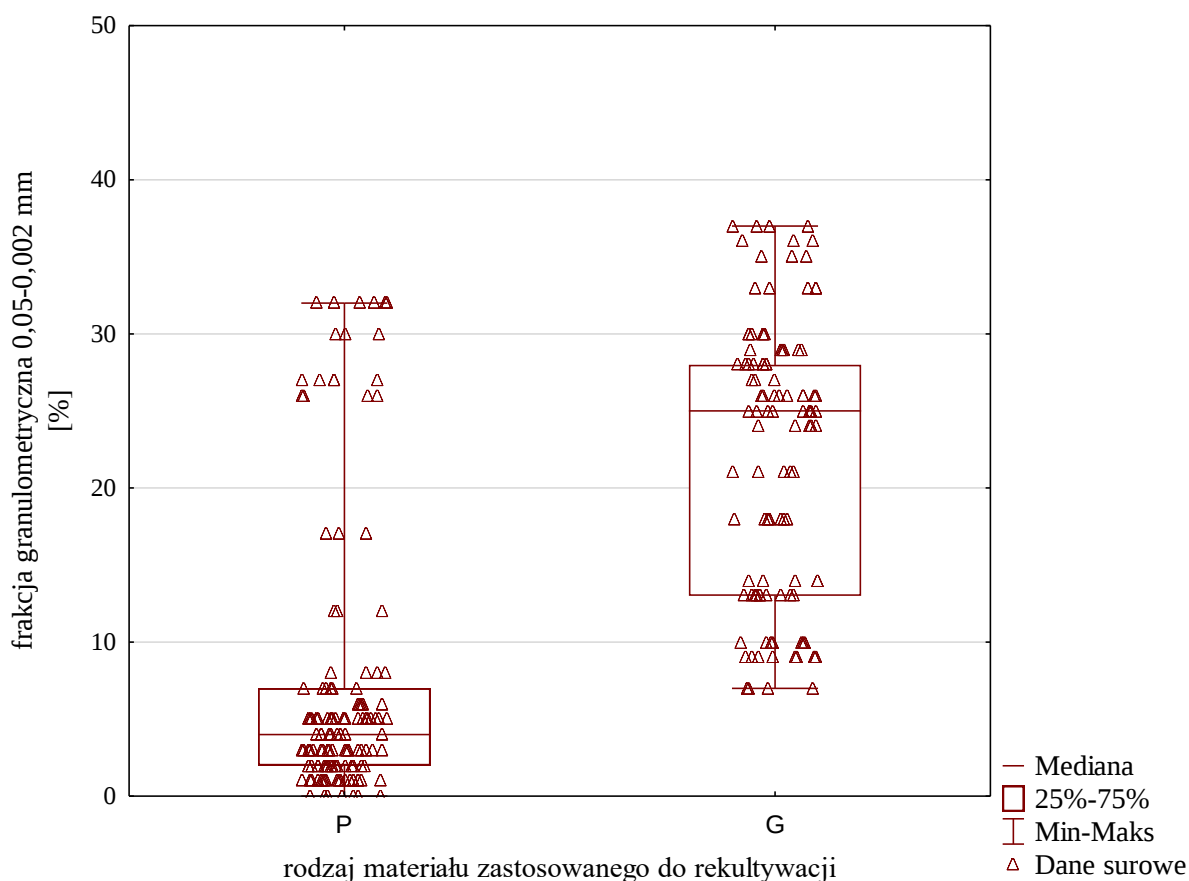
Do grupy gleb bardzo lekkich i lekkich o przeważającej frakcji piasku we wszystkich poziomach (> 84%) oraz niskiej zawartości frakcji iłowej (<6%) należą gleby profili nr 5Z, 9Z, 17Z, 18Z, 19Z i 20Z. Profil 5Z reprezentuje gleby najmłodsze (powierzchnia jednoroczna z nasadzeniem sosny zwyczajnej), profil 9Z to powierzchnia 15 letnia z nasadzeniem sosny, natomiast profile 17Z, 18Z, 19Z i 20Z reprezentują najstarsze gleby (powyżej 25 letnie) z nasadzeniami sosny (profil 17Z i 19Z) i olszy (profil 18Z i 20Z). Profile 5Z, 9Z, 17Z i 19Z w wierzchniej warstwie (dla profilu 5Z do 30 cm, dla 9Z do 50 cm, dla 17Z do 20 cm, a dla 19Z – do 5 cm) posiadały utwory należące do piasków słabogliniastych, poniżej zalegały piaski luźne, jedynie w profilu 5Z podścielone były one dodatkową warstwą piasku słabogliniastego. Profil 18 Z do głębokości 40 cm reprezentował skład piasków gliniastych, które przechodziły w piaski luźne, a następnie od głębokości 50 cm w piaski słabogliniaste. Profil 20Z w całym swoim przekroju reprezentował skład granulometryczny piasków luźnych. Gleba oznaczona numerem 13Z (powierzchnia ponad 15 letnia nie pokryta roślinnością drzewiastą) była glebą o składzie granulometrycznym gliny lekkiej. Gleba nr 16Z (powierzchnia 25 letnia z sosną pochodzącą z sukcesji) wykazywała zróżnicowanie w składzie granulometrycznym: poziom powierzchniowy A (0-10 cm) stanowiły gliny piaszczyste, podobnie jak poziomy najniżej zalegające <40 cm, natomiast poziom pomiędzy 10-40 cm tworzył wkładkę piasku luźnego. Dużą zmiennością składu granulometrycznego w profilu, charakteryzującą się występowaniem trzech lub nawet czterech różnych podfrakcji granulometrycznych odznaczały się gleby profili nr 8Z, 11Z, 14Z i 15Z. W poziomie powierzchniowym 0-10 cm profilu 8Z występował piasek gliniasty, który od głębokości 10 cm przechodził w piasek słabogliniasty, a następnie w glinę piaszczystą od 30 cm w dół, aż do 50 cm, gdzie tworzył ponownie warstwę piasku słabogliniastego (Tab. 34).

Najbardziej zróżnicowanym pod względem uziarnienia był profil nr 11 Z, posiadał pięć warstw o różnej przynależności do podgrup granulometrycznych. Warstwę powierzchniową (0-10 cm) stanowiła glina lekka, następnie glina piaszczysta (10-30 cm), pomiędzy 30-70 cm występował piasek gliniasty, na głębokości 70-90 cm odnotowano obecność wstawki piasku słabogliniastego, a od głębokości 90 cm ponownie pojawiał się utwór o składzie granulometrycznym piasków gliniastych. Profil 14Z w powierzchniowym poziomie A (0-0,5 cm) reprezentował skład granulometryczny charakterystyczny dla gliny piaszczysto-ilastej, w poziomie 0,5-20 cm występowała już glina lekka, od 20 cm do 40 cm glina piaszczysta, a w poziomie najgłębszym 40-60 cm – glina zwykła (Tab. 34).

Gleba o profilu oznaczonym nr 15Z wytworzona jest w większości z utworów należących do piasków luźnych, jedynie poziom powierzchniowy A (0-10 cm) stanowi piasek gliniasty, a na głębokości 40-50 cm odnotowano skład granulometryczny gliny piaszczystej.

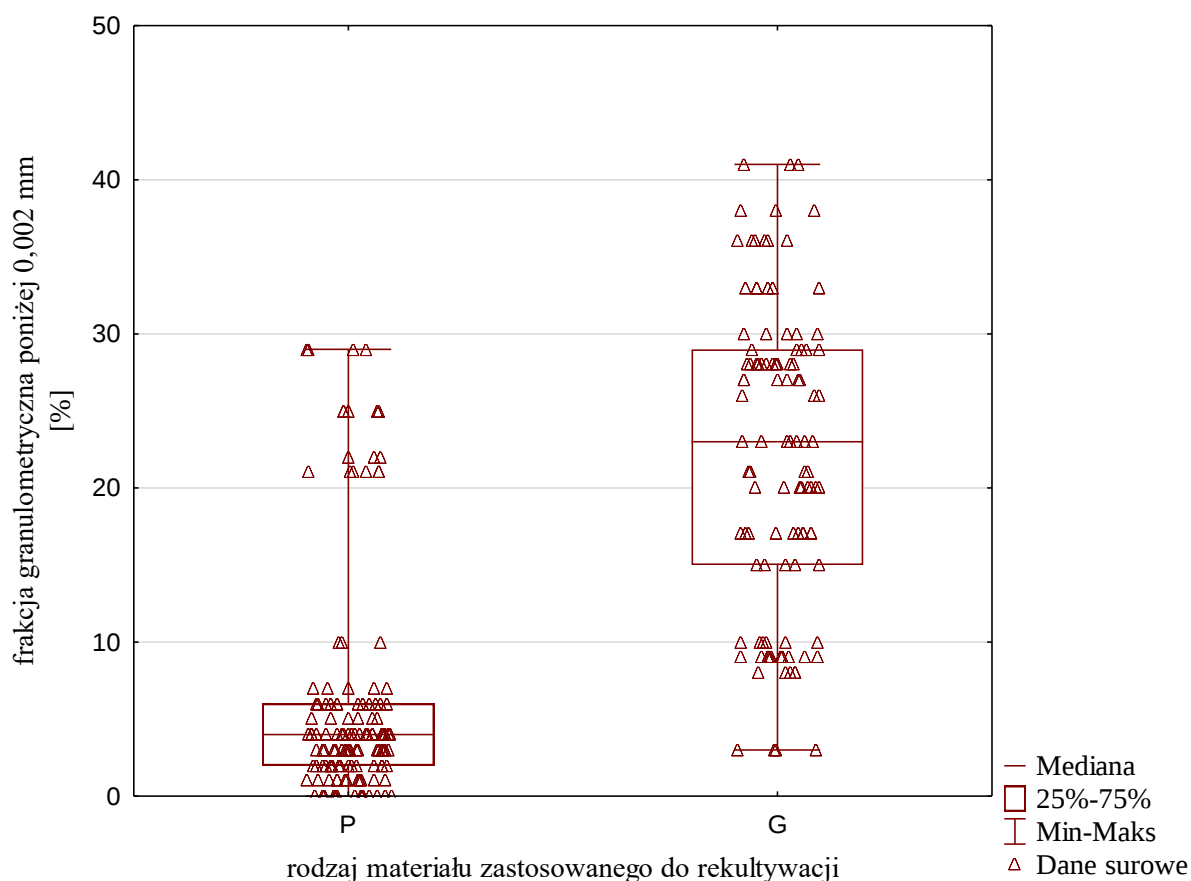
Ostatnią grupę gleb technogenicznych stanowią gleby charakteryzujące się znaczną zawartością frakcji iłowej we wszystkich poziomach: od 20 do 41%. Są to profile gleb oznaczone jako 6Z, 7Z, 10Z i 12Z. Gleba o profilu oznaczonym jako 6Z to gleba młoda (0-5 lat) z drzewostanem olszy czarnej. W wierzchniej, 50 cm warstwie profilu, przeważały gliny piaszczysto-ilaste, przechodzące w ił piaszczysty. Gleba o numerze profilu 7Z (powierzchnia 6 letnia pod olszą) zawierała do głębokości 80 cm utwory należące do glin ilastych, które następnie przechodziły w glinę zwykłą, a od głębokości 100 cm w ił zwykły. Na powierzchni 15-17 letniej pod nasadzeniem olszy zlokalizowano profil nr 10Z, który charakteryzował się składem granulometrycznym glin zwykłych, z wkładką gliny piaszczysto-ilastej na głębokości 10-50 cm. Gleba oznaczona nr 12Z (powierzchnia 18-letnia z sosną) w poziomach wierzchnich profilu wykazywała przynależność do podgrupy granulometrycznej gliny lekkiej, w warstwie 30-50 cm - gliny zwykłej, w poziomie 50-70 cm - gliny piaszczysto-ilastej (Tab. 34).

Przeprowadzony test statystyczny U Manna-Whitneya wskazuje na istotne różnice w zawartości frakcji pyłowej między badanymi utworami zastosowanymi do rekultywacji ($p = 0,0001$). W przypadku podłoża piaszczystego zawartość frakcji pyłowej jest nieznaczna (wartość mediany kształtowała się na poziomie 4%) i charakteryzuje się znaczną jednorodnością uzyskanych wyników, natomiast w przypadku podłoża gliniastego mediana kształtuje się na poziomie 25% a otrzymane wartości wykazują znaczną rozpiętość od 13% do 28% zawartości frakcji pyłowej (dla 25-75% wszystkich wyników) (Rys. 13).



Rys. 13. Rozkład zawartości frakcji granulometrycznej 0,002-0,05 mm (pyłu) w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

Zawartość frakcji iłowej (frakcja granulometryczna poniżej 0,002 mm) w stosowanych materiałach do rekultywacji (utwór gliniasty lub piaszczysty) jest niewielka dla utworów piaszczystych (wartość mediany 4%) i charakteryzuje się znaczną jednorodnością. Natomiast w przypadku podłoża gliniastego rozpiętość uzyskanych wyników jest wysoka: 15-29% (dla 25-75% wszystkich wyników), z wartością mediany wynoszącą 23%. Powyższe omówione zróżnicowanie potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 14).



Rys. 14. Rozkład zawartości frakcji granulometrycznej poniżej 0,002 mm (iłu) w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

Jak wykazano, badane gleby technogeniczne charakteryzował zmienny skład granulometryczny, co było efektem zastosowania odmiennych materiałów do rekultywacji. Gleby o cięższym składzie granulometrycznym w przeważającej części zlokalizowane są w północno-wschodniej części wyrobiska, natomiast gleby lekkie rozmieszczone są głównie w części zachodniej oraz południowo-wschodniej. Zastosowane w rekultywacji materiały piaszczyste determinują kształtowanie się nowo tworzonych profili glebowych w kierunku utworów lekkich o niskiej zawartości zarówno frakcji szkieletowych, pyłowych jak również iłowych, natomiast materiały gliniaste tworzą gleby ciężkie o wysokiej zawartości frakcji pyłowej i iłowej, ale również często silnie szkieletowe.

6.4.Odczyn gleb

Badane gleby kopalni wapienia „Góraźdże” charakteryzowały się odczynem w zakresie pH_{H_2O} od 4,85 do 8,60 (Tab. 35).

Analizując wartości odczynu referencyjnych gleb leśnych, można zauważyć, że oscyluje on między kwaśnym a obojętnym, i jednocześnie w żadnym z poziomów nie wykazuje odczynu zasadowego. Najniższe wartości odczynu odnotowano w podpoziomach organicznych analizowanych gleb (detrytusowym oraz surowinowym), odpowiednio: 5,37-5,39 w H₂O i 5,02-5,12 w KCl dla podpoziomu O₁ profilu 2RL oraz 5,35-5,43 w H₂O i 5,09-5,12 w KCl dla podpoziomu O₁ profilu 3RL. Jedynie podpoziom O_{fh} profilu 1RL charakteryzowała wartość pH znacznie wyższa w porównaniu z pozostałymi poziomami organicznymi: 7,17-7,20 w H₂O i 7,06-7,10 w KCl, (Tab. 35).

Analizując rozkład odczynu w profilach gleb referencyjnych można stwierdzić, iż w mineralnych poziomach genetycznych wartości odczynu wykazują zróżnicowanie wraz z głębokością. Odpowiednio: w profilu nr 1RL stwierdzono wzrost wartości pH od 6,63-6,66 (w H₂O) i 5,92 (w KCl) w poziomie próchnicznym do wartości 7,31-7,40 (w H₂O) i 6,90-6,91 (w KCl) w poziomie najgłębszym B_{wcaq}C_{caq}. W profilu 2RL stwierdzono odwrotną zależność, obniżenie wartości pH wraz z głębokością profilu - od 6,57-6,59 (w H₂O) i 5,96-6,00 (w KCl) w poziomie próchnicznym do wartości 5,38-5,45 (w H₂O) i 4,30-6,32 (w KCl) w poziomie najgłębszym C. Profil 3RL cechuje zmienność wartości pH w obrębie profilu. Najwyższa wartość występuje w poziomie próchnicznym A: 6,84-6,87 (w H₂O) i 5,61-5,66 (w KCl), wykazując fluktuację zmienności wraz z głębokością, przy najniższej wartości odczynu w poziomie C2 (80-85 cm) – pH 5,21-5,22 (w H₂O) i 3,99-4,03 (w KCl) (Tab. 35).

Referencyjna gleba orna (nr 4RR) charakteryzuje się stabilnym odczynem (pH w H₂O 7,37-7,82 i 6,57-7,05 w KCl) w całym profilu, z nieznacznym wzrostem wartości wraz z głębokością.

Podobnie jak w przypadku leśnych gleb referencyjnych organiczny poziom gleb technogenicznych (profil 9Z, 11Z, 14Z, 15Z, 16Z, 17Z i 19Z) wykazuje najniższe pH spośród wszystkich poziomów w analizowanych profilach. (Tab. 35).

W profilach gleb 17Z i 19Z stwierdzono silnie kwaśny odczyn poziomów organicznych: pH w granicach 4,85-4,91 (w H₂O) i 4,50-4,53 (w KCl) dla O_f profilu 17Z oraz 4,91-4,99 (w H₂O) i 4,53-4,54 (w KCl) dla O₁ profilu 19Z. Są to najstarsze zrekultywowane powierzchnie pokryte drzewostanem sosnowym. W profilu 9Z, podpoziom O₁ wykazywał odczyn kwaśny z wartościami pH 5,75-5,77 (w H₂O) i 5,50-5,51 (w KCl). W czterech profilach podpoziom O_f charakteryzował się słabo kwaśnym odczynem przy wartościach pH odpowiednio dla profilu 11Z - 6,40 (w H₂O) i 6,29 (w KCl); dla profilu 14Z - 6,22 (w H₂O) i 6,01 (w KCl); dla podpoziomu O₁ profilu 15Z - 6,37 (w H₂O) i 6,23 (w KCl); dla profilu 16Z - 6,79 (w H₂O) i 6,47 (w KCl) (Tab. 35).

Biorąc pod uwagę tylko poziomy mineralne gleb technogenicznych można stwierdzić, iż większość badanych profili (6Z, 7Z, 8Z, 9Z, 10Z, 11Z, 12Z, 13Z, 14Z i 19Z) reprezentuje gleby zasadowe, gdzie pH przyjmuje wartości od 7,42 do 8,63 (w H₂O) oraz od 6,37 do 8,20 (w KCl) (Tab. 36). Profile 5Z, 15Z i 16Z charakteryzuje szerszy zakres pH: 7,13-7,46 (w H₂O) oraz 6,06-8,12 (w KCl) co pozwala zakwalifikować je do gleb obojętno-zasadowych (Tab. 35). Gleby, w których odnotowano szeroki przekrój wartości odczynu: od kwaśnego po zasadowy to profile 17Z, 18Z oraz 20Z. Przyjmowały one następujące wartości pH: 5,88- 8,15 (w H₂O) i 4,55-7,98 (w KCl) – profil 17Z; 6,19- 8,59 (w H₂O) i 5,34-8,37 (w KCl) – profil 18Z oraz 6,54-8,30 (w H₂O) i 5,68-7,93 (w KCl) – profil 20Z.

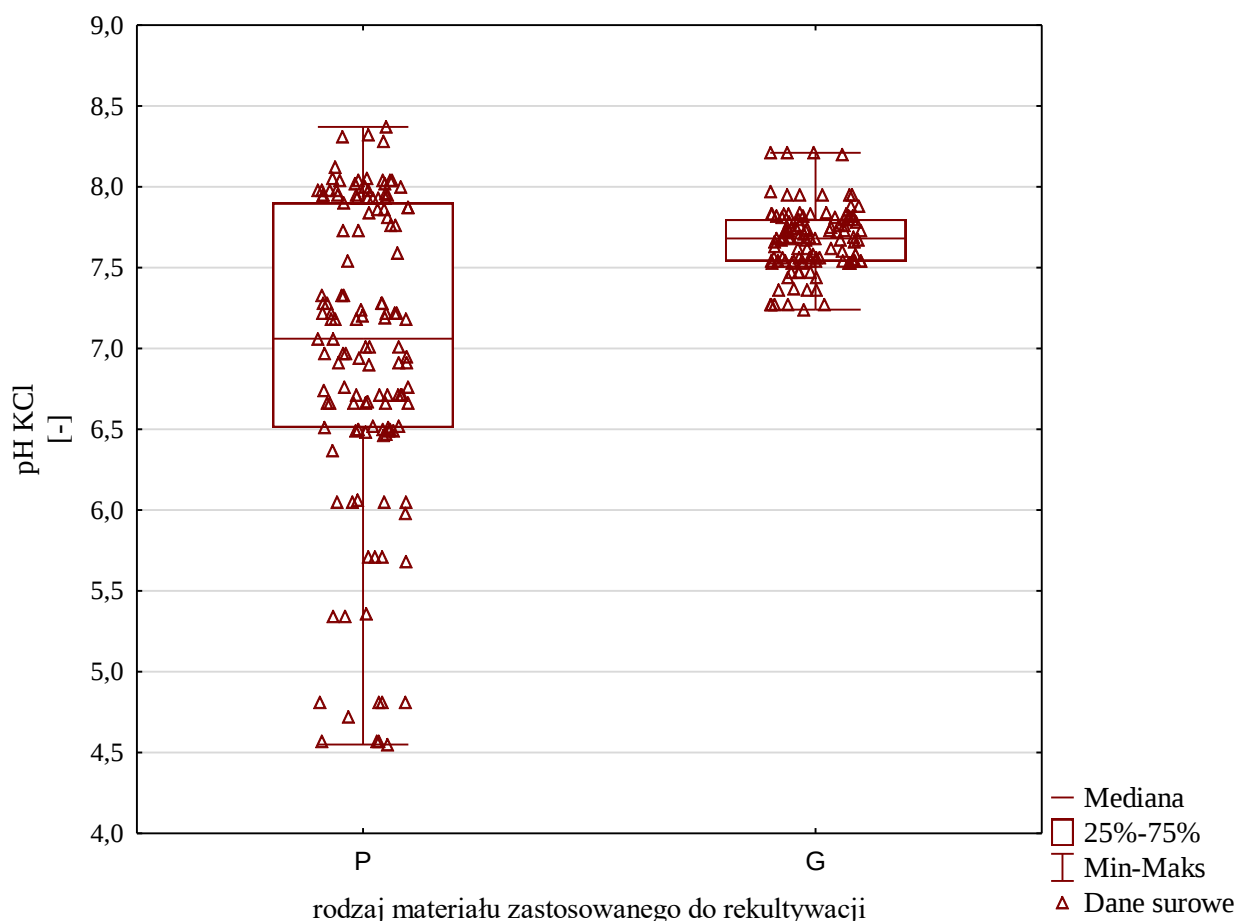
Interpretując wyniki analiz odczynu w glebach technogenicznych nie zauważono wyraźnego wzrostu lub spadku wartości pH wraz ze wzrostem głębokości w profilu, jedynie w trzech profilach starszych powierzchni (18Z, 19Z oraz 20Z) odnotowano wyraźnie niższą wartość pH w poziomie próchnicznym.

Rozpatrując wartości odczynu (pH w KCl w poziomach mineralnych) w odniesieniu do rodzaju materiału zwałowego zastosowanego w pracach rekultywacyjnych stwierdzono, iż w przypadku gleb tworzonych na utworach piaszczystych ich odczyn charakteryzował się wysokim zróżnicowaniem: pH 6,51-7,90 (dla 25-75% wszystkich wyników), a wartość mediany wyniosła pH 7,06. Gleby powstające na podłożach gliniastych charakteryzowały się wysokimi wartościami pH: 7,68 (wartość mediany) i jednocześnie dużą jednorodnością w otrzymanych wartościach: pH 7,54-7,80 (dla 25-75% wszystkich wyników). Obie badane grupy wykazują istotne statystycznie zróżnicowanie, które potwierdza przeprowadzony test U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 15).

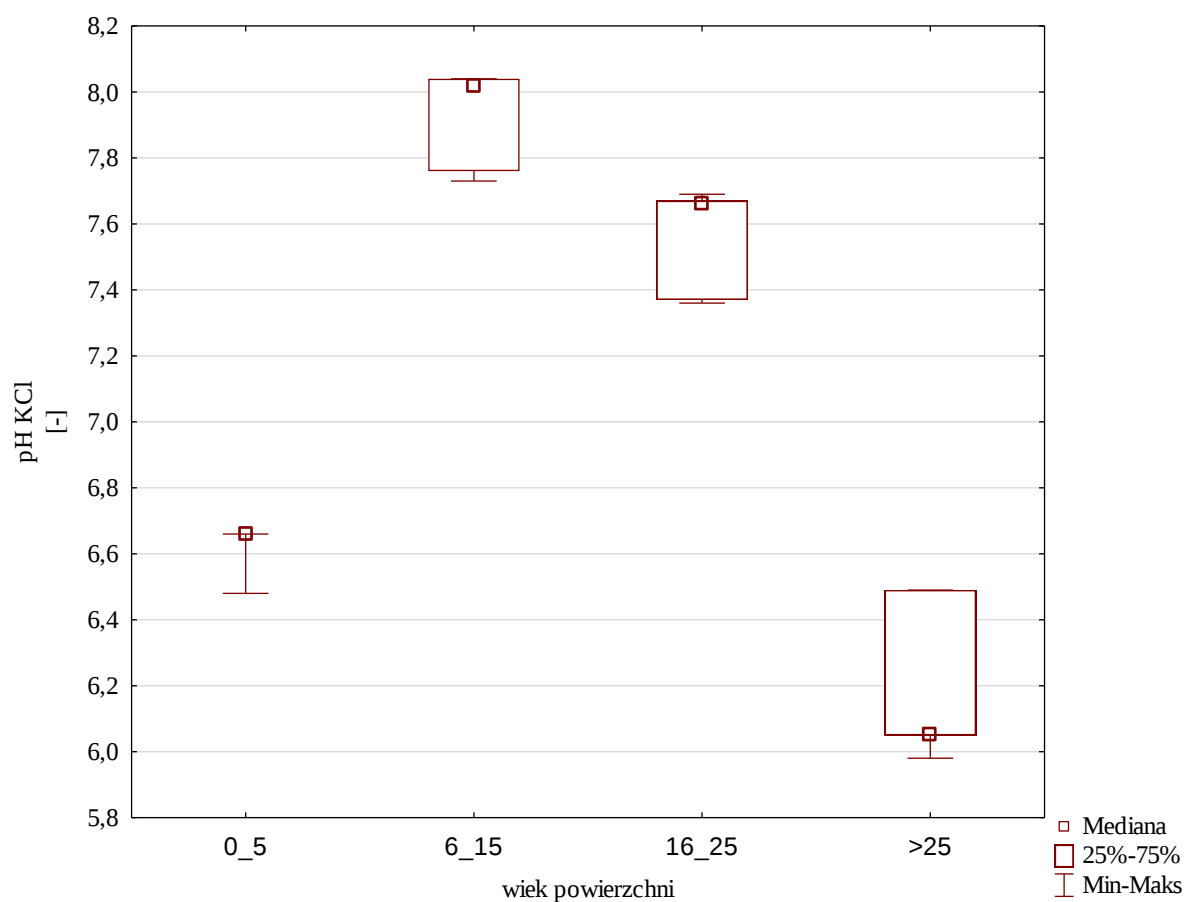
Analizując zmiany odczynu w zależności od zastosowanej roślinności w procesie rekultywacji (olsza lub sosna) stwierdzono, iż w obu przypadkach rozwijający się drzewostan obniża wartość pH w powierzchniowych poziomach genetycznych gleb wraz z upływem czasu. Jednocześnie pod drzewostanem olchowym proces zakwaszania jest intensywniejszy. Po 25 latach od zakończenia rekultywacji, pH w poziomie próchnicznym „pod sosną” wynosi 6,05 (wartość mediany) natomiast pod olszą 5,68 (wartość mediany). Powyższe potwierdzono testem Kruskala-Wallisa ($p = 0,0000$ „dla sosny”) (Rys. 16) oraz ($p = 0,0003$ „dla olszy”) Rys. 17. (tab. 18 i 19)

Przebadane gleby technogeniczne charakteryzują się wysokimi wartościami pH co pozwala zakwalifikować je do gleb obojętnych i zasadowych. Gleby kształtowane na materiale piaszczystym mają niższe pH w porównaniu z glebami powstającymi na utworach gliniastych. Wartości odczynu różnicują się w obrębie głębszych warstw profilu w sposób przypadkowy

(ze względu na niejednorodność materiału zwałowego zastosowanego w rekultywacji) jedynie w profilach starszych, pod rozwiniętym drzewostanem i charakteryzujących się obecnością próchnicy nadkładowej stwierdzono tendencję do zakwaszania wierzchnich poziomów glebowych. Dodatkowo, udowodniono statystycznie, iż w korelacji z czasem olsza przyczynia się do większego zakwaszania poziomów próchnicznych w porównaniu z sosną. Wśród badanych profili o wyraźnie wykształconym poziomie próchnicy nadkładowej stwierdzono w pojedynczych przypadkach wartości odczynu obojętnego i zasadowego w wierzchnich poziomach lub warstwach, co wiąże się z oddziaływaniem opadu roślinnego pokrytego pyłem wapiennym, powstającym podczas prac eksploatacyjnych i transportowych prowadzonych przez nadal funkcjonujący zakład wydobywczy.



Rys. 15. Rozkład wartości pH KCl w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

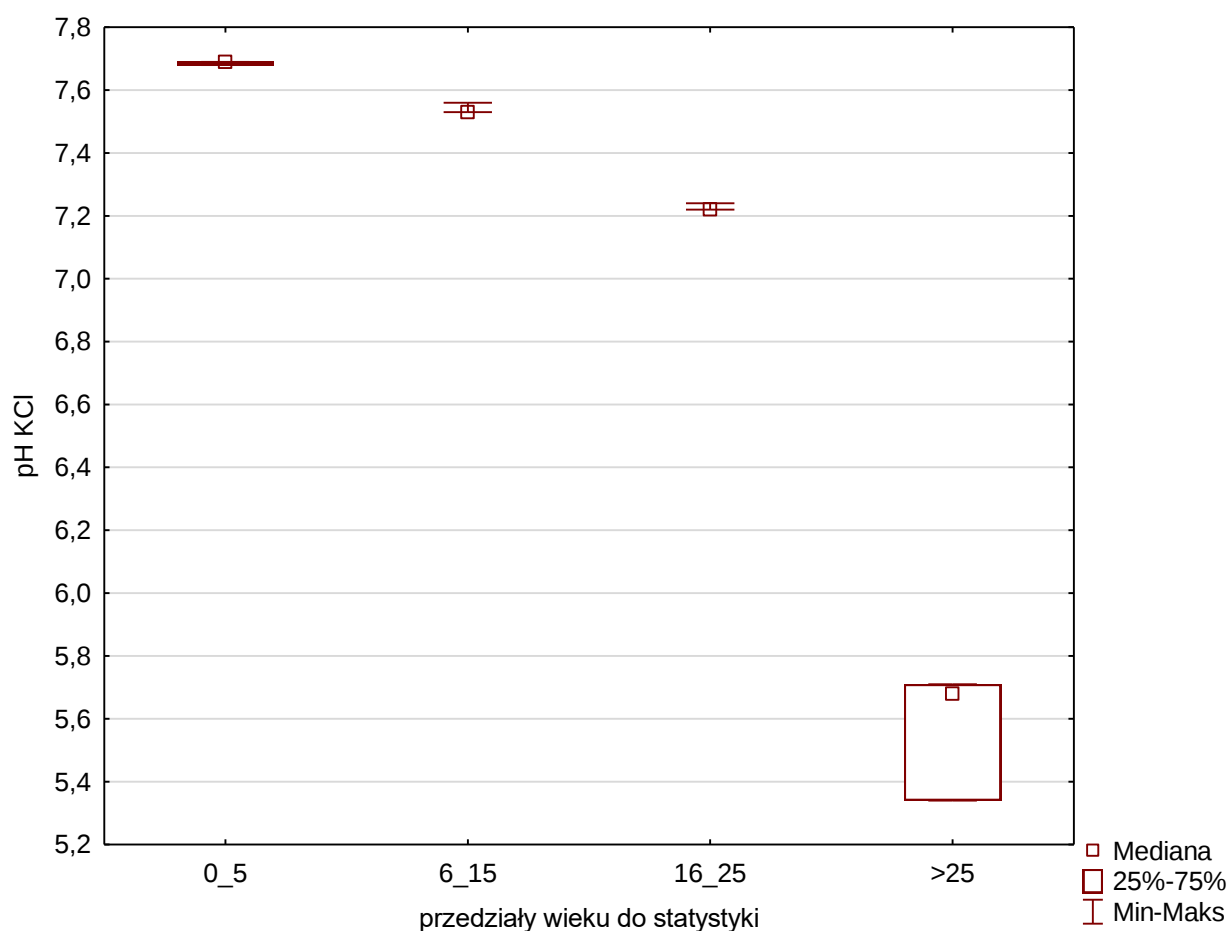


Rys. 16. Rozkład wartości pH KCl w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny

Tab. 18. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=40) = 35,79234$ $p=0,0000$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz wartości pH KCl dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym

Zmienna pH KCl	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	0,0004	-		
16-25	0,1962	0,0895	-	
>25	1,0000	$p<0,0001$	0,0009	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie



Rys. 17. Rozkład wartości pH KCl w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy

Tab. 19. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 21) =18,94947 p=0,0003 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz wartości pH KCl dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym

Zmienna pH KCl	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	1,0000	-		
16-25	0,1822	0,8594	-	
>25	0,0011	0,0057	0,3583	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie

6.5. Przewodność elektryczna

Analizując wyniki uzyskane dla referencyjnych gleb leśnych stwierdzono najwyższe wartości przewodności w podpoziomach organicznych (O_{fh} i O_l), odpowiednio: $660,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ w podpoziomie O_{fh} (profilu 1RL), $551,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ w O_{fh} profilu 2RL, oraz $756,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ w podpoziomie O_l (profil 3RL) i $811,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ w O_l (profil 1RL) (Tab. 35).

Rozpatrując wielkość i rozkład wartości przewodności w poziomach mineralnych, stwierdzono podwyższoną jej wartość oraz wzrost w głąb profilu glebowego dla profilu nr 1RL: od $140,55 \mu S \cdot cm^{-1}$ (w poziomie A 0-10 cm) do $172,45 \mu S \cdot cm^{-1}$ (poziomie najgłębszym $B_{wcaq}C_{caq}$). W pozostałych dwóch profilach 2RL oraz 3RL wartości przewodności były niższe i malały ze wzrostem głębokości od $133,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (w poziomie A) do $19,86 \mu S \cdot cm^{-1}$ (w poziomie najgłębszym C) dla profilu 2RL, oraz od $45,10 \mu S \cdot cm^{-1}$ (w poziomie A) do $11,66 \mu S \cdot cm^{-1}$ (w poziomie najgłębszym C) w profilu 3RL (Tab. 35).

Referencyjna gleba orna charakteryzowała się podwyższonymi wartościami przewodności, wzrastającymi w głąb profilu: od $121,35 \mu S \cdot cm^{-1}$ (poziom powierzchniowy AB_w) do $136,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (poziom B_w) (Tab. 35).

Poziom organiczny gleb technogenicznych odznaczał się wysokimi wartościami przewodności w stosunku do poziomów mineralnych niżej zalegających, podobnie jak w leśnych glebach referencyjnych. Wartości te kształtowały się odpowiednio w podpoziomie O_l : $570,05 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 19Z), $724 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 9Z), $811,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 15Z) i $1271,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 16Z), a także w podpoziomie O_f : $649,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 17Z), $691,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 14Z), $1146,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 11Z) (Tab. 35).

Analizując wartości przewodności w poziomach mineralnych poszczególnych profili badanych gleb technogenicznych stwierdzono, iż w pięciu profilach odpowiadają one wartościom niskim nie przekraczającym $100 \mu S \cdot cm^{-1}$ tj. $36,65-98,25 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 5Z), $19,13-92,05 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 9Z), $19,53-76,25 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 17Z), $22,57-28,25 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 19Z) i $19,97-50,10 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 20Z). W pozostałych profilach odnotowano wartości wyższe w zakresie $120,00-551,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ odpowiednio: $121,95-136,90 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 6Z), $93,45-181,75 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 7Z), $35,70 - 141,45 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 8Z), $165,90-246,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 10Z), $97,35-189,30 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 11Z), $100,62-157,75 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 12Z), $172,30 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 13Z), $96,00 - 208,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 14Z), $19,86 - 551,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 15Z), $40,40 - 167,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 16Z), $85,80-226,00 \mu S \cdot cm^{-1}$ (profil 18Z) (Tab. 35).

Można stwierdzić, iż wartość przewodności w profilach gleb technogenicznych wykazywała tendencję spadkową wraz ze wzrostem głębokości jedynie w trzech profilach: 10Z, 12Z oraz 15Z, w pozostałych profilach zmieniała się nieregularnie.

6.6. Węglan wapnia

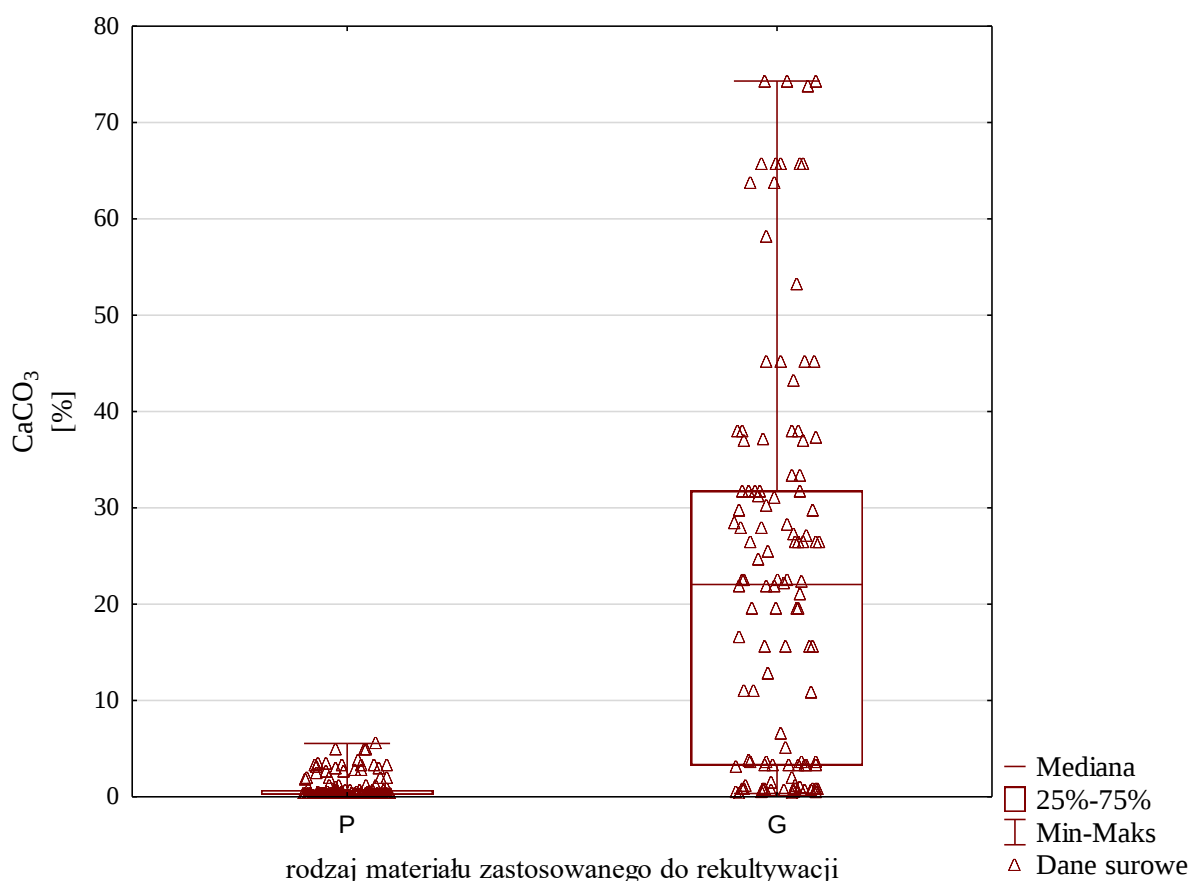
Zawartość węglanu wapnia, zarówno w referencyjnych glebach leśnych (profile 1RL, 2RL i 3RL), jak również w referencyjnej glebie rolnej (profil 4RR) była niewielka rzędu 0,41-7,00% dla profilu 1RL; 0,17-0,87% dla profilu 2RL; 0,11-0,89% dla profilu 3RL i 0,37-1,07% dla profilu 4RR. Analizując wartości tego parametru w obrębie każdego profilu, stwierdzono, iż najwyższe zawartości węglanu wapnia w glebach leśnych występowały w podpoziomach organicznych: detrytusowym O_{fh} profilu 1RL – 7,00%, O_l profilu 2RL – 0,87% oraz O_l profilu 3RL – 0,89%. Powyższe koreluje z opadem liści oraz igieł pokrytych pyłem wapiennym, który jest emitowany w trakcie prac eksploatacyjnych prowadzonych w wyrobisku, co jest widoczne w podpoziomie O_{fh} profilu 1RL, znajdującym się na obszarze najbliższej położonym czynnej części wyrobiska i obecnie przygotowywanym do dalszej eksploatacji (Tab. 35). W dwóch profilach badanych gleb (1RL oraz 4RR) odnotowano wzrost zawartości węglanu wapnia wraz ze wzrostem głębokości. Uwarunkowane jest to zaleganiem rumoszu wapiennego w skale macierzystej. Dla profilu 2RL, obserwuje się tendencję odwrotną - spadek zawartości węglanu wapnia wraz ze wzrostem głębokości. Profil 3RL charakteryzuje się równomiernym rozmieszczeniem węglanu wapnia w całym profilu.

Analizując gleby technogeniczne pod względem zawartości węglanu wapnia stwierdzono, iż podobnie jak w przypadku referencyjnych gleb leśnych poziomy organiczne profile 9Z, 11Z, 14Z, 15Z, 16Z i 17Z wykazywały podwyższoną jego zawartość najprawdopodobniej związaną z depozycją pyłów wapiennych w trakcie transportu surowca. Wyjątkiem był profil nr 19Z gdzie nie wykazano podwyższonej zawartości węglanu wapnia w próchnicy nadkładowej. Wśród badanych gleb technogenicznych występują, zarówno takie, które charakteryzują się niską zawartością węglanu wapnia, tj. <10% i w miarę równomiernym rozkładem w całym pionowym przekroju odkrywki. Są to profile: 5Z (0,20-0,49%), 8Z (0,20-4,74%), 9Z (0,17-2,19%), 10Z (2,67-3,38%), 15Z (0,09-3,30%), 17Z (0,17-1,11%), 18Z (0,14-0,72%), 19Z (0,14-0,22%), 20Z (0,18-0,31%), jak też takie, w których odnotowano wysoką zawartość węglanu wapnia (>10%) oraz nierównomierne jego rozłożenie w profilu. Powyższa zależność została udokumentowana dla profili 6Z (15,05-26,90%), 7Z (10,91-61,90%), 11Z (0,48-29,11%), 12Z (3,72-37,04%), 13Z (58,47%), 14Z (0,87-74,32%), 16Z (0,14-59,05%), co przedstawiono w tabeli nr 35.

Cechą charakterystyczną dla profili o wysokiej zawartości węglanu wapnia jest jednocześnie wysoka zawartość frakcji szkieletowych, frakcji pyłowej oraz iłowej, co zostało potwierdzone statystycznie i wyrażone współczynnikiem korelacji wg Spearmana

(odpowiednio dla frakcji szkieletowych $r = 0,812$, frakcji pyłowej $r = 0,841$ oraz iłowej $r = 0,848$).

Zawartość węgla wapnia w glebach, w których zastosowano odmienne materiały w rekultywacji (utwór gliniasty lub piaszczysty) jest bardzo zróżnicowana. Całkowitym brakiem lub minimalnymi zawartościami węgla wapnia (wartość mediany 0,28%) charakteryzują się utwory piaszczyste, natomiast utwory gliniaste zawierają go w bardzo dużych ilościach (wartość mediany równa 22,05%) oraz dodatkowo wykazują wysokie zróżnicowanie w uzyskanych wynikach: od 3,28 do 31,76% (dla 25 - 75% wszystkich wyników). Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 18).



Rys. 18. Rozkład zawartości węgla wapnia w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

Analizując zawartość węgla wapnia w podziale na zastosowane materiały w rekultywacji (utwór piaszczysty oraz utwór gliniasty) oraz z uwzględnieniem przedziałów

wiekowych drzewostanów porastających zrehabilitowane powierzchnie badawcze stwierdzono, iż w przypadku utworów piaszczystych najwyższą zawartość węglanu wapnia odnotowano w przedziale wiekowym drzew 16-25 lat (wartość mediany 2,02%), natomiast dla utworów gliniastych wartość najwyższą stwierdzono dla grupy wiekowej 6-15 lat (wartość mediany 37,45%). Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym Kruskala-Wallisa ($p = 0,0001$) dla piasków (Rys.19), ($p = 0,0001$) dla glin (Rys. 20).

Wyniki testu Kruskala-Wallisa ($p = 0$), zarówno w przypadku utworów piaszczystych, jak i gliniastych, przy założonym poziomie istotności ($\alpha = 0,05$) wskazują na istotne różnice między badanymi przedziałami wieku powierzchni/wieku drzewostanu (Tab. 20, 21).

Tab. 20. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=130) = 52,038$ $p = 0,0001$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości CaCO_3 dla utworów piaszczystych

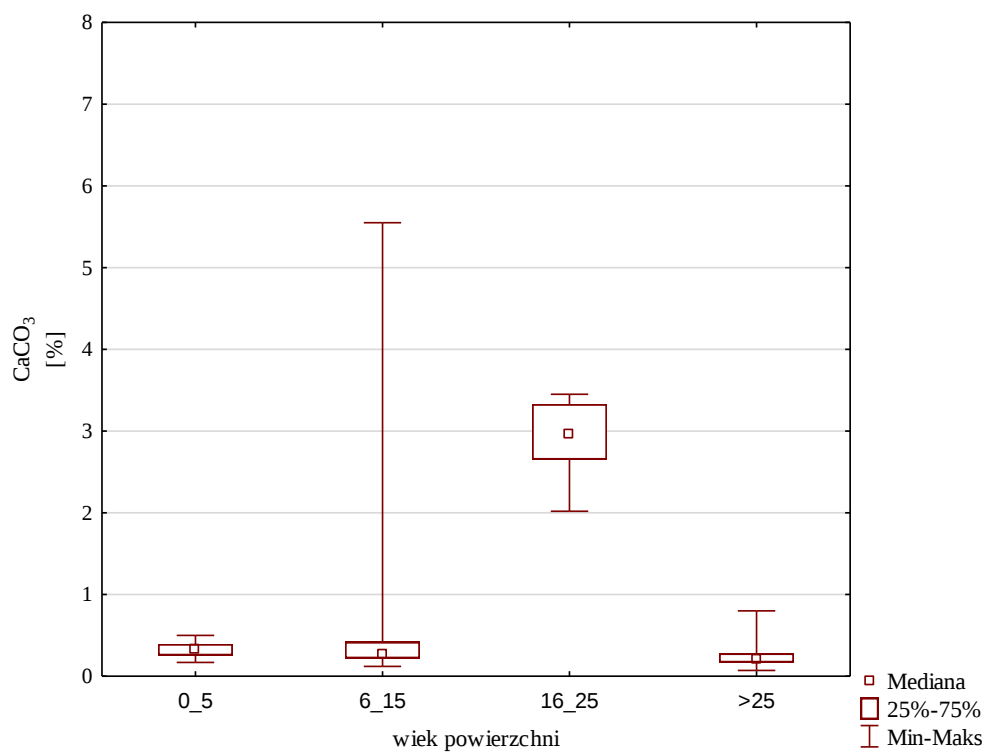
Zmienna CaCO_3	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	1,0000	-		
16-25	0,0010	<0,0001	-	
>25	0,0106	0,0176	<0,0001	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie

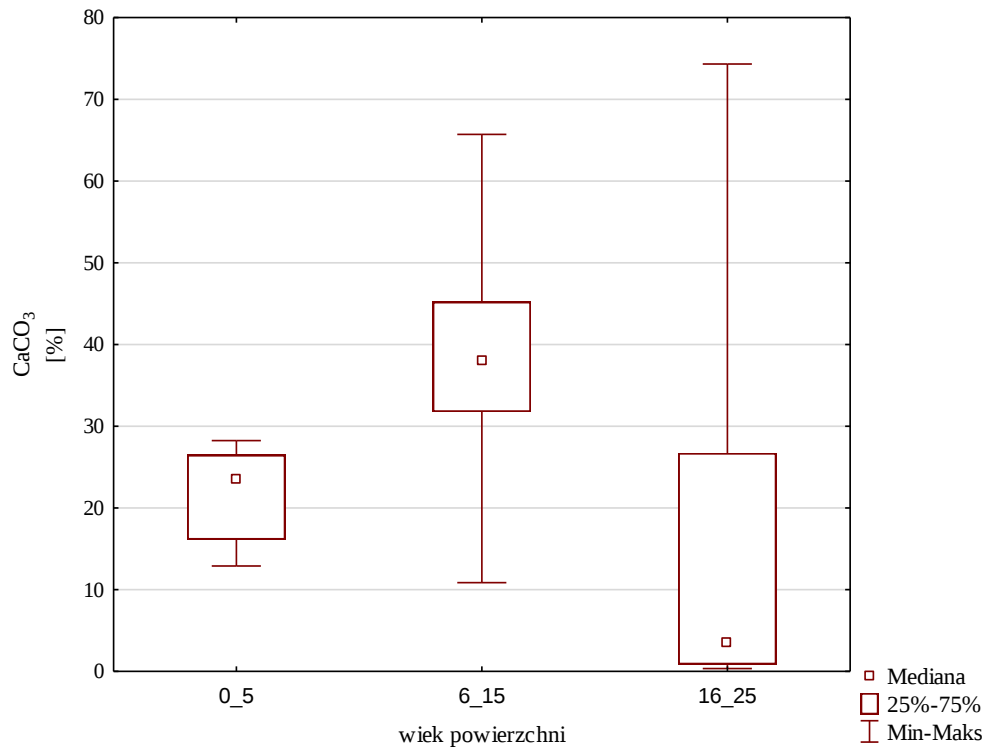
Tab. 21. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(2, N=112) = 35,403$ $p = 0,0001$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości CaCO_3 dla utworów gliniastych

Zmienna CaCO_3	Przedziały wieku powierzchni		
	0-5	6-15	16-25
	[lata]		
0-5	-		
6-15	0,0052	-	
16-25	0,2781	<0,0001	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie



Rys. 19. Rozkład wartości CaCO_3 w próbach gleb mineralnych pobranych z utworów piaszczystych wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu



Rys. 20. Rozkład wartości CaCO_3 w próbach gleb mineralnych pobranych z utworów gliniastych wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu

Źródłem węglanu wapnia w badanych glebach jest zastosowane podłoże, które decyduje o jego wysokiej (utwór gliniasty) bądź niskiej (utwór piaszczysty) zawartości, jak również stała emisja powodowana działalnością zakładu wydobywczego. Stosowanie materiałów niezhomogenizowanych powoduje niejednorodność rozmieszczenia węglanu wapnia w profilach poszczególnych gleb. Zróżnicowanie zawartości węglanu wapnia w ramach stosowania tego samego rodzaju materiału zwałowego w rekultywacji, ale w określonych grupach wiekowych powierzchni może wynikać z pobierania różnych partii materiału rekultywacji w okresie, w którym były prowadzone prace techniczne.

6.7. Właściwości sorpcyjne

Kwasowość hydrolityczna

Analizując otrzymane wartości kwasowości hydrolitycznej w referencyjnych glebach leśnych stwierdzono, iż najwyższe jej wartości występują w podpoziomach organicznych (O_1 i O_{fh}). Dla profilu 1RL wartość kwasowości hydrolitycznej w podpoziomie O_{fh} wyniosła $5,40 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ i była to wartość najniższa w porównaniu z pozostałymi podpoziomami organicznymi (profile 2RL i 3RL), co obrazuje tabela nr 36 (Tab. 36). Zróżnicowanie tego parametru jest efektem odmiennego drzewostanu, który jest źródłem biomasy warunkującej jakość próchnicy nadkładowej (profil 1RL - drzewostan bukowy, profile 2RL i 3RL – drzewostan sosnowy).

W poziomach mineralnych referencyjnych gleb leśnych oraz w całym profilu gleby ornej (4RR) wartości kwasowości hydrolitycznej kształtowały się na niskim poziomie w zakresie od $0,52$ do $3,24 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (Tab. 36).

Podobną zależność odnotowano w badanych glebach technogenicznych - najwyższe wartości kwasowości hydrolitycznej zaobserwowano w poziomach próchnic nadkładowych (od $7,20$ do $53,80 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$). Niższe wartości kształtowały się pod drzewostanem mieszanym (profil 15Z) oraz sosnowym (profil 16Z) pod wpływem emisji pyłu cementowego, wyższe pod starszym drzewostanem sosnowym (profile: 9Z, 11Z, 14Z, 17Z i 19Z).

Analizując uzyskane wyniki wartości kwasowości hydrolitycznej w poziomach mineralnych poszczególnych profili gleb technogenicznych (od 5Z do 20Z) stwierdzono, że kształtują się one na bardzo niskim poziomie i nie przekraczają wartości $4 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ($0,00$ - $3,68 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) przy wartości maksymalnej $3,68 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w poziomie próchnicznym A profilu 18Z (Tab. 36).

Suma kationów o charakterze zasadowym (S)

Sumy kationów o charakterze zasadowym w leśnych glebach referencyjnych, niezależnie od lokalizacji profilu glebowego, wykazały najwyższe wartości w podpoziomach organicznych (O_1 i O_{fh}) kształtując się w zakresie od 27,21 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w podpoziomie O_1 profilu 2RL do 38,99 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w podpoziomie O_{fh} profilu 1RL. Analizując rozkład omawianego parametru w poziomach mineralnych poszczególnych profili, stwierdzono, iż najwyższe jego wartości odnotowano w profilu 1RL - od 11,28 do 17,86 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Znacznie niższe i bardziej zróżnicowane wartości sumy kationów zasadowych odnotowano w profilu nr 2RL - od 1,84 do 14,11 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Najniższą zawartością kationów o charakterze zasadowym (od 1,27 do 3,70 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) charakteryzował się profil numer 3 RL (Tab. 36). Dla gleby referencyjnej ornej wartości te kształtowały się na wysokim poziomie w całym profilu - od 15,37 do 18,57 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (Tab. 36).

W glebach technogenicznych najwyższe wartości sumy kationów o charakterze zasadowym odnotowano w poziomach organicznych (od 20,74 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w podpoziomie O_f profilu 14Z do 33,41 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w podpoziomie O_1 profilu 16Z) (Tab. 36).

Analiza wartości sumy składników o charakterze zasadowym pozwala na wydzielenie grup gleb ze względu na wartości tego wskaźnika: profile o niskiej zawartości kationów o charakterze zasadowym w całym profilu - do 10,00 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profile 5Z, 9Z, 17Z, 19Z oraz 20Z), profile o średniej zawartości kationów o charakterze zasadowym w całym profilu mieszczącej się w granicach 10,00 - 20,00 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 11Z, 13Z oraz 18Z) oraz profile o bardzo wysokiej zawartości kationów o charakterze zasadowym w całym profilu przekraczającej 20,00 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profile 6Z, 7Z, 10Z oraz 12Z) (Tab. 36).

Jak przedstawiono w tabeli 34 profile o numerach 6Z, 7Z, 10Z oraz 12Z charakteryzują się jednocześnie wysoką zawartością frakcji pyłowej i ilowej w całym przekroju glebowym.

Duża rozpiętość otrzymanych wartości sumy kationów o charakterze zasadowym dla pojedynczych profili charakteryzowała gleby nr 8Z i 14Z (odpowiednio 7,17-28,45 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ i 12,67-27,20 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) oraz gleby wytworzone na drodze sukcesji o numerach 15Z i 16Z (odpowiednio 2,21-22,28 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ oraz 3,92 – 25,77 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) co obrazuje tabela 36.

Wapń wymienny

Zawartość wapnia wymiennego w referencyjnych glebach leśnych osiąga najwyższe wartości w ich poziomach organicznych (od 22,79 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w podpoziomie O_1 profilu 2RL

do 37,07 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_{fh} profilu 1RL). W poziomach mineralnych poszczególnych profili stwierdzono zróżnicowanie w zawartości omawianego parametru. Bardzo niską zawartość wapnia wymiennego stwierdzono w profilu 3RL (od 1,10 do 3,34 cmol(+)kg⁻¹), wysoką jego zawartość w profilach 2RL (1,64-13,56 cmol(+)kg⁻¹) i 1RL (10,94 – 17,16 cmol(+)kg⁻¹) oraz referencyjnej glebie ornej oznaczonej nr 4RR (13,88 do 17,66 cmol(+)kg⁻¹) (Tab. 36).

W glebach terenów objętych rekultywacją, podobnie jak w leśnych glebach referencyjnych, najwyższe zawartości wapnia wymiennego stwierdzono w poziomach organicznych: od 17,45 cmol(+)kg⁻¹ do 30,77 cmol(+)kg⁻¹ (Tab. 36).

Analiza zawartości wapnia wymiennego w poziomach mineralnych poszczególnych profili wykazała znaczne zróżnicowanie zarówno pomiędzy profilami, jak również między wybranymi poziomami w obrębie profili. Gleby, które charakteryzowały się niską zawartością wapnia nie przekraczającą 6 cmol(+)kg⁻¹ w całym profilu jednocześnie należały do gleb lekkich o małej zawartości frakcji szkieletowej (profile 5Z, 9Z, 17Z, 19Z oraz 20Z). Gleby oznaczone numerami 8Z, 15Z, 16Z i 18Z wykazywały profilowe zróżnicowanie zawartości wapnia wymiennego. W poziomach powierzchniowych profili 8Z, 16Z oraz 18Z charakterystyczna była wysoka zawartość omawianego składnika, która osiągnęła wartości: 28,13 cmol(+)kg⁻¹ w poziomie Ca1 (8Z); 18,52 cmol(+)kg⁻¹ w poziomie A (16Z) oraz 15,25 cmol(+)kg⁻¹ w poziomie A (18Z). Wraz ze wzrostem głębokości zawartość wapnia wymiennego malała osiągając najniższe wartości w profilu 8Z (poziom Ca3 - 6,66 cmol(+)kg⁻¹), w profilu 16Z (poziom Ca1 – 3,72 cmol(+)kg⁻¹) oraz w profilu 18Z (poziom Ca2 - 6,78 cmol(+)kg⁻¹) a następnie wzrastała do wartości 18,57 cmol(+)kg⁻¹ w profilu 8Z; 25,36 cmol(+)kg⁻¹ w profilu 16 Z oraz 16,56 cmol(+)kg⁻¹ w profilu 18Z (Tab. 36). Zmiany w zawartościach wapnia wymiennego w profilu 15Z kształtowały się odmiennie - skokowo od najwyższej 21,77 cmol(+)kg⁻¹ w poziomie powierzchniowym A (0-10 cm) do najniższej 1,98 cmol(+)kg⁻¹ w poziomie najgłębszym Ca3 (< 50 cm). Gleby te różniły się od gleb z niską zawartością wapnia wymiennego wyższą zawartością części szkieletowych oraz frakcji iłowej (Tab. 34).

Profile gleb o numerach 6Z, 7Z, 10Z, 11Z, 12Z, 13Z oraz 14Z charakteryzowały się najwyższą zawartością wapnia wymiennego spośród wszystkich analizowanych gleb technogenicznych. Wartości nie były zróżnicowane w obrębie profilu i kształtowały się w zakresie od 12,19 - 17,19 cmol(+)kg⁻¹ (profil 11Z) do 25,86 - 29,70 cmol(+)kg⁻¹ (profil 10Z) (Tab. 38). Gleby te reprezentowały utwory najcięższe i jednocześnie zawierające znaczny udział frakcji szkieletowych (Tab. 34).

Magnez wymienny

W referencyjnych glebach leśnych najwyższe zawartości magnezu wymiennego stwierdzono w ich poziomach organicznych, odpowiednio w podpoziomie O_i : 2,01 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 2RL) i 0,84 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 3RL) i oraz w podpoziomie O_{fh} : 1,08 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 1RL) i 1,38 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 2RL). W poziomach mineralnych analizowanych gleb leśnych odnotowano znacznie niższą zawartość magnezu wymiennego w porównaniu do podpoziomów organicznych: 0,06-0,17 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 3RL), 0,06-0,31 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 2RL), oraz 0,10-0,39 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 1RL). Najwyższą zawartość omawianego parametru w poziomach mineralnych stwierdzono w poziomach powierzchniowych, a w przypadku profilu 3RL również w poziomie C2 (Tab. 36).

W referencyjnej glebie rolnej zawartość magnezu wymiennego wynosiła od 0,23 do 0,39 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Spadek zawartości magnezu wymiennego wraz ze wzrostem głębokości stwierdzono w profilach 1RL, 2RL oraz 4RR (Tab. 36).

W glebach powierzchni rekultywowanych, podobnie jak w glebach referencyjnych, najwyższe zawartości magnezu wymiennego odnotowano w poziomach organicznych, odpowiednio: 0,95 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 16Z, podpoziom O_i), 1,03 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 15Z, podpoziom O_i), 1,42 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 19Z, podpoziom O_i) i 1,68 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 9Z, podpoziom O_i); oraz 1,30 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 14Z, podpoziom O_f), 1,64 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 17Z, podpoziom O_f) i 2,63 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (profil 11Z, podpoziom O_f) (Tab. 36).

W poziomach mineralnych poszczególnych profili badanych gleb wytworzonych na gruntach pokopalnianych stwierdzono, znaczne zróżnicowanie w zawartości magnezu wymiennego. Na powierzchniach 1-2 letnich (profil 5Z i 6Z) odnotowano niską zawartość magnezu wymiennego od 0,06 do 0,08 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w profilu 5Z o składzie granulometrycznym piasków luźnych, od 0,20 do 0,62 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w profilu 6Z o uziarnieniu gliny piaszczysto-ilastej. Na powierzchniach po rekultywacji i drzewostanie w wieku 6-15 lat (profile 7Z, 8Z i 9Z) odnotowano zawartości magnezu wymiennego kształtujące się odpowiednio w zakresie wartości: 0,13 – 0,15 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w profilu 7Z (glina ilasta), 0,15 – 0,35 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w profilu 8Z (piasek gliniasty) oraz 0,07 – 0,13 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w profilu 9Z. Powierzchnie w grupie wiekowej 16-25 lat wykazywały zróżnicowanie zawartości magnezu wymiennego. Profile o numerach 11Z, 15Z i 16Z charakteryzowały się niską jego zawartością: od 0,06 do 0,22 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$, oraz od 0,20 do 0,35 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ w profilach o numerach 12Z, 13Z i 14Z. Najwyższą zawartością magnezu wymiennego w tej grupie wiekowej odznaczał się profil nr 10Z pod drzewostanem olchowym - 0,34 - 0,76 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (Tab. 36).

Spośród profili starszych, w wieku powyżej 25 lat, tylko profil oznaczony jako 18Z charakteryzował się podwyższoną zawartością magnezu wymiennego: 0,18-0,37 cmol(+)kg⁻¹. W profilach oznaczonych numerami 17Z, 19Z oraz 20Z zawartość magnezu mieściła się w przedziale 0,05-0,14 cmol(+)kg⁻¹ (Tab. 36).

Potas wymienny

Zawartość potasu wymiennego w referencyjnych glebach leśnych wykazuje zróżnicowanie profilowe szczególnie wyraźnie zaznaczone pomiędzy podpoziomami organicznymi a mineralnymi. W poziomach organicznych zawartość potasu wymiennego jest wyższa i wynosi od 0,66 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_{fh} profilu 1RL do 2,20 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_i profilu 2RL. W poziomach mineralnych zawartość potasu wymiennego kształtuje się w zakresie od 0,03 cmol(+)kg⁻¹ do 0,16 cmol(+)kg⁻¹. Analizując rozkład zawartości potasu wymiennego w warstwach mineralnych profili stwierdzono, iż wartości maksymalne tego składnika występują w poziomach próchnicznych (Tab. 36).

W przypadku referencyjnej gleby ornej odnotowano wyższą zawartość potasu wymiennego niż w glebach referencyjnych leśnych (od 0,56 do 0,98 cmol(+)kg⁻¹), co najprawdopodobniej związane jest ze stosowanym nawożeniem tych gruntów.

W analizowanych glebach technogenicznych, podobnie jak w leśnych glebach referencyjnych, największe ilości potasu wymiennego są zgromadzone w poziomie organicznym: od 1,49 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_i profilu nr 16Z do 3,09 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_f profilu 11Z. Analiza zróżnicowania zawartości potasu wymiennego w poziomach mineralnych gleb technogenicznych wskazuje na odmienną ich zasobność w ten składnik, co pozwala na pogrupowanie ich w klasy zawartości: niską, przeciętną i wysoką. Gleby o bardzo niskiej zawartości potasu wymiennego (wartości nie przekraczające 0,1 cmol(+)kg⁻¹) - profile 5Z, 8Z, 17Z, 19Z oraz 20Z; gleby o przeciętnych zawartościach potasu wymiennego (wartości w zakresie od 0,1 do 0,2 cmol(+)kg⁻¹) – profile 9Z, 11Z, 13Z, 15Z, 16Z i 18Z oraz gleby o wysokiej (najwyższych wartościach wśród badanych gleb) zawartości potasu wymiennego (wartości powyżej 0,2 cmol(+)kg⁻¹) – 6Z, 7Z, 10Z, 12Z, 14Z. Gleby bogate w potas jednocześnie charakteryzowały się wysokim udziałem frakcji ilowej, klasyfikującym je do grupy granulometrycznej glin. W większości analizowanych profili najwyższe zawartości potasu wymiennego spośród poziomów mineralnych wykazywały poziomy próchniczne (A) lub w przypadku ich niewykształcenia poziomy powierzchniowe (0-10 cm). Wyjątkiem był profil 5Z i 9Z (Tab. 36).

Sód wymienny

Wszystkie badane gleby, zarówno referencyjne leśne, gleba orna i technogeniczne zawierały niewielkie ilości sodu wymiennego. Dla gleb referencyjnych zakres omawianego parametru mieścił się w granicach 0,18-0,41 cmol(+)kg⁻¹ w poziomach organicznych oraz 0,06-0,15 cmol(+)kg⁻¹ w poziomach mineralnych. Natomiast w glebach technogenicznych wartości kształtowały się następująco: od 0,16 do 0,23 cmol(+)kg⁻¹ w poziomach organicznych oraz od 0,06 do 0,19 cmol(+)kg⁻¹ w poziomach mineralnych (Tab. 36).

Pojemność wymiany kationów (T)

Całkowita ilość kationów wymiennych, zarówno tych o charakterze zasadowym, jak też kwasowym, jaką może zaadsorbować gleba, osiągała najwyższe wartości w poziomach organicznych wszystkich gleb (referencyjnych i technogenicznych).

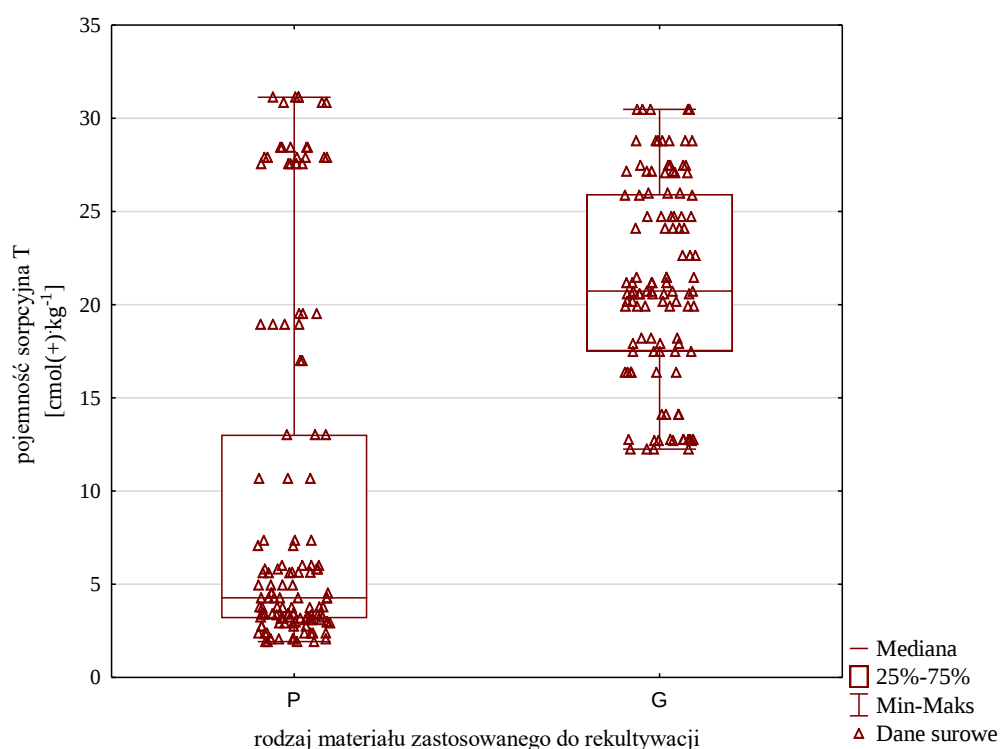
Dla referencyjnych gleb leśnych były to wartości: od 44,39 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_{fh} (profil 1RL) do 61,21 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_i (profil 2RL). Znacznie niższe wartości pojemności wymiany kationów odnotowano w ich poziomach mineralnych od 13,03 do 21,10 cmol(+)kg⁻¹ w profilu 1RL, od 2,99 do 16,59 cmol(+)kg⁻¹ w profilu 2RL oraz od 1,87 do 4,60 cmol(+)kg⁻¹ w profilu 3RL. W referencyjnej glebie ornej pojemność wymiany kationów nie wykazywała istotnego zróżnicowania w profilu i osiągała wartości mieszczące się w przedziale od 16,42 do 19,09 cmol(+)kg⁻¹ (Tab. 36).

W poziomach organicznych gleb technogenicznych stwierdzono zbliżone wartości pojemności wymiennej kationów do wartości wyznaczonych dla gleb referencyjnych (od 34,44 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_i profilu 15Z do 77,01 cmol(+)kg⁻¹ w podpoziomie O_i profilu 19Z).

Analizując wartości pojemności wymiany kationów w poziomach mineralnych gleb technogenicznych można zauważyć podobną tendencję rozkładu wartości omawianego parametru z wartościami odpowiadającymi sumom kationów o charakterze zasadowym. Pozwala to na pogrupowanie analizowanych gleb do grup o niskiej pojemności wymiany kationów w całym profilu (o wartościach nie przekraczających 10,00 cmol(+)kg⁻¹ - profile 5Z, 9Z, 17Z, 19Z oraz 20Z), grup o przeciętnej wartości pojemności wymiany kationów (o wartościach mieszczących się w granicach 10,00-20,00 cmol(+)kg⁻¹ - profile 11Z, 13Z i 18Z), oraz grupy gleb o bardzo wysokich wartościach pojemności wymiany kationów (wartościach przekraczających 20,00 cmol(+)kg⁻¹ - profile 6Z, 7Z, 10Z i 12Z). Gleby o bardzo wysokich wartościach pojemności wymiany kationów charakteryzują się jednocześnie wysoką

zawartością frakcji iłowej w całym przekroju glebowym. Jednocześnie stwierdzono wysokie zróżnicowanie uzyskanych wartości omawianego wskaźnika w profilach nr 8Z (7,35-28,45 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), 14Z (12,76 - 27,46 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) oraz w dwóch profilach gleb utworzonych na drodze sukcesji: 15Z (2,26-22,32 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) i 16Z (4,30 – 25,77 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) (Tab. 36).

Wartości pojemności sorpcyjnej badanych gleb, w których zastosowano odmienne materiały do rekultywacji (utwór gliniasty lub piaszczysty) jest bardzo zróżnicowana. Powyższe potwierdzają analizy statystyczne, w tym wartości mediany. Niskie wartości (mediana 4,27 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) odnotowano dla utworów piaszczystych przy rozpiętości uzyskanych wartości od 3,17-13,03 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (dla 25-75% wszystkich wyników). Gleby wytworzone na utworach gliniastych charakteryzowała wysoka wartość pojemności sorpcyjnej (mediana 20,73 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), oraz niewielkie zróżnicowanie uzyskanych wyników: od 17,5 do 25,93 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (dla 25-75% wszystkich wyników). Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 21).



Rys. 21. Rozkład wartości pojemności sorpcyjnej gleby (prób mineralnych) pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)

Stopień wzbogacenia kationami o charakterze zasadowym (V)

W badanych profilach gleb referencyjnych stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym w poziomie organicznym kształtował się w granicach od 43,75% w podpoziomie O_{fh} w profilu 2RL do 46,78% w podpoziomie O_l w profilu 3RL. Wyjątkiem był podpoziom O_{fh} w profilu 1RL gdzie odnotowano wartość znacznie odbiegającą od pozostałych - 87,84%, co może być powodowane lokalizacją analizowanego profilu w strefie bezpośredniego oddziaływania zakładu.

Analizując wartości wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi stwierdzono, iż w poziomach mineralnych referencyjnych gleb leśnych wartości tego parametru mieszczą się w zakresie 83,22 - 95,78% w glebie oznaczonej nr 1RL, w profilu 2RL w przedziale wartości 53,80 - 85,05%, a w 3RL – od 66,66 - 80,43% (Tab. 36).

Dla referencyjnej gleby uprawnej (nr profilu 4RR) odnotowano wysoki stopień wysycenia kompleksu kationami zasadowymi i jednocześnie małą jego zmienność w całym profilu: 93,61 - 97,28% (Tab. 36).

W analizowanych glebach technogenicznych, podobnie jak w glebach referencyjnych, niższe wartości omawianego parametru odnotowano w poziomie organicznym w porównaniu z poziomami mineralnymi: 45,81% w podpoziomie O_l (profil 9Z) i 29,15% w podpoziomie O_f (profil 17Z). W trzech profilach: 11Z, 15Z oraz 16Z wartości stopnia wysycenia kompleksu kationami zasadowymi były zdecydowanie wyższe i wyniosły odpowiednio w podpoziomie O_l profilu 15Z - 74,45%, w podpoziomie O_l profilu 16Z - 82,27% oraz w podpoziomie O_f profilu 11Z - 64,25% (Tab. 36).

Wszystkie poziomy mineralne analizowanych gleb technogenicznych charakteryzowały się bardzo wysokim stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym, ze zróżnicowaniem w korelacji z wiekiem powierzchni: do 25 lat były to wielkości powyżej 90%, natomiast dla powierzchni najstarszych (powyżej 25 lat) wartości te były niższe i bardziej zróżnicowane w obrębie profili: 57,29 – 100% w profilu 17Z; 78,70-100% w profilu 20Z; 81,16-100% w profilu 18Z oraz 89,95-94,95% w profilu 19Z (Tab. 36).

Udział poszczególnych kationów w kompleksie sorpcyjnym

W podpoziomach organicznych referencyjnych gleb leśnych układ kationów w całej puli kationów o charakterze kwasowym i zasadowym kształtował się następująco: $H^+ + Al^{3+} > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+$ dla podpoziomu O_l (profil 2RL i 3RL) oraz $H^+ + Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ (zamiana jonu K^+ z Mg^{2+}) dla podpoziomu O_{fh} profilu 2RL. Kationami dominującymi były jony

kwasowe $H^+ + Al^{3+}$, jedynie w przypadku podpoziomu O_{fh} profilu 1RL (powierzchnia znajdująca się w najbliższej odległości od miejsca prowadzenia prac eksploatacyjnych) jon Ca^{2+} był kationem dominującym w układzie: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$. W przypadku wszystkich poziomów mineralnych jonem dominującym w kompleksie sorpcyjnym był jon wapnia Ca^{2+} , kolejno jony kwasowe ($H^+ + Al^{3+}$), natomiast układ pozostałych kationów uzależniony był od głębokości w profilu. Poziomy próchniczne A wszystkich profili (1RL, 2RL oraz 3RL) charakteryzował układ kationów: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$; poziomów głębszych: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ lub $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$. Reasumując - jonem o najmniejszym udziale w kompleksie sorpcyjnym poziomów organicznych i próchnicznych był jon Na^+ , natomiast poziomów głębszych – jon K^+ (Tab. 37).

W referencyjnej glebie ornej układ kationów był następujący: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+$ lub $Ca^{2+} > K^+ > H^+ + Al^{3+} > Mg^{2+} > Na^+$.

Analizując podpoziomy organiczne gleb technogenicznych (O_1 oraz O_f) stwierdzono, iż układ kationów w całej puli przyjmuje kolejność podobną do zaobserwowanej w podpoziomie O_1 referencyjnych gleb leśnych: $H^+ + Al^{3+} > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+$. Odmienną sytuację stwierdzono w podpoziomach O_1 profili 15Z i 16Z oraz w podpoziomie O_f profilu 11Z, w których jon wapnia był kationem dominującym: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+$.

W poziomach mineralnych badanych gleb technogenicznych układ kationów w kompleksie sorpcyjnym wykazywał zróżnicowanie zarówno pomiędzy poszczególnymi profilami, jak też w obrębie pojedynczych profili. Jednak najczęstszym w poziomach glebowych o cięższym składzie granulometrycznym (gliny) był układ: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$, natomiast dla poziomów o składzie granulometrycznym piasków: $Ca^{2+} > H^+ + Al^{3+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ (Tab. 37).

6.8. Formy przyswajalne makroelementów

Fosfor

Zawartość fosforu przyswajalnego w referencyjnych glebach leśnych wykazała wysokie zróżnicowanie pomiędzy poziomami organicznymi i mineralnymi. Wartości te kształtowały się w zakresie wysokiej zasobności w poziomach organicznych i wynosiły odpowiednio: w podpoziomie O_1 profilu 3RL - $25,89 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$, w podpoziomie O_1 profilu 2RL - $34,38 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$, w podpoziomie O_{fh} profilu 1RL - $20,36 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$, oraz w podpoziomie O_{fh} profilu 2RL - $25,57 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. W poziomach mineralnych referencyjnych gleb leśnych zawartość fosforu przyswajalnego kształtowała się w zakresie od 0,61 do $4,04 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. W profilu 2RL od 0,97 do $4,04 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ - z maksymalną wartością przypadającą na

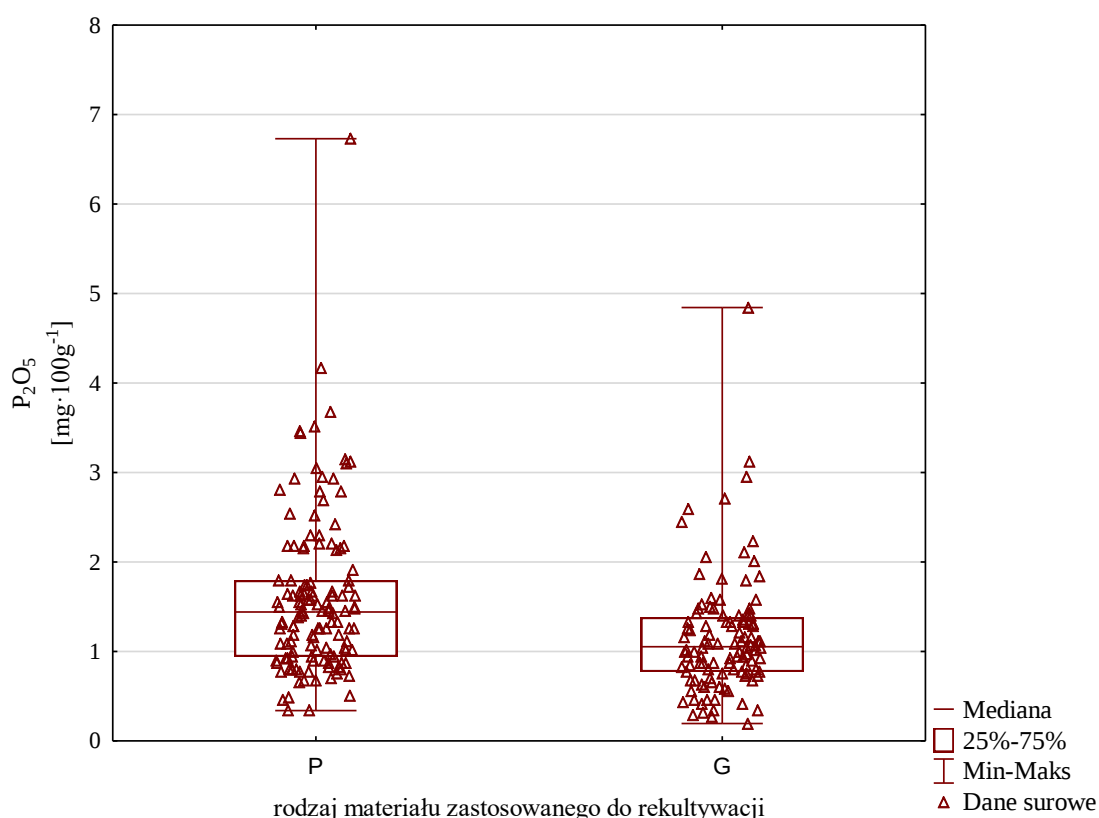
poziom Bv; w profilu 1RL od 0,61 do 2,08 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ przy najwyższej wartości omawianego parametru w poziomie A_{caq} (2,08 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$). Największym zakresem zawartości fosforu cechował się profil 3RL przy zakresie zasobności od 0,86 do 1,19 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Tab. 38).

Analizując zawartość fosforu w referencyjnej glebie rolnej stwierdzono wysoką jego zawartość w całym profilu, mieszczącą się w granicach od 37,31 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w poziomie AB_w (0-20 cm) do 3,18 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w poziomie B_w (Tab. 38).

W badanych glebach technogenicznych wysokie zawartości fosforu, podobnie jak w referencyjnych glebach leśnych, stwierdzono w poziomach organicznych: w podpoziomie O_1 profilu 15Z (15,25 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_1 profilu 16Z (18,27 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_1 profilu profil 17Z (22,24 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_1 profilu 9Z (34,68 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_f profilu 14Z (17,79 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$), w podpoziomie O_f profilu 17Z (24,38 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_f profilu 11Z (51,60 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$). Poziomy mineralne badanych gleb technogenicznych charakteryzowały się niskimi zawartościami fosforu przyswajalnego, nieprzekraczającymi wartości 3,48 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ we wszystkich profilach. W profilach gleb powierzchni 1-2 letnich zawartości fosforu kształtowały się odpowiednio: od 1,14 do 2,49 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 5Z (z maksymalną wartością w poziomie Ca_3) oraz od 0,85 do 1,25 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 6Z (z maksymalną wartością w poziomie Ca_1). Gleby o wieku do 15 lat charakteryzowały się odmiennymi zawartościami fosforu w profilach: od 0,71 do 1,44 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 7Z, od 1,56 do 3,12 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 8Z, od 1,40-2,13 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 9Z. Duże zróżnicowanie w zawartości fosforu przyswajalnego pomiędzy profilami odnotowano na powierzchniach w wieku 16-25 lat. Najniższymi wartościami w tej grupie charakteryzują się profile gleb 11Z i 13Z, odpowiednio 0,77-1,40 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ oraz 0,79 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. Nieco wyższe wartości odnotowano w profilach 14Z, 15Z oraz 16Z tj. odpowiednio: 0,67-2,23 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$; 0,93-2,69 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ oraz 0,91-2,61 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. Najwyższymi wartościami zawartości fosforu przyswajalnego wyróżniały się: profil 10Z (1,14 - 3,23 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$) oraz profil 12Z (0,82 – 3,48 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$). Wśród powierzchni w wieku powyżej 25 lat (profile 17Z-20Z) najniższą zawartość fosforu przyswajalnego odnotowano w profilach „pod sosną zwyczajną”: 17Z (0,76 - 1,21 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$) oraz 19Z (1,17 - 1,20 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$). Wyższe zawartości fosforu przyswajalnego odnotowano w pozostałych dwóch profilach tej grupy wiekowej, które zlokalizowane były pod olszą tj. w profilu 18Z: 1,21-2,19 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ oraz 20Z: od 0,98 do 2,14 $\text{mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Tab. 38).

Analizując badane gleby technogeniczne nie zauważono tendencji wzrostowej ani spadkowej zawartości fosforu przyswajalnego w obrębie badanych profili. W pięciu profilach: 7Z, 10Z, 14Z, 18Z i 20Z najwyższe zawartości fosforu przyswajalnego odnotowano w poziomach powierzchniowych (0-10 cm).

Zawartość fosforu przyswajalnego w glebach, w których zastosowano odmienne materiały w rekultywacji (utwór gliniasty lub piaszczysty) kształtuje się na podobnym, niskim poziomie. Dla utworów piaszczystych wartość mediany wynosi $1,44 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$, natomiast dla gliniastych $1,05 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. Oba utwory wykazują również małe zróżnicowanie w wartościach otrzymanych wyników tj. dla utworów piaszczystych $0,94\text{-}1,79 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ (dla 25-75% wszystkich wyników) oraz dla utworów gliniastych $0,77\text{-}1,38 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ (dla 25-75% wszystkich wyników). Powyższe zróżnicowanie potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 22).



Rys. 22. Rozkład wartości P_2O_5 w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)

Potas

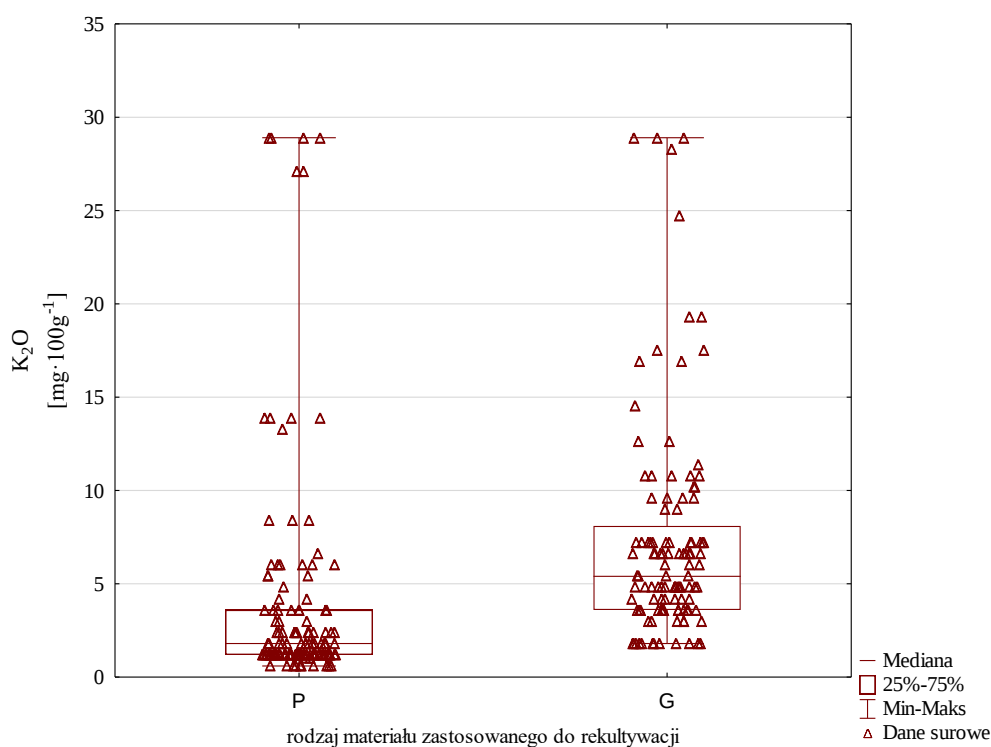
Najwyższe wartości zawartości potasu przyswajalnego stwierdzono poziomach organicznych referencyjnych gleb leśnych: w podpoziomie surowinowym O_1 profilu 3RL (65,8 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$) i profilu 2 RL (96,12 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$) oraz w podpoziomach detrytusowych O_{th} profilu 1RL (29,20 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$) i profilu 2RL (51,2 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$). Zawartość potasu przyswajalnego w poziomach mineralnych referencyjnych gleb leśnych mieściła się w przedziale wartości od 0,6 do 5,4 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$, najwyższe wartości stwierdzono w poziomie próchnicznym A profilu 3RL (3,6 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$) oraz w profilach 1RL i 2RL (5,4 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$) (Tab. 38).

W referencyjnej glebie ornej zawartość potasu przyswajalnego była wyższa niż w referencyjnych glebach leśnych i mieściła się w zakresie wartości od 21,7 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ w poziomie najgłębszym (B_w) do 36,4 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ w poziomie powierzchniowym AB_w (Tab. 38).

Większym zróżnicowaniem w zawartości potasu przyswajalnego charakteryzują się gleby ukształtowane na zwałowisku kopalni wapienia „Górażdże”. W glebach po rekultywacji terenów poeksploatacyjnych najwyższe zawartości potasu przyswajalnego stwierdzono w podpoziomach próchnicy nadkładowej: w podpoziomie O_1 profilu 15Z (71,5 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_1 profilu 16Z (73,26 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_1 profilu 19Z (89,1 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_1 profilu 9Z (128,5 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_f profilu 14Z (81,6 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_f profilu 17Z (96,57 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$); w podpoziomie O_f profilu 11Z (143,98 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$). W profilach gleb „najmłodszych” – rocznych i dwuletnich (profile 5Z i 6Z) zawartość potasu przyswajalnego kształtowała się odpowiednio: od 0,9 do 1,6 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 5Z (z najwyższą zawartością w poziomie Ca_2 ; 10-30 cm) oraz od 6,2 do 16,3 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ w profilu 6Z (z najwyższą zawartością w poziomie Ca_1 ; 0-10 cm). Gleby w wieku od 6 do 15 lat (profile 7Z, 8Z i 9Z) charakteryzowały się odmiennymi wartościami zawartości potasu: w profilu 7Z od 4,4 do 27,3 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$, w profilu 8Z od 2,2 do 3,6 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$, oraz w profilu 9Z od 1,0 do 6,0 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Duże zróżnicowanie w zawartości potasu przyswajalnego pomiędzy profilami odnotowano na powierzchniach w wieku 16-25 lat. Najniższymi wartościami w tej grupie gleb charakteryzują się powierzchnie 11Z, 13Z, 15Z oraz 16Z. Wartości tego parametru kształtują się odpowiednio od 1,8 – 9,2 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (profil 11Z); 6,6 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (profil 13Z); od 0,6 – 6,3 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (profil 15Z); od 1,2 – 6,9 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (profil 16Z). Nieco wyższe wartości tego parametru odnotowano w profilach 12Z i 14Z, odpowiednio 3,9 – 12,0 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ oraz 3,0 – 17,9 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Najwyższe wartości zawartości potasu

przyswajalnego w glebach 16-25 cio-letnich stwierdzono w profilu 10Z z wartościami od 5,4 do 27,7 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Powierzchnie w wieku powyżej 25 lat (profile: 17Z, 18Z, 19Z i 20Z) charakteryzowały się niską zawartością potasu przyswajalnego w całym profilu glebowym mieszczącą się w granicach od 0,6 do 3,9 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Podsumowując: zawartość potasu przyswajalnego w poziomach mineralnych wykazywała zróżnicowanie pomiędzy glebami, osiągając najwyższe wartości w poziomach powierzchniowych (0-10 cm), za wyjątkiem profili: 5Z i 9Z. Tendencję malejącą zawartości potasu wraz ze wzrostem głębokości stwierdzono tylko w profilach 12Z, 14Z, 17Z (Tab. 38).

Rozpatrując zawartość potasu przyswajalnego w glebach o zróżnicowanym materiale macierzystym (utwór gliniasty lub piaszczysty) stwierdzono, iż kształtuje się ona na bardzo niskim poziomie. Dla utworów piaszczystych wartość mediany wyniosła 1,8 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$, natomiast dla utworów gliniastych 5,4 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Dla utworów piaszczystych uzyskano niskie zróżnicowanie wyników: 1,2-3,6 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (dla 25-75% wszystkich wyników) i nieco większe dla utworów gliniastych 3,6-8,1 $\text{mgK}_2\text{O}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (dla 25-75% wszystkich wyników). Powyższe zróżnicowanie potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,0000$) (Rys. 23).



Rys. 23. Rozkład wartości K_2O w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)

Magnez

Najwyższe zawartości magnezu przyswajalnego stwierdzono w poziomach organicznych referencyjnych gleb leśnych. W podpoziomach organicznych O_1 profili 3RL i 2RL wartości te kształtowały się odpowiednio: 21,40 mgMg·100g⁻¹ i 29,95 mgMg·100g⁻¹, w podpoziomach O_{th} profili 1RL i 2RL odpowiednio 20,30 mgMg·100g⁻¹ oraz 21,25 mgMg·100g⁻¹ (Tab. 38). Poziomy mineralne przedmiotowych gleb leśnych charakteryzowała znacznie niższa zawartość magnezu przyswajalnego w porównaniu z ich poziomami organicznymi (0,56-3,69 mgMg·100g⁻¹ w profilu 2RL; 0,50-1,41 mgMg·100g⁻¹ w profilu 3RL; 0,84-3,69 mgMg·100g⁻¹ w profilu 1RL). Najwyższą zawartość Mg przyswajalnego w poziomach mineralnych stwierdzono w poziomach próchnicznych wszystkich profili, z jednoczesną tendencją malejącą wraz ze wzrostem głębokości w profilu (Tab. 38).

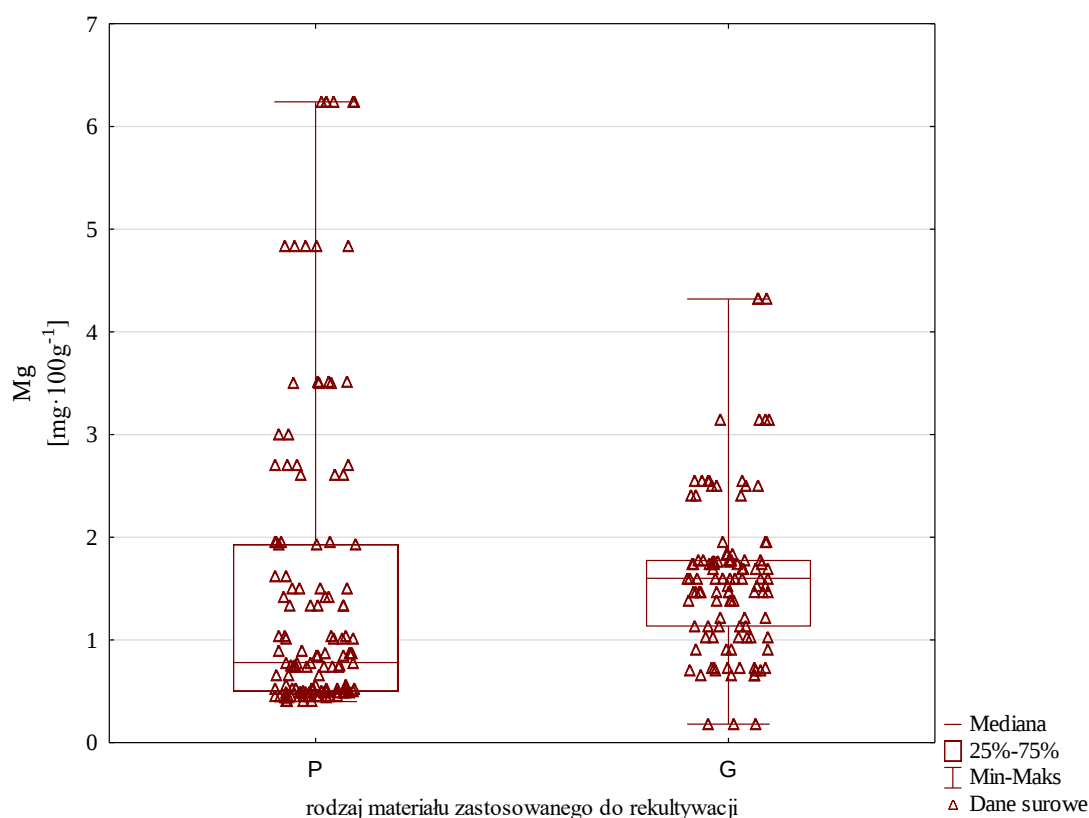
W referencyjnej glebie rolnej zawartość magnezu przyswajalnego wynosiła od 2,29 do 4,07 mgMg·100g⁻¹, przy maksymalnej wartości w poziomie AB_w (0-20 cm) (Tab. 38).

W glebach utworzonych na zrekultywowanym zwałowisku, podobnie jak w glebach referencyjnych, najwyższe zawartości magnezu przyswajalnego stwierdzono w podpoziomach organicznych O_1 profili 15Z (18,55 mgMg·100g⁻¹), 19Z (18,90 mgMg·100g⁻¹), 16Z (24,30 mgMg·100g⁻¹) i 9Z (24,40 mgMg·100g⁻¹) oraz w podpoziomach O_f profili 17Z (18,65 mgMg·100g⁻¹), 14Z (21,15 mgMg·100g⁻¹) i 11Z (36,90 mgMg·100g⁻¹). Poziomy mineralne profili gleb technogenicznych wykazały znaczne zróżnicowanie pod względem zawartości magnezu przyswajalnego. Wśród gleb w przedziale wiekowym od 0 do 5 lat, w profilu 5Z stwierdzono niską jego zawartość: od 0,45 do 0,78 mgMg·100g⁻¹, natomiast w profilu 6Z stwierdzono zawartość podwyższoną: od 1,69 do 4,32 mgMg·100g⁻¹. Wśród powierzchni po rekultywacji w wieku 6-15 lat niską zawartość magnezu przyswajalnego stwierdzono w glebach oznaczonych numerami 7Z i 9Z, odpowiednio: 1,02-1,60 mgMg·100g⁻¹ i 0,40-1,04 mgMg·100g⁻¹, oraz nieco wyższą zawartość w profilu 8Z: 1,33-3,51 mgMg·100g⁻¹.

Na powierzchniach zaklasyfikowanych do grupy wiekowej 16-25 lat stwierdzono niską zawartość magnezu przyswajalnego w trzech profilach: 11Z (0,18-1,13 mgMg·100g⁻¹), 15Z (0,55-2,13 mgMg·100g⁻¹) oraz 16Z (0,75 – 1,86 mgMg·100g⁻¹). Wyższą zawartością charakteryzowały się profile 10Z, 12Z, 13Z oraz 14Z osiągając wartości analizowanego parametru odpowiednio: 2,61-6,24 mgMg·100g⁻¹, 1,76-2,55 mgMg·100g⁻¹, 1,95 mgMg·100g⁻¹ oraz 1,47-3,14 mgMg·100g⁻¹. Wśród profili starszych, w wieku powyżej 25 lat, tylko jeden profil – 18Z, charakteryzował się podwyższoną zawartością magnezu przyswajalnego od 1,62 do 3,50 mgMg·100g⁻¹ w stosunku do pozostałych trzech: 17Z (0,44-0,53 mgMg·100g⁻¹), 19Z

(0,56 - 1,01 mgMg·100g⁻¹) oraz 20Z (0,75 do 1,50 mgMg·100g⁻¹). Poziomy mineralne gleb terenów zrekultywowanych wykazały najwyższe wartości zawartości magnezu przyswajalnego w poziomach powierzchniowych (0-10 cm), za wyjątkiem profili: 5Z, 8Z, 11Z, 12Z i 17Z (Tab. 38).

Zawartość magnezu przyswajalnego w glebach o odmiennym materiale macierzystym (utwór gliniasty lub piaszczysty) oscyluje wokół wartości bardzo niskich. Dla utworów piaszczystych wartość mediany wynosi 0,78 mgMg·100g⁻¹ natomiast dla gliniastych 1,60 mgMg·100g⁻¹. Oba utwory wykazują również małe zróżnicowanie w wartościach otrzymanych wyników, które dla utworów piaszczystych mieszczą się w zakresie wartości od 0,50-1,93 mgMg·100g⁻¹ (dla 25-75% wszystkich wyników) a dla utworów gliniastych od 1,13-1,78 mgMg·100g⁻¹ (dla 25-75% wszystkich wyników). Powyższe zróżnicowanie potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,000$) (Rys. 24).



Rys. 24. Rozkład wartości Mg w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)

6.9. Węgiel organiczny

Zawartość węgla organicznego w podpoziomach organicznych leśnych gleb referencyjnych kształtowała się w zakresie 36,19-41,88% w podpoziomach O_1 (profil 3RL i 2RL) oraz 18,56 – 20,38% w podpoziomach O_{fh} (profil 1RL i 2RL). Mineralne poziomy próchniczne charakteryzowały się wysoką zawartością węgla jedynie w dwóch profilach gleb leśnych: 1RL (4,26%) oraz 2RL (4,21%). Profil 3RL wykazywał słabo wykształcony poziom próchniczny A o niskiej zawartości węgla (0,35%). Charakterystyczną cechą gleby oznaczonej numerem 1RL była obecność węgla organicznego w głębszych poziomach glebowych, sięgających aż do skały macierzystej i mieszczących się w zakresie wartości 1,44-1,46% (Tab. 39). Zawartość węgla we wszystkich profilach gleb referencyjnych malała wraz ze wzrostem głębokości.

W przypadku referencyjnej gleby rolnej wysoką zawartość węgla organicznego stwierdzono w poziomie powierzchniowym AB_w (0-20cm) - 2,23% oraz w poziomie AB_w (20-35cm) - 2,24%. W poziomie B_w (35-40 cm) zawartość węgla organicznego była niższa i kształtowała się na poziomie 1,16% (Tab. 39).

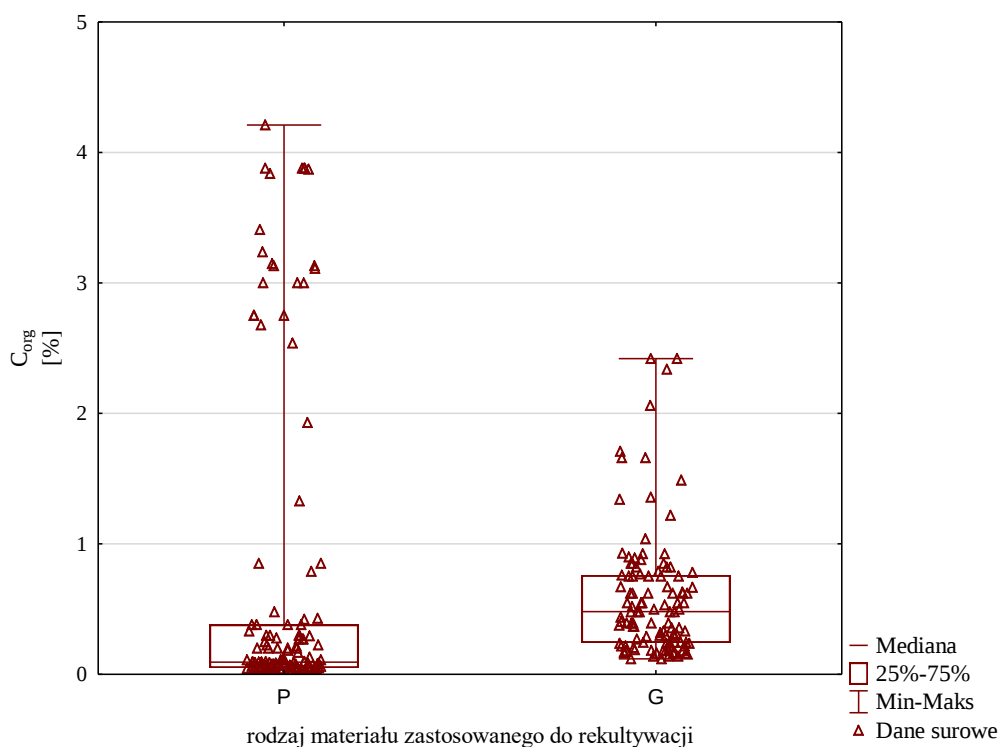
Analizując zawartość węgla organicznego w glebach powierzchni rekultywowanych najmłodszych (0-5 lat) stwierdzono, iż profile gleb wykazują zróżnicowane jego ilości. Odpowiednio, w profilu 5Z od 0,09% w poziomie Ca3 (50-70 cm) do 0,03% w poziomie Ca2 (10-30 cm) oraz od 1,14% w poziomie powierzchniowym Ca1 (0-10 cm) do 0,54% w poziomie Ca2 (50-70 cm) profilu 6Z. W glebach powierzchni zrekultywowanych w wieku 6-15 lat, zawartość węgla organicznego kształtowała się w granicach od 0,88% (poziom powierzchniowy Ca1, 0-10 cm) do 0,15% (poziom Ca1, 30-50 cm) profilu 7Z, od 0,28% w poziomie Ca1 (0-10 cm) do 0,06% w poziomie Ca4 (< 50 cm) profilu 8Z oraz od 0,40% w poziomie powierzchniowym Ca1 (0-10 cm) do 0,03% w poziomie Ca3 (50-70 cm), dodatkowo w profilu 9Z występował podpoziom ściółki O_1 o wysokiej zawartości węgla organicznego: 46,28%. Gleby technogeniczne w wieku 16-25 lat charakteryzowały się wysoką zawartością węgla organicznego w podpoziomach organicznych w O_1 : 26,96% (profil 15Z), oraz 32,26% (profil 16Z) i w O_f : 42,40% (profil 11Z) i 49,38% (profil 14Z). Pozostałe profile w tej grupie wiekowej nie posiadały poziomów organicznych. Analizując zawartość węgla organicznego w poziomach mineralnych poszczególnych profili stwierdzono znaczne jego zróżnicowanie pomiędzy analizowanymi powierzchniami. Najwyższą zawartością węgla charakteryzował się profil nr 10Z, odpowiednio 3,86% w poziomie Ca1 (0-10 cm) oraz 2,66% w poziomie Ca2 (30-50 cm). W profilach 11Z, 13Z, 14Z oraz 16Z zawartość węgla organicznego kształtowała się w zakresie wartości od 1,68% w poziomie A (0-10 cm) do 0,44%

w poziomie Ca3 (70-90 cm) w profilu 11Z; 1,31% w poziomie Ca (0-5 cm) profilu 13Z, od 2,27% w poziomie A (0-0,5 cm) do 0,18% w poziomie Ca2 (20-40 cm) profilu 14Z oraz od 1,67% w poziomie A (0-10 cm) do 0,18% w poziomie Ca1 (10-40 cm) w profilu 16Z. Najniższe zawartości węgla organicznego w tej grupie wiekowej gleb technogenicznych stwierdzono w profilach nr 12Z i 15Z: od 0,81% w poziomie Ca1 (0-20 cm) do 0,19% w poziomie Ca3 (50-70 cm) w profilu 12Z oraz od 0,88% w poziomie A (0-10 cm) do 0,03% w poziomie Ca3 (<50 cm) profilu 15Z (Tab. 39).

Analizowane gleby technogeniczne należące do powierzchni najstarszych (powyżej 25 lat) - profile nr 17Z, 18Z, 19Z i 20Z) charakteryzowały się wysoką zawartością węgla organicznego w podpoziomach organicznych O₁ profilu 19Z (49,17%) oraz O_f profilu 17Z (47,89%). Pozostałe profile tej grup wiekowej (18Z i 20Z) nie posiadały warstwy ektopróchnicy, a w porównaniu z profilami 17Z, 18Z, 19Z i 20Z wyróżniały się wyższą zawartością węgla organicznego w poziomach mineralnych tj. 0,07-3,36% (profil 18Z) oraz 0,05-1,37% (profil 20Z). W profilach 17Z i 19Z wartości te kształtowały się odpowiednio: 0,06-0,43% oraz 0,04-0,33% (Tab. 39).

Podsumowując, rozkład zawartości węgla organicznego w poszczególnych poziomach badanych gleb technogenicznych był bardzo zróżnicowany, jednocześnie w pięciu profilach, w różnym wieku porekultuwacyjnym (profile nr 6Z, 8Z, 12Z, 17Z i 19Z), odnotowano tendencję spadkową ilości węgla organicznego wraz ze wzrostem głębokości w profilu, przy najwyższej jego zawartości w poziomach powierzchniowych. Wyjątek stanowił profil 5Z, gdzie największe ilości węgla organicznego oznaczono w poziomie Ca3 (70-100 cm).

Analizując zawartość węgla organicznego w korelacji z zastosowanym materiałem w rekultywacji (utwór piaszczysty lub gliniasty) stwierdzono znaczne jego zróżnicowanie (test statystyczny U Manna-Whitneya ($p = 0,0000$)) (Rys. 25). Utwory piaszczyste charakteryzowały się małą zawartością węgla (wartość mediany wyniosła 0,09%), rozpiętość uzyskanych wartości była niska: od 0,05-0,38% dla 25-75% wszystkich wyników. Gleby wytworzone na utworach gliniastych zawierały większe ilości węgla niż gleby wytworzone na materiałach piaszczystych (mediana wyniosła 0,48%), przy niewielkim zróżnicowaniu uzyskanych wyników od 0,24 do 0,75% (dla 25-75% wszystkich wyników).



Rys. 25. Rozkład wartości Corg w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

Analizując zawartość węgla organicznego w zależności od gatunku drzewa (sosna lub olsza) występującego na danej powierzchni jak również z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanów oraz poziomu genetycznego badanej gleby stwierdzono, iż w przypadku zarówno sosny jak i olszy zawartość węgla organicznego wzrastała z czasem, by osiągnąć najwyższe wartości omawianego parametru w glebach o przedziale wiekowym 16-25 lat, zarówno w poziomach powierzchniowych (0-10 cm), jak i głębiej zalegających (10-30 cm). Wartości odpowiadające kumulacji węgla organicznego w tej grupie wiekowej gleb są zdecydowanie wyższe dla gleb pod drzewostanem olchowym w porównaniu z drzewostanem sosnowym (wartość mediany równa 3,8% w poziomie 0-10 cm i 3,0% w poziomie 10-30 cm pod drzewostanem olchowym oraz 0,85% w poziomie 0-10 cm i 0,48% w poziomie 10-30 cm pod drzewostanem sosnowym). W przypadku gleb „pod sosną” wyniki uzyskane dla przedziału wiekowego 16-25 lat są bardzo zróżnicowane, mieszczą się w zakresie wartości 0,38-2,05% (dla 25-75% wyników) dla poziomu powierzchniowego (0-10 cm) oraz 0,18-0,75% (dla 25-75% wyników) dla poziomu głębszego (10-30 cm). Dla gleb „pod olszą” wartości omawianego parametru są bardziej skupione wokół wartości mediany.

W klasie wiekowej gleb powyżej 25 lat, zarówno „pod drzewostanem sosnowym” i „olchowym” stwierdzono około dwukrotny spadek zawartości węgla organicznego

w poziomach powierzchniowych w porównaniu z klasą wiekową 16-25 lat (wartość mediany 1,9% w poziomie 0-10 cm i 0,16% w poziomie 10-30 cm „pod drzewostanem olchowym” oraz 0,39% w poziomie 0-10 cm i 0,16% w poziomie 10-30 cm „pod drzewostanem sosnowym”). Zawartości węgla organicznego w powyższej klasie wiekowej dla powierzchniowego poziomu glebowego (0-10 cm) „pod drzewostanem olchowym” wykazała dużą rozpiętość w uzyskanych wartościach (0,08-3,1% dla 25-75% wyników). Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym Kruskala-Wallisa „dla sosny” 0-10 cm ($p = 0,0001$) (Rys. 26), „dla sosny” 10-30 cm ($p = 0,0005$) (Rys. 27), „dla olszy” 0-10 cm ($p = 0,007$) (Rys. 28), „dla olszy” 10-30 cm ($p = 0,0005$) (Rys. 29). Wyniki testu Kruskala-Wallisa, przy przyjętym poziomie istotności ($\alpha = 0,05$) wskazują na pojawienie się różnic istotnych statystycznie we wszystkich analizowanych przypadkach (Tab. 22-25).

Tab. 22. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=40)=26,25939$ $p=0,0001$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym

Zmienna Corg	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	0,2335	-		
16-25	$p<0,0001$	0,0218	-	
>25	0,0234	1,0000	0,3236	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie

Tab. 23. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=36)=17,75389$ $p=0,0005$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym

Zmienna Corg	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	0,6347	-		
16-25	0,0012	0,1904	-	
>25	0,6218	1,0000	0,0757	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie

Tab. 24. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=1)=12,11471$ $p=0,0070$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym

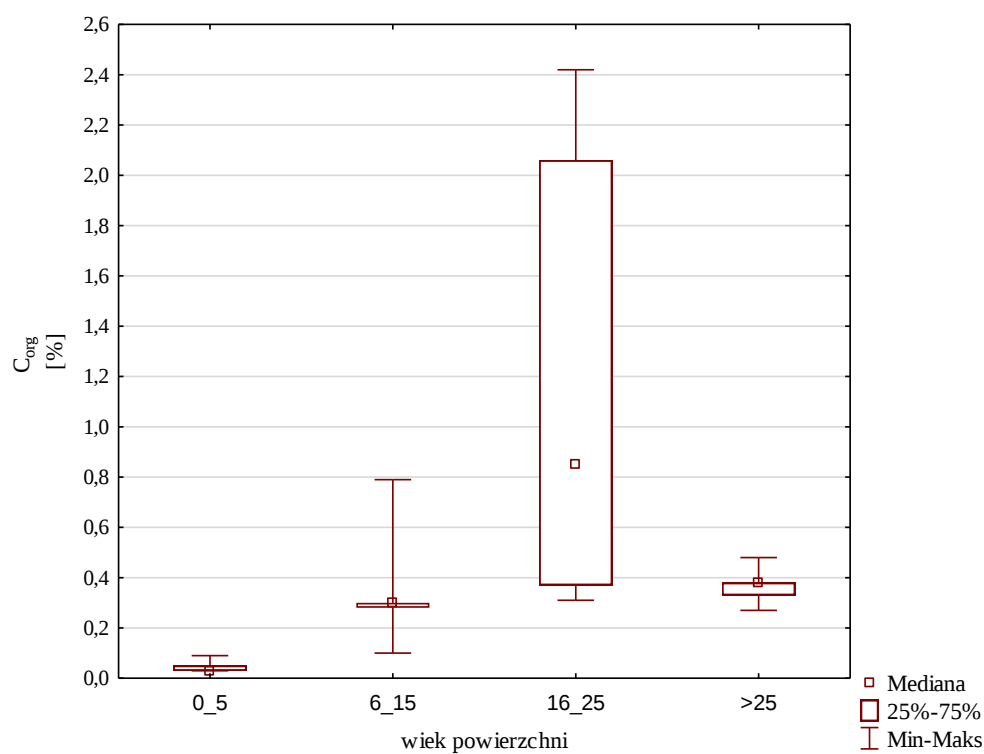
Zmienna Corg	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	1,0000	-		
16-25	0,2645	0,0043	-	
>25	1,0000	0,5729	0,3259	-

Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie

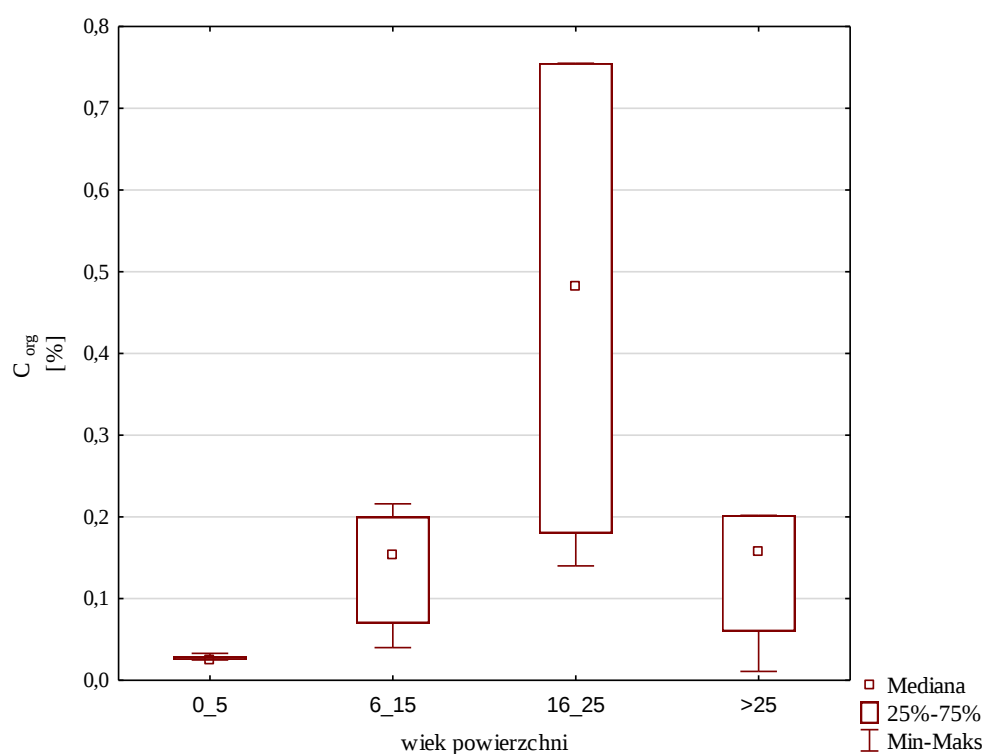
Tab. 25. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=21)=17,70419$ $p=0,0005$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym

Zmienna Corg	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	0,8716	-		
16-25	1,0000	0,0357	-	
>25	0,0668	1,0000	0,0006	-

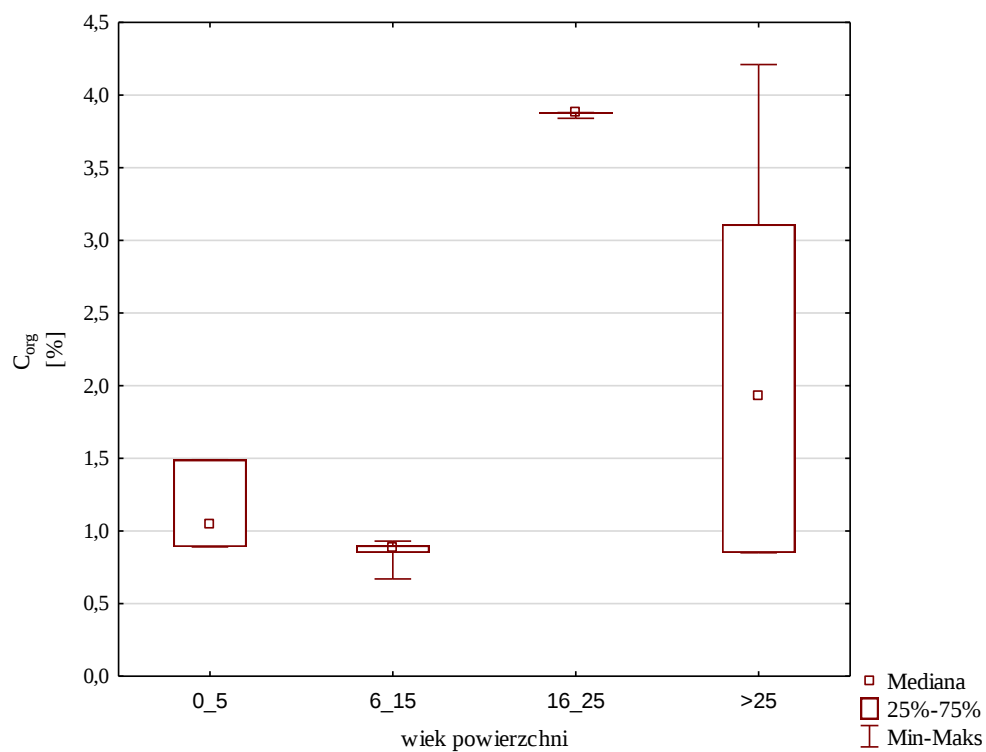
Kolorem czerwonym oznaczono wartości istotne statystycznie



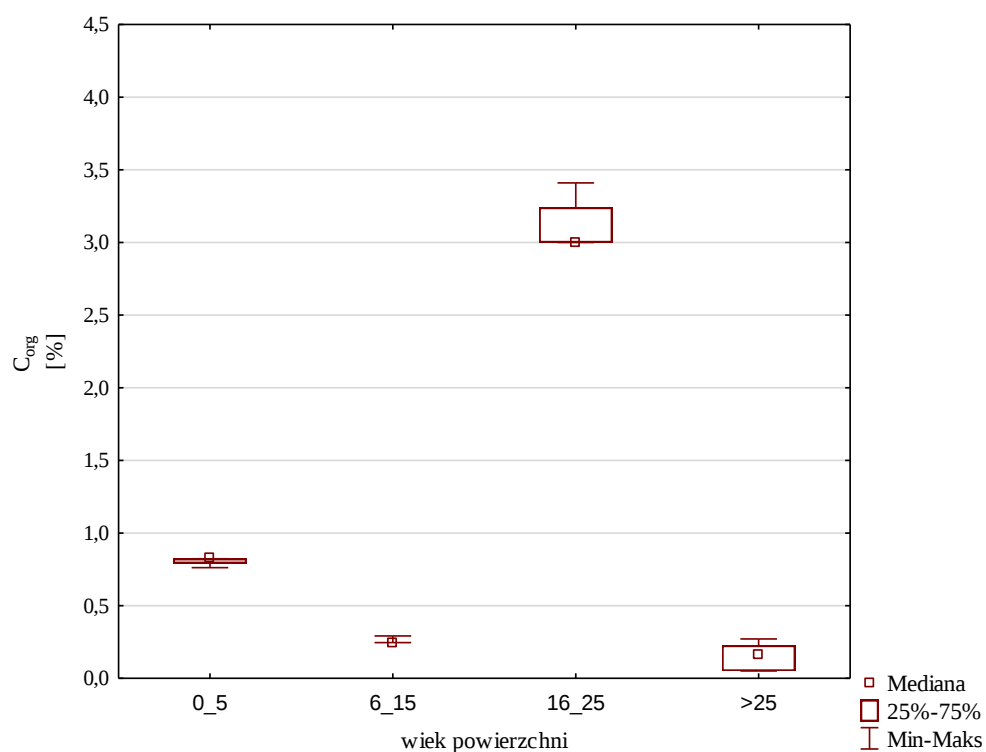
Rys. 26. Rozkład wartości Corg w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny



Rys. 27. Rozkład wartości Corg w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny zwyczajnej



Rys. 28. Rozkład wartości C_{org} w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej



Rys. 29. Rozkład wartości C_{org} w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej

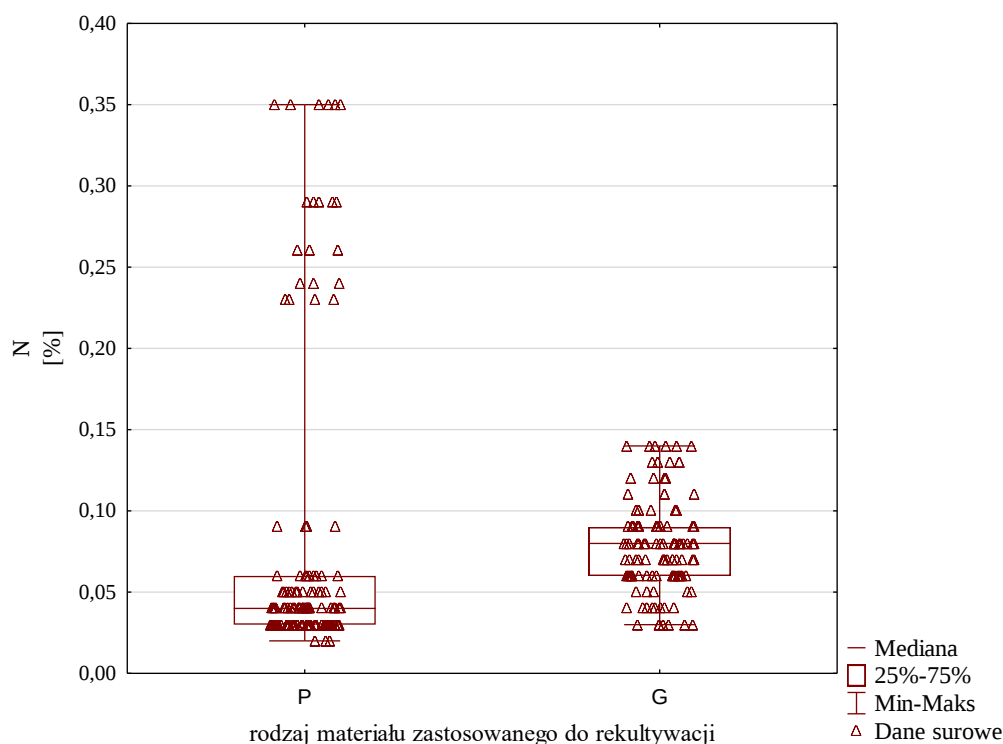
6.10. Azot ogólny

Zawartość azotu ogólnego w leśnych glebach referencyjnych (profile 1RL, 2RL oraz 3RL) kształtowała się w granicach 0,75% - 1,0% w poziomach organicznych, oraz od 0,02% do 0,28% w poziomach mineralnych. Najwyższą wartością zawartości azotu ogółem w poziomach mineralnych stwierdzono w poziomach próchnicznych: od 0,26 do 0,28% w profilach 1RL i 2RL, oraz 0,06% w profilu 3RL (Tab. 39). Zawartość azotu ogółem we wszystkich profilach gleb referencyjnych malała wraz ze wzrostem głębokości.

W referencyjnej glebie ornej zawartość azotu ogółem była wysoka w całym profilu, od 0,16% w poziomie B_w do 0,24% w poziomie powierzchniowym AB_w (Tab. 39).

Gleby poddane procesowi rekultywacji charakteryzowała niska zawartość azotu ogólnego: od 0,48 do 0,78% w poziomach organicznych oraz od 0,02 do 0,35% w poziomach mineralnych. W poziomach mineralnych ośmiu badanych profili stwierdzono zawartość azotu ogółem powyżej wartości 0,1%: profil 6Z – 0,12% (w poziomie 10-30 cm), profil 7Z – 0,13% (w poziomie 0-10 cm), profil 11Z – 0,14% (w poziomie 0-10 cm), profil 14Z – 0,11% (w poziomie 0-0,5 cm), profil 15Z – 0,11% (w poziomie 0-10 cm), profil 16Z – 0,13% (w poziomie 0-10 cm), profil 18 Z - 0,24% (0-20 cm). W profilu 10Z („gleba pod olszą”, przedział wiekowy 16-25 lat) stwierdzono podwyższoną zawartość azotu ogólnego w całym profilu w porównaniu z pozostałymi glebami: od 0,23 do 0,35%. Zawartość azotu w poziomach głębszych (oprócz profilu 10Z) była niższa niż w poziomach wierzchnich i utrzymywała się w poszczególnych profilach na tym samym poziomie jego zawartości (Tab. 39).

W zależności od zastosowanego w rekultywacji materiału (utwór piaszczysty lub gliniasty) zawartość azotu ogólnego w analizowanych glebach technogenicznych wykazywała znaczne zróżnicowanie pomiędzy utworami. Utwory piaszczyste charakteryzowała niewielka ilość azotu ogółem (mediana wyniosła 0,04%), przy rozpiętości uzyskanych wartości od 0,03-0,06% (dla 25-75% wszystkich wyników), oraz od 0,02% do 0,35% dla wartości skrajnych. Gleby wytworzone na utworach gliniastych zawierały większe ilości azotu niż gleby wytworzone na materiałach piaszczystych (mediana 0,08%) przy niewielkim zróżnicowaniu wartości od 0,06 do 0,09% (dla 25-75% wszystkich wyników) oraz od 0,03 do 0,14% dla wartości skrajnych. Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p = 0,0001$) (Rys. 30).



Rys. 30. Rozkład wartości N w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

Analizując zawartość azotu ogólnego w korelacji z gatunkiem drzewa na powierzchni (sosna lub olsza), wieku gleby oraz głębokości w profilu glebowym, stwierdzono, iż zawartość azotu ogólnego wzrasta z czasem osiągając najwyższe wartości analizowanego wskaźnika w przedziale wiekowym 16-25 lat, zarówno w poziomach powierzchniowych (0-10 cm), jak i głębiej zalegających (10-30 cm). Wartości omawianego parametru (w tej grupie wiekowej) są zdecydowanie wyższe dla gleb pod drzewostanem olchowym (wartość mediany 0,35% w poziomie 0-10 cm oraz 0,29% w poziomie 10-30 cm) w porównaniu z glebami „pod sosną” (wartość mediany 0,10% w poziomie 0-10 cm i 0,05% w poziomie 10-30 cm). Jednocześnie wartości zawartości azotu ogółem dla gleb „pod sosną” dla omawianego przedziału wiekowego (16-25 lat) wykazały zróżnicowanie ilościowe od 0,06 do 0,15% (dla 25-75% wyników) dla poziomu powierzchniowego (0-10) oraz 0,03-0,08% (dla 25-75% wyników) dla poziomu głębszego (10-30 cm). Dla gleb „pod olszą” wartości te są bardziej skupione wokół wartości mediany.

W klasie wiekowej powyżej 25 lat, zarówno dla gleb pod drzewostanem olchowym i sosnowym, nastąpił gwałtowny spadek zawartości azotu ogólnego w porównaniu z klasą wiekową 16-25 lat (wartość mediany 0,08% w poziomie 0-10 cm i 0,04% w poziomie 10-30 cm pod drzewostanem olchowym oraz 0,04% w poziomie 0-10 cm i 0,03% w poziomie

10-30 cm pod drzewostanem sosnowym). Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym Kruskala-Wallisa dla sosny 0-10 cm ($p = 0,0001$) (Rys. 31), dla sosny 10-30 cm ($p = 0,0030$) (Rys. 32), dla olszy 0-10 cm ($p = 0,0032$) (Rys. 33) dla olszy 10-30 cm ($p = 0,0002$) (Rys. 34) (Tab. 26-29).

Tab. 26. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=40) = 34,37838$ $p = 0,0001$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym

Zmienna N	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	0,0056	-		
16-25	<0,0001	0,6275	-	
>25	1,0000	0,2215	0,0005	-

Wartości istotne statystyczne zaznaczone są kolorem czerwonym

Tab. 27. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=36) = 13,92508$ $p = 0,0030$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym

Zmienna N	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	0,3963	-		
16-25	0,1653	1,000	-	
>25	1,0000	0,168	0,0249	-

Wartości istotne statystyczne zaznaczone są kolorem czerwonym

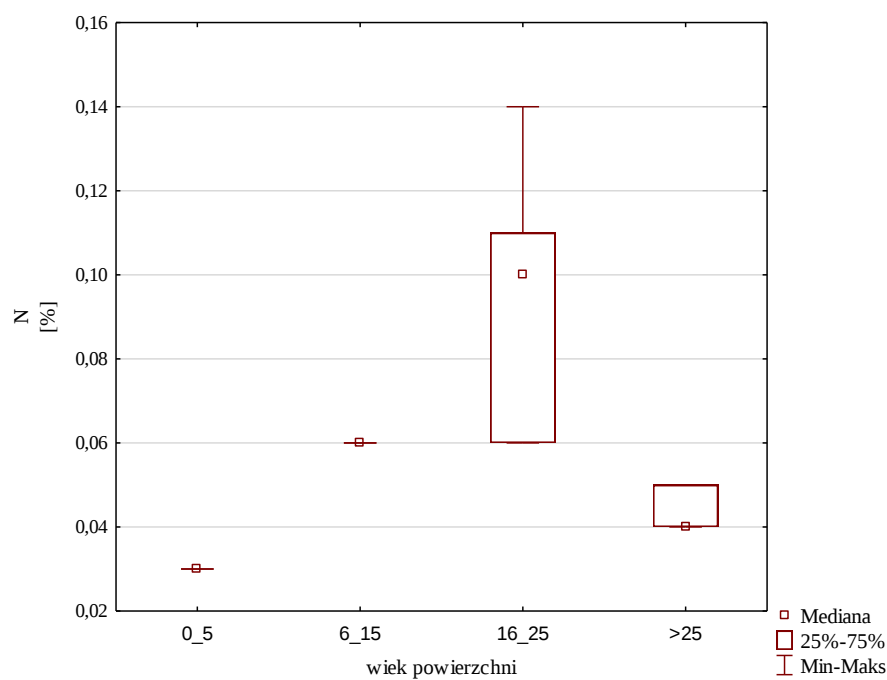
Tab. 28. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=21) = 13,81829$ $p = 0,0032$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym

Zmienna N	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	1,0000	-		
16-25	0,0263	0,1421	-	
>25	1,0000	1,0000	0,0080	-

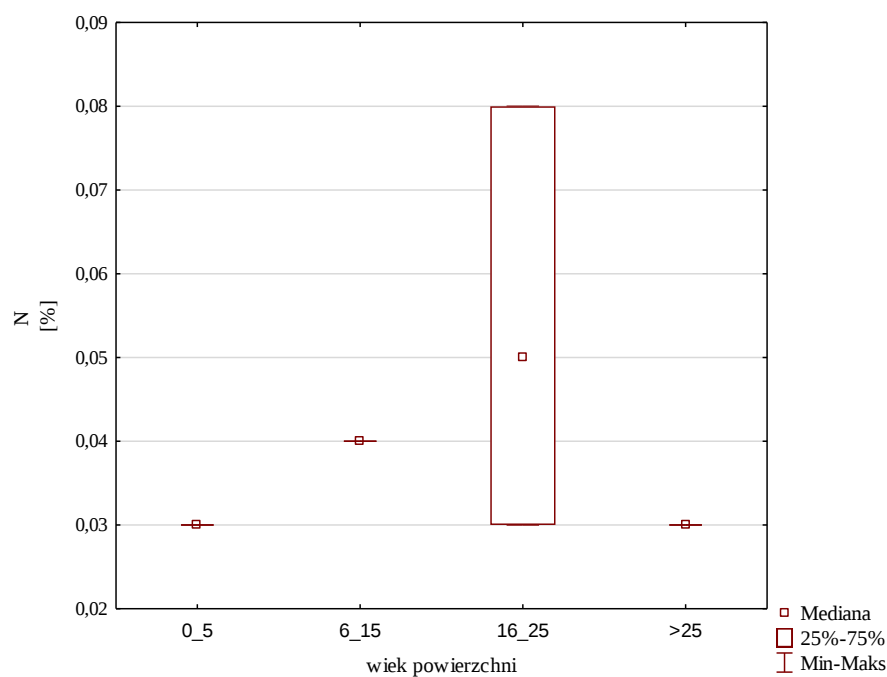
Wartości istotne statystyczne zaznaczone są kolorem czerwonym

Tab. 29. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=21) = 19,63190$ $p = 0,0002$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym

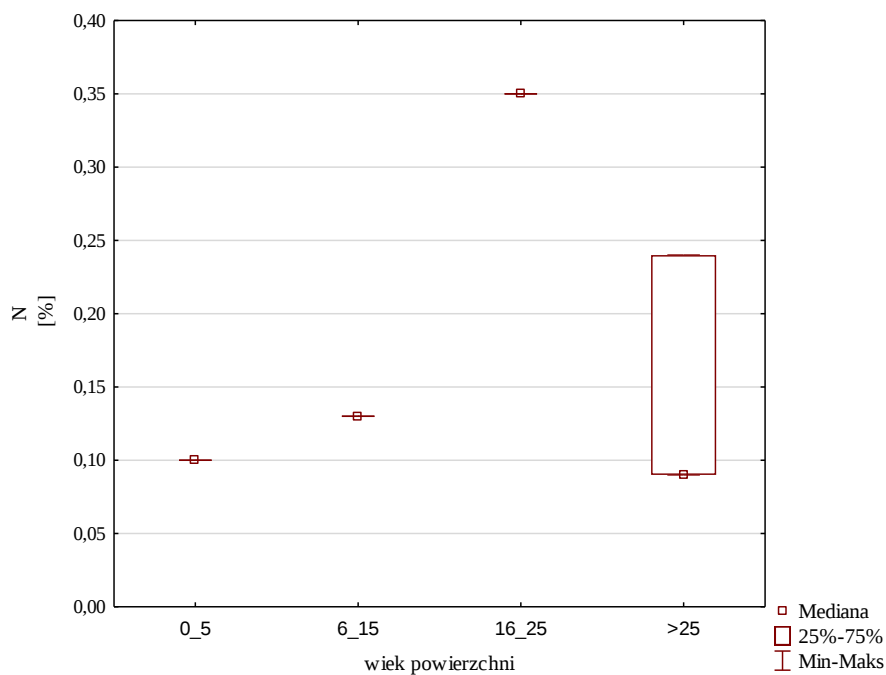
Zmienna N	Przedziały wieku powierzchni			
	0-5	6-15	16-25	>25
	[lata]			
0-5	-			
6-15	1,0000	-		
16-25	1,0000	0,0687	-	
>25	0,0361	0,5638	0,0002	-



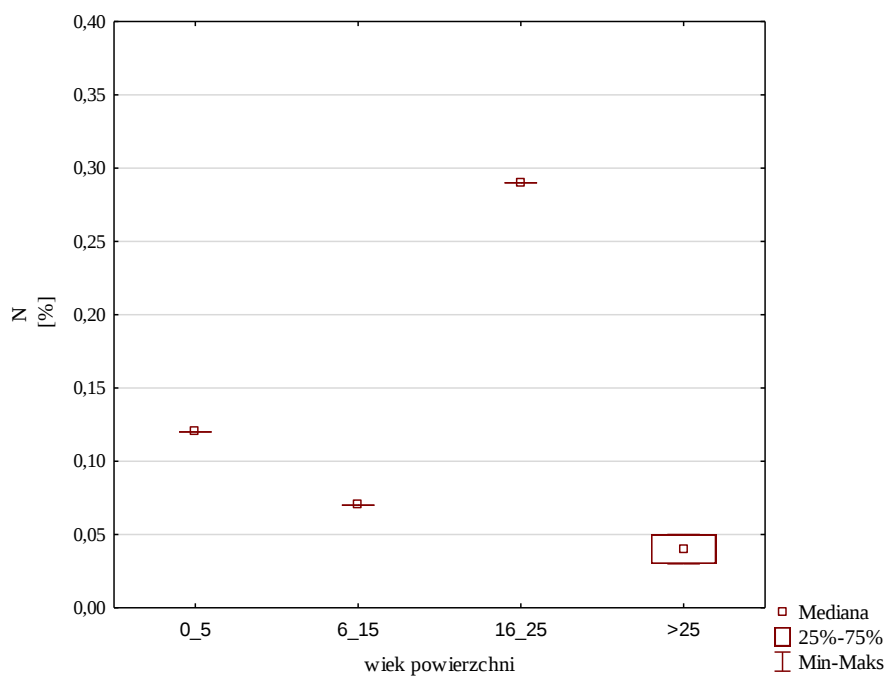
Rys. 31. Rozkład wartości azotu w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny zwyczajnej



Rys. 32. Rozkład wartości N w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny zwyczajnej



Rys. 33. Rozkład wartości azotu w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej



Rys. 34. Rozkład wartości azotu w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej

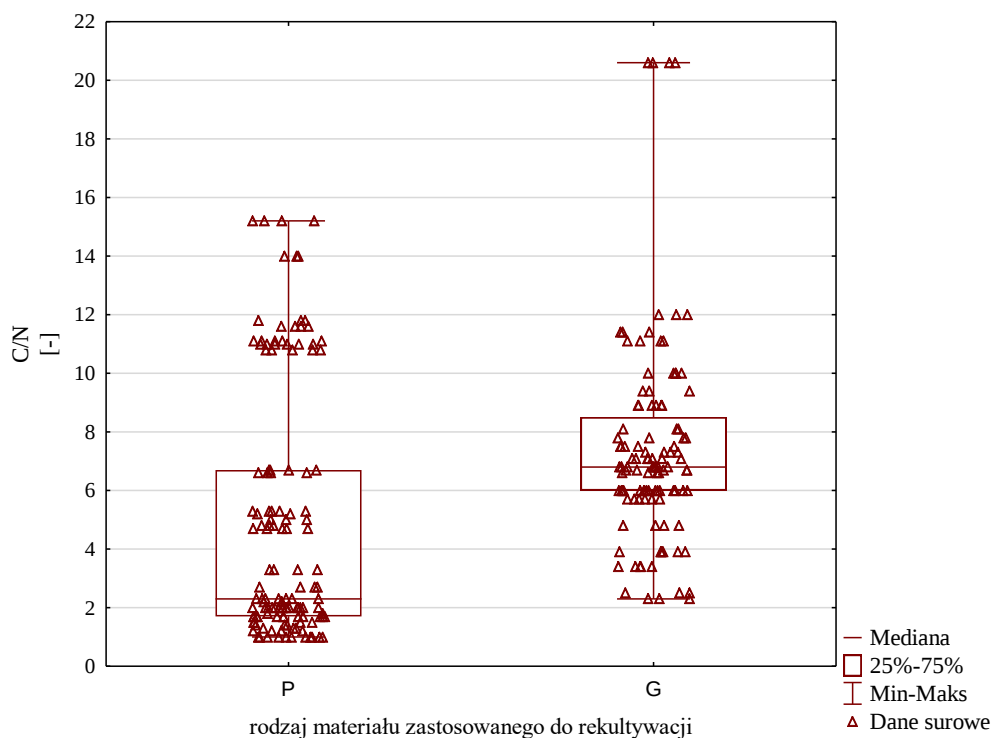
6.11. Stosunek C/N

Wśród referencyjnych gleb leśnych najszerszym stosunkiem C/N charakteryzowały się podpoziomy organiczne O_l profilu 2RL (48,1) oraz profilu 3RL (48,2). Węższy zakres wartości tego wskaźnika obliczono dla podpoziomów O_{fh} profilu 2RL (20,4) oraz profilu 1RL (23,8). Analizując poziomy mineralne referencyjnych gleb leśnych stwierdzono, iż najwyższe wartości stosunku C/N występowały w poziomach próchnicznych profilu 2RL (17,4), 1RL (15,2) oraz 3RL (5,8). W głębszych warstwach profili 1RL i 2RL stwierdzono tendencję spadkową wartości C/N od 17,4 do 2,2 w profilu 2RL oraz od 15,2 do 9,6 w profilu 1RL. W profilu 3RL wartość stosunku C/N w warstwach poniżej poziomu A (poniżej 5 cm) kształtowała się na poziomie od 1,0 do 2,2 (Tab. 39).

Dla referencyjnej gleby ornej wartości stosunku C/N osiągnęły wartość 9,3 w poziomie powierzchniowym AB_w (0-20 cm), 12,4 w poziomie AB_w (20-35 cm) oraz 7,3 w poziomie najniższym B_w.

W glebach technogenicznych, podobnie jak w glebach referencyjnych leśnych, wskaźnik C/N przyjmował najwyższe wartości w poziomie organicznym: podpoziom O_l od 49,9 (profil 15Z) do 83,3 (profil 19Z), w podpoziomie O_f od 54,3 (profil 11Z) do 102,9 (profil 14Z). Poziomy mineralne poszczególnych profili charakteryzowały się niskimi wartościami stosunku C/N, od 0,8 do 20,6. Najwyższe wartości C/N w poziomach mineralnych stwierdzono w poziomach powierzchniowych profili 6Z, 7Z, 8Z, 9Z, 11Z, 14Z, 15Z, 17Z i 19Z oraz w poziomach głębszych profili 5Z, 10Z, 12Z i 16Z. W glebach oznaczonych numerami 5Z i 10Z wskaźnik C/N był jednolity i przyjmował zbliżoną wartość we wszystkich warstwach danego profilu. W profilach 8Z i 17Z wartość stosunku C/N malała wraz ze wzrostem głębokości, w pozostałych analizowanych profilach wartości tego parametru zmieniały się skokowo (Tab. 39).

Analizując wartość stosunku C/N w zależności od zastosowanego w rekultywacji materiału (utwór piaszczysty lub gliniasty) stwierdzono zróżnicowanie w obliczonych wartościach C/N, co potwierdzono testem U Manna-Whitneya ($p = 0,0000$) (Rys. 35). Utwory piaszczyste charakteryzowały się wąskim stosunkiem C/N (wartość mediany wyniosła 2,3) i rozpiętością wyników w zakresie 1,7-6,7 (dla 25-75% wszystkich wyników). W przypadku utworów gliniastych wartość wskaźnika C/N osiągała wyższe wartości (wartość mediany 6,8). Zróżnicowanie dla 25-75% wszystkich wyników w stosunku do utworów piaszczystych było niższe 6,0-8,5. Powyższą zależność potwierdzono przeprowadzonym testem statystycznym U Manna-Whitneya ($p < 0,0001$).



Rys. 35. Rozkład wartości stosunku C/N obliczony dla prób mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)

6.12. Wskaźniki jakości gleb

W celach porównawczych dla wszystkich badanych gleb bez względu na kategorię użytkową obliczono: wskaźnik jakości gruntów wg Skawiny i Trafas, indeks trofizmu gleb leśnych ITGL oraz wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca} .

6.12.1. Wskaźnik jakości gruntów wg Skawiny i Trafas (liczba bonitacyjna)

Analiza wartości wskaźnika jakości gruntów (liczby bonitacyjnej) dla gleb referencyjnych wskazywała na bardzo duże zróżnicowanie omawianego parametru i mieściła się w przedziale wartości od 5,0 (profil nr 3RL) do 52,6 (profil 4RR), co pozwala na przyporządkowanie ich, pomimo przynależności do gleb naturalnych, jako dobrze ukształtowanych do następujących klas jakości gruntów: B (profil 4RR), C (profil 1RL) oraz D (profile 2RL i 3RL) (Tab. 30)

Wśród gleb powstałych w efekcie rekultywacji zróżnicowanie wartości wskaźnika jakości gruntów było wyższe w stosunku do gleb referencyjnych i mieściło się w przedziale

wartości od 3,4 (dla profilu 19Z) do 62,2 (dla profilu nr 10Z). Wartości wskaźnika jakości gruntów pozwoliły na zaklasyfikowanie gleb technogenicznych do:

- klasy B (grunty dobre, mniej przydatne do rekultywacji rolnej, natomiast bardzo przydatne do rekultywacji leśnej) - profil 6Z, 7Z, 10Z, 12Z i 14Z (stanowi to 31,25% analizowanych gleb technogenicznych),
- klasy C (grunty wadliwe, nieprzydatne do rekultywacji rolnej, a do rekultywacji leśnej dopiero po częściowym ulepszeniu) – profile 8Z, 11Z i 13Z (stanowi to 18,75% analizowanych gleb technogenicznych),
- klasy D (grunty złe, jałowe tj. nieproduktywne i nieprzydatne do rekultywacji, wymagające podstawowego użyznienia lub izolacji) - profile 5Z, 9Z, 15Z, 16Z, 17Z, 18Z, 19Z i 20Z (stanowi to 50% gleb technogenicznych) (Tab. 30).

Żadnej z analizowanych gleb, zarówno należących do gleb referencyjnych jak i technogenicznych, nie można było przypisać do klasy A – gruntów bardzo dobrych, przydatnych do rekultywacji rolnej (Tab. 30).

Tab. 30. Wartości wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas (liczba bonitacyjna) wraz z przypisaną klasą gruntu

Nr profilu	Liczba bonitacyjna	Klasa gruntu
10Z	62,1	B
12Z	61,6	B
7Z	58,3	B
6Z	57,1	B
4RR	52,6	B
14Z	51,7	B
13Z	49,0	C
1RL	45,0	C
11Z	39,2	C
8Z	24,1	C
18Z	20,7	D
16Z	17,0	D
2RL	12,8	D
5Z	9,3	D
15Z	9,2	D

9Z	5,9	D
20Z	5,8	D
3RL	4,9	D
17Z	4,1	D
19Z	3,4	D

6.12.2. Indeks trofizmu gleb leśnych (ITGL)

Wartości indeksu trofizmu referencyjnych gleb leśnych mieściły się w zakresie wartości od 23,6 (profil 3RL) do 36,0 (profil 1RL). Powyższe wskazuje, iż profile 1RL i 2RL są glebami eutroficznymi charakterystycznymi dla typu siedliskowego lasu (L), profil 3RL glebą mezotroficzną w typie siedliskowym lasu mieszanego (LM) (Tab. 31).

Gleba oznaczona nr 4RR jest glebą orną. Dla celów porównawczych wyznaczono jej indeks troficzności, który wskazuje, iż jest to gleba hipertroficzna o wysokim indeksie troficznym – 42,8 z sugerowanym typem siedliskowym – las (L) (Tab. 31).

Gleby technogeniczne charakteryzowały się wysokimi wartościami indeksu trofizmu i nieco wyższym jego zróżnicowaniem w porównaniu z glebami referencyjnymi: od 20,4 (dla profilu 19Z) do 43,0 (dla profilu nr 13Z). Pozwoliło to na ich zaliczenie do gleb o wysokim trofizmie: 44% gleb eutroficznych, 37% gleb mezotroficznych i 19% gleb hipertroficznych. Nie stwierdzono wśród gleb technogenicznych gleb dystroficznych i oligotroficznych (Tab. 33). Sugerowanym typem siedliskowym lasu dla profili: 6Z, 7Z, 8Z, 10Z, 11Z, 12Z, 13Z, 14Z, 16Z i 18Z jest las (L), natomiast dla profili nr 5Z, 9Z, 15Z, 17Z, 19Z i 20Z - las mieszany (LM) (Tab. 31).

Tab. 31. Wartości indeksu trofizmu gleb leśnych (ITGL) wraz z przyporządkowaniem troficzności gleb oraz wskazaniem potencjalnego typu siedliskowego lasu

Nr profilu	wartość ITGL	Trofizm gleb	Potencjalny typ siedliskowy lasu
13Z	43,0	hipertroficzna	L
4RR	42,8	hipertroficzna	L
10Z	42,3	hipertroficzna	L
12Z	36,9	hipertroficzna	L
1RL	36,0	eutroficzna	L
6Z	36,0	eutroficzna	L
11Z	35,8	eutroficzna	L
7Z	35,2	eutroficzna	L
8Z	33,8	eutroficzna	L

16Z	33,2	eutroficzna	L
14Z	33,0	eutroficzna	L
18Z	32,8	eutroficzna	L
2RL	29,0	eutroficzna	L
15Z	25,8	mezotroficzna	LM
20Z	25,3	mezotroficzna	LM
5Z	24,9	mezotroficzna	LM
9Z	23,9	mezotroficzna	LM
3RL	23,6	mezotroficzna	LM
17Z	20,7	mezotroficzna	LM
19Z	20,4	mezotroficzna	LM

6.12.3. Wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca}

Analizując wartości wskaźnika jakości gleb WGP_{Ca} otrzymanego dla gleb referencyjnych stwierdzono znaczną jego zmienność. Najniższą wartość tego parametru stwierdzono w glebie o numerze profilu 3RL (13,9), a najwyższą w glebie ornej o numerze profilu 4RR (59,8), jest to najprawdopodobniej efektem systematycznego nawożenia i przynależności do cięższej grupy agrotechnicznej. W glebach leśnych - profil 1RL oraz 2RL uzyskano wyniki znacznie różniące się od siebie odpowiednio: 27,5 (profil 2RL) i 49,1 (profil 1RL). Powyższe koreluje ze składem granulometrycznym tych gleb: profil 2RL – utwór piaszczysty, profil 1RL utwór gliniasty. (Tab. 32).

Zróznicowanie wartości wskaźnika WGP_{Ca} badanych gleb technogenicznych jest znacznie wyższe niż gleb referencyjnych i wynosi od 16,3 (dla profilu 20Z, należącego do najstarszych gleb technogenicznych) do 70,0 (dla profilu nr 10Z) (Tab. 32).

Wyższe wartości wskaźnika ($> 50,0$) kwalifikujące badane gleby do wysokiego stopnia udatności rekultywacji przyjmowały gleby charakteryzujące się cięższym składem granulometrycznym i/lub posiadające warstwę próchniczną pochodzącą z materiału zwałowanego: profile 6Z, 7Z, 10Z, 12Z (25% wszystkich gleb powstałych po rekultywacji).

Średni stopień udatności rekultywacji (zakres wskaźnika WGP_{Ca} 21-50) reprezentuje siedem profili: 8Z, 11Z, 13Z, 14Z, 15Z, 16Z, 18Z (43,75%, wszystkich analizowanych gleb technogenicznych). Natomiast profile: 5Z, 9Z, 17Z, 19Z oraz 20Z (31,25% badanych gleb) należą do gleb o niewielkim stopniu udatności rekultywacji (zakres wskaźnika $WGP_{Ca} < 21$), są to gleby piaszczyste o słabych właściwościach sorpcyjnych i w większości o małej zdolności akumulacji materii organicznej (Tab. 32 i 33).

Wartości wskaźnika jakości WGP_{Ca} wskazują, iż jedynie 31,25% analizowanych gleb wymagałoby zastosowania dodatkowych zabiegów w trakcie rekultywacji. Mając na uwadze możliwości techniczne zakładu wydobywczego na terenie, którego prowadzono badania oraz budowę warstwy nadkładu sugeruje się w przypadku stosowania podłoży piaszczystych wymieszanie ich z materiałem o większym udziale frakcji ilowej, np. z podłożem gliniastym.

W celu ustalenia podobieństwa wskaźnika jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych (WGP_{Ca}) do wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas oraz indeksu trofizmu gleb leśnych (ITGL) przeprowadzono analizę skupień uwzględniając poszczególne przedziały wiekowe badanych powierzchni. Dla pierwszych trzech przedziałów wiekowych: 0-5 lat, 6-15 lat oraz 16-25 lat stwierdzono większe podobieństwo wskaźnika (WGP_{Ca}) do wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas natomiast dla powierzchni najstarszych (> 25 lat) wskaźnik ten był bliższy indeksowi trofizmu gleb leśnych (ITGL) (Rys. 36-39). Świadczy to o postępie procesu glebotwórczego jaki zachodzi na zrekultywowanych gruntach po eksploatacji surowców węglanowych. Powyższe wskazuje, iż wraz z upływem czasu przedmiotowe, gleby powstałe po rekultywacji terenów pokopalnianych upodabniają się pod względem ich właściwości do naturalnych gleb leśnych.

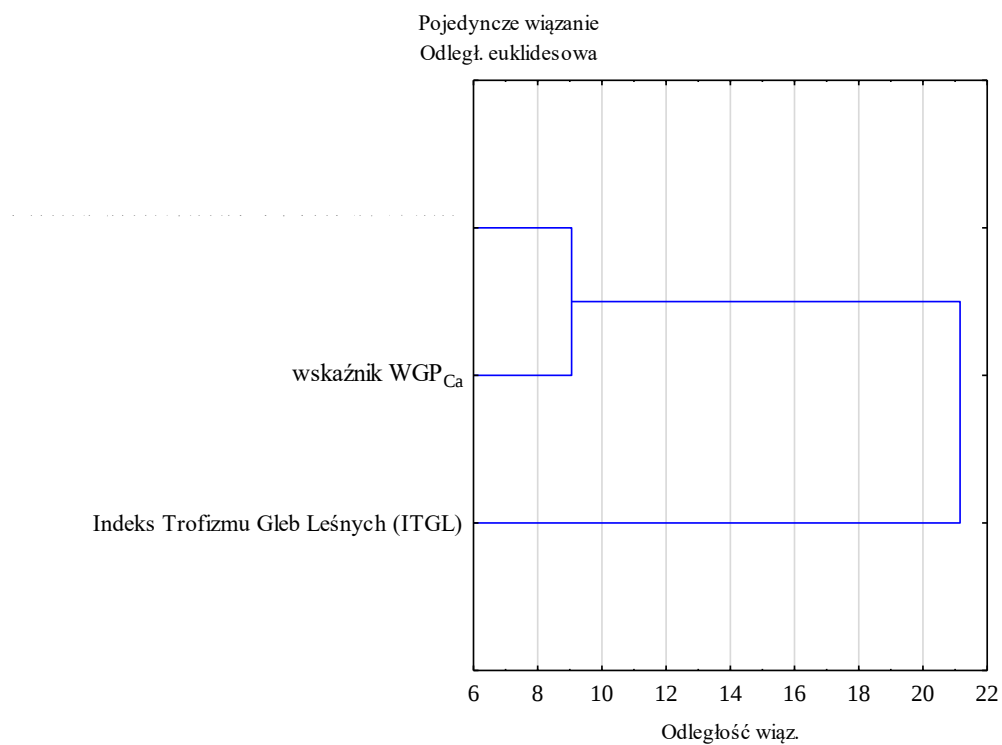
Tab. 32. Obliczone wartości wskaźnika WGP_{Ca} dla badanych gleb

Nr profilu	Wartość WGP_{Ca}
10Z	70,0
4RR	59,8
12Z	57,1
6Z	56,1
7Z	55,1
1RL	49,1
14Z	46,0
13Z	44,0
11Z	35,7
8Z	29,1
2RL	27,5
18Z	26,5
16Z	25,9
15Z	24,9

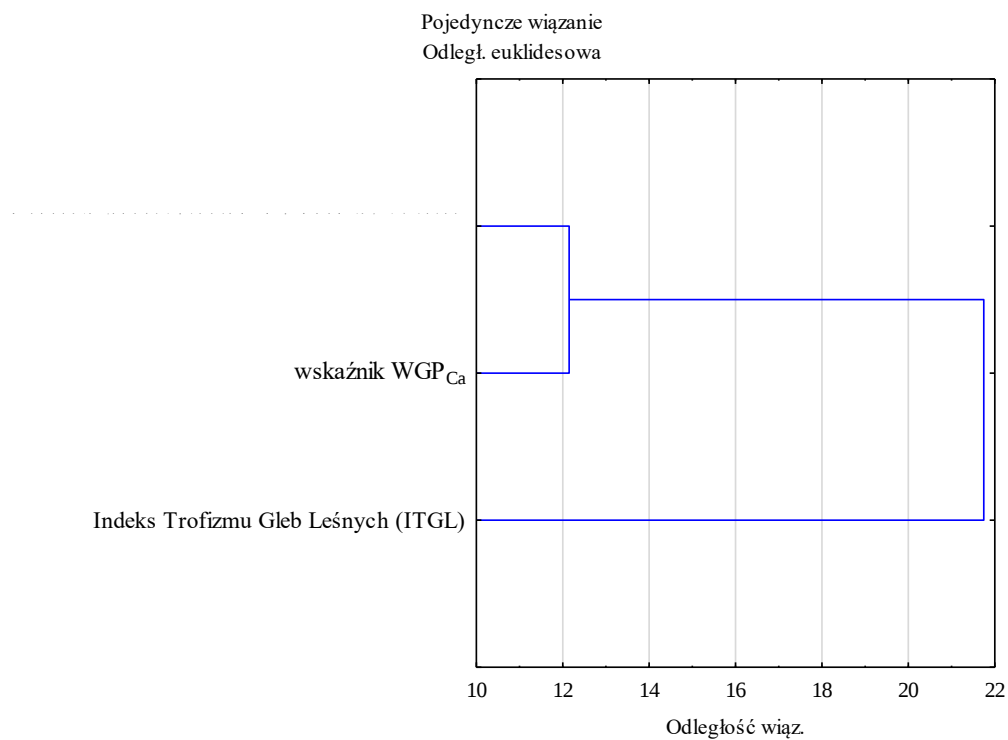
19Z	19,8
5Z	18,3
17Z	17,1
9Z	16,5
20Z	16,3
3RL	13,9

Tab. 33. Klasyfikacja badanych gleb technogenicznych w aspekcie udatności rekultywacji na podstawie obliczonego wskaźnika WGP_{Ca}

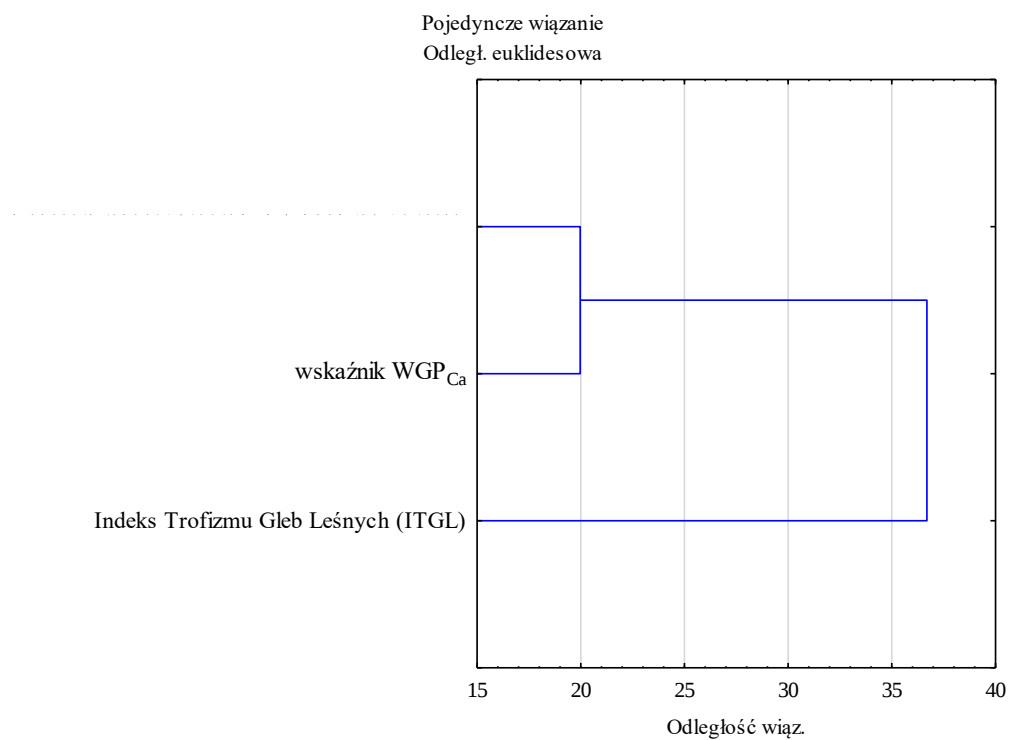
Zakres wartości wskaźnika WGP_{Ca}	Nr profilu	Udatność rekultywacji
0-20	5Z, 9Z, 17Z, 19Z, 20Z	Znikoma (niewielki stopień udatności)
21-50	8Z, 11Z, 13Z, 14Z, 15Z, 16Z, 18Z	Zadawalająca (średni stopień udatności)
>50	6Z, 7Z, 10Z, 12Z	Optymalna (wysoki stopień udatności)



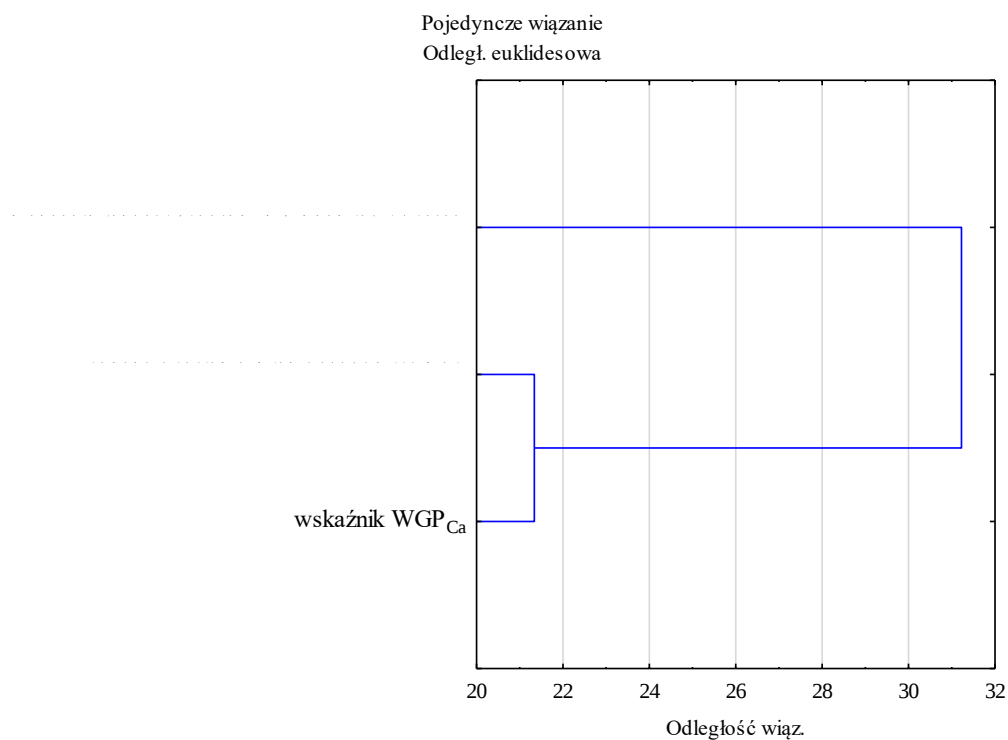
Rys. 36. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu 0-5 lat



Rys. 37. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu 6-15 lat



Rys. 38. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu 16-25 lat



Rys. 39. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu powyżej 25 lat

7. Dyskusja wyników

Rekultywacja wyrobisk poeksploatacyjnych górnictwa odkrywkowego to proces przywracania terenów zdegradowanych do użytku po zakończeniu działalności górniczej w celu zminimalizowania negatywnego wpływu na środowisko. Zastosowane w rekultywacji badanego obiektu podłoża oraz prawidłowe techniki jego aplikacji, dobór odpowiedniej roślinności oraz czas wpłynęły na przebieg procesów glebotwórczych oraz ukształtowanie się charakterystycznych cech nowo powstających gleb – gleb antropogenicznych.

Jedną z cech świadczących o rozwijającym się procesie glebotwórczym jest obecność i rozwój poziomów próchnicznych zarówno tych stanowiących ekto-, jak też endopróchnicę. W analizowanych glebach stwierdzono, iż poziom organiczny kształtował się po upływie piętnastu lat od zakończenia rekultywacji pod drzewostanem sosnowym lub mieszanym.

Nietrzeba-Marcinonis (2007), analizując procesy pedogenetyczne w glebach technogenicznych, stwierdziła obecność ściółki po 10 latach od zakończenia rekultywacji na terenie kopalni węgla brunatnego pod drzewostanem mieszanym, a Kowalik i Wójcik (2005) po 10 latach na spągu wyrobiska kopalni piasku pod gatunkami iglastymi. Całkowitym brakiem ektopróchnicy na analizowanym obiekcie, bez względu na wiek powierzchni, charakteryzowały się gleby pod drzewostanem olchowym. Związane jest to z szybszym rozkładem liści olchowych w porównaniu z igłami sosnowymi, zarówno w drzewostanach naturalnych (Włoczewski 1968), jak i na terenach rekultywowanych (Horodecki i Jagodziński 2017). Liście olszy czarnej charakteryzują się wysoką zawartością azotu, który stymuluje rozkład celulozy i substancji rozpuszczalnych przyczyniając się w pierwszej fazie rozkładu do szybszej mineralizacji materii organicznej ograniczając jego możliwości kumulacji w poziomie ektopróchnicy (Berg i Matzner 1997, Prescott 2005). Inni autorzy (Włoczewski 1968, Reich i in. 2005) podkreślają także fakt, iż szybszy rozkład ściółek olchowych może być powodowany wzbogaceniem wierzchnich warstw glebowych w wapń (na badanym terenie pochodzący z emisji zakładu), co sprzyja rozkładowi materii organicznej.

Na innych obiektach rekultywowanych z zastosowaniem olszy czarnej nie odnotowano braku ściółki pod rozwiniętym drzewostanem olchowym zwłaszcza w zaawansowanym wieku po rekultywacji (Sourkova 2005, Wójcik i Krzaklewski 2007, 2009).

Mięszość poszczególnych poziomów organicznych nie wykazuje zróżnicowania w stosunku do wieku powierzchni i jest zdecydowanie niższa w porównaniu z poziomami wykształconymi pod drzewostanem naturalnym gleb referencyjnych.

Obecność poziomu próchnicznego podobnie jak w przypadku poziomu organicznego odnotowano na powierzchniach rekultywowanych co najmniej 15 letnich. Jego mięszość

wykazała zróżnicowanie pomiędzy obiektami, bez istotnej zależności z wiekiem i rodzajem drzewostanu. Jak wskazują badania Orzechowskiego i innych (2008) bardzo często jest to powodowane nierównomiernym rozproszaniem warstwy próchnicznej z nadkładu zastosowanego w pracach rekultywacyjnych, na zwałowiskach i wyrobiskach powstałych po górnictwie odkrywkowym. W analizowanych glebach stwierdzono powyższy fakt wykazując większą miąższość warstwy próchnicznej na niektórych glebach technogenicznych w porównaniu z glebami referencyjnymi.

Rodzaj zastosowanego materiału rekultywacyjnego - w analizowanym przypadku są to utwory piaszczyste lub gliniaste pochodzące z gleb tworzących nadkład złoża - oraz technika jego rozmieszczania, istotnie wpływają na właściwości skały macierzystej, z której rozwijają się nowe gleby. Na obszarach, gdzie wykorzystano nadkład piaszczysty, tworzą się gleby o dominującym udziale frakcji piasku, przy jednocześnie niskiej zawartości części szkieletowych, a także frakcji pyłowej i ilastej. Odmierna sytuacja występuje tam, gdzie zastosowano nadkład gliniasty – gleby rozwijające się na takim materiale cechują się wyższą zawartością wszystkich wspomnianych frakcji, co sprzyja tworzeniu korzystniejszych warunków wodno-powietrznych oraz większej pojemności sorpcyjnej. Badany obszar jest zróżnicowany pod względem składu granulometrycznego, zarówno w aspekcie powierzchniowym, jak również profilowym. Taka zmienność jest charakterystyczna dla gruntów pogórnich, które są słabo zhomogenizowane, co uwarunkowane jest stosowaną technologią robót rekultywacyjnych, nieselektywnym zwałowaniem nadkładu, a także różnym pochodzeniem litologicznym materiału użytego w rekultywacji (Gilewska i Otremba 2004, 2007, Stachowski i in. 2005, Otremba 2011). Analiza składu granulometrycznego pozwoliła na charakterystykę uziarnienia każdego poziomu nowo tworzącej się gleby technogenicznej. Wykazano ich zróżnicowanie w obrębie grupy granulometrycznej piasku (podgrupy granulometryczne: piasek luźny, piasek słabogliniasty, piasek gliniasty) oraz grupy granulometrycznej glin (podgrupy granulometryczne: glina piaszczysta, glina lekka, glina piaszczysto-ilasta, glina zwykła, glina ilasta) i iłu (podgrupy granulometryczne: ił piaszczysty oraz ił zwykły). Największą różnorodność składu w przekroju pionowym wykazały gleby tworzące się na utworach gliniastych. Jednocześnie stwierdzono duże podobieństwo w składzie granulometrycznym gleb technogenicznych do gleb referencyjnych zarówno leśnych jak też gruntu ornego.

Głównymi czynnikami wpływającymi na kształtowanie się odczynu gleb są właściwości skały macierzystej, w tym jej skład mineralogiczny i chemiczny, a także obecność i typ roślinności. Roślinność, zwłaszcza drzewiasta, oddziałuje na odczyn gleb zarówno poprzez

swoje procesy życiowe, jak i poprzez dostarczanie martwej materii organicznej. Ta ostatnia, ulegając rozkładowi z udziałem mikroorganizmów glebowych przyczynia się do zakwaszania powierzchniowych warstw gleby. Istotne znaczenie ma również gatunek dominującego drzewa – różne gatunki w odmienny sposób wpływają na intensywność procesów zakwaszania (Spasić i in. 2024). W przypadku gleb tworzonych na gruntach pokopalnianych - podobnie jak w przypadku gleb inicjalnych – zasadniczą rolę w kształtowaniu odczynu w początkowym etapie pedogenezy odgrywa rodzaj podłoża tworzącego glebę, a tym samym materiał zastosowany w rekultywacji. Analizowane gleby charakteryzował zróżnicowany odczyn od pH 4,85 w poziomach organicznych do pH 8,60 w poziomach mineralnych (pH H₂O). Utwory piaszczyste charakteryzujące się niską zawartością węglanu wapnia (w granicach około 0-5%) sprzyjały powstawaniu gleb o zmiennym, lecz ogólnie niskim pH. Materiał gliniasty, zawierający do 74% CaCO₃ i o znacznym udziale rumoszu wapiennego, prowadził do uformowania się gleb o wyraźnie zasadowym, stabilnym odczynie. Gleby rozwijające się na podłożach węglanowych na ogół charakteryzują się wyższym pH w początkowym etapie ich formowania (Licznar 1976, Kusza i Strzyszc 2005, Kusza i Gołuchowska 2009, Kusza i in. 2016).

Na analizowanych powierzchniach dopiero po upływie około 15 lat obserwuje się wyraźny wpływ roślinności na odczyn gleb, przejawiający się obniżeniem pH w powierzchniowych poziomach O i A, co nasila się wraz z wiekiem drzewostanu. W poziomie próchnicznym profili około 30 letnich stwierdzono, że niższe pH występuje pod drzewostanem olchowym w porównaniu z sosną zwyczajną. Podobne wyniki uzyskali Chodak i Niklińska (2010) oraz Woś i Pietrzykowski (2019) w badaniach gleb technogenicznych po rekultywacji wyrobisk po eksploatacji piasku. Z kolei Rawlik i in. (2021) nie odnotowali istotnych różnic w odczynie pod olszą, brzozą oraz sosną na zwałowisku kopalni węgla brunatnego. Niższe pH w glebach pod olszą tłumaczone jest wysokim wzbogaceniem ich w azot i wzmożonym procesie nitrifikacji, w którym powstają jony H⁺ zakwaszające środowisko glebowe (Brożek i Wanic 1998, Woś i Pietrzykowski 2019 za Cole i in. 1990). Oprócz wieku powierzchni i składu gatunkowego drzewostanu, na odczyn badanych gleb wpływa również działalność zakładu wydobywczego. Stałe prace eksploatacyjne, w tym transport surowca, powodują emisję pyłów wapiennych, które wzbogacają powierzchniowe warstwy gleby w węglan wapnia, przeciwdziałając w ten sposób ich zakwaszaniu. Zatem źródłem CaCO₃ w badanych glebach jest zarówno materiał zwałowy użyty jako podłoże, jak i wtórna emisja pyłów. Przykładem może być gleba referencyjna oznaczona numerem 1RL, utworzona na podłożu gliniastym z dużym udziałem rumoszu wapiennego, zlokalizowana w bezpośrednim

sąsiedztwie zakładu wydobywczego. Jej odczyn w poziomie próchnicznym kształtował się w zakresie pH od 6,63 do 6,66 z jednoczesnym wzrostem wartości pH w głąb profilu. W poziomie ektopróchnicy nie wykazano oznak zakwaszenia, wartość pH kształtowała się na poziomie 7,20 przy 7% zawartości węglanu wapnia.

Zawartość węglanu wapnia w badanych glebach technogenicznych wykazuje zróżnicowanie profilowe, jak również zmienność w czasie. Najwyższą zawartość węglanu wapnia stwierdzono w glebach gliniastych na powierzchniach 6-15 letnich oraz w glebach piaszczystych na powierzchniach 16-25 letnich. Jest to prawdopodobnie związane ze stosowaniem różnych, nieraz słabo zhomogenizowanych partii materiału zwałowego, w poszczególnych okresach prowadzenia prac technicznych.

Zdolność gleby do magazynowania jonów określana poprzez pojemność wymiany kationów (T) jest ważnym kryterium w ocenie jakości gleby, ponieważ informuje o możliwościach zaopatrywania roślin w składniki pokarmowe. Na pojemność sorpcyjną ma wpływ m.in. skład granulometryczny gleb oraz zawartość próchnicy. W glebach w początkowym stadium rozwoju, w jakim są obecnie gleby tworzone na gruntach pokopalnianych to materiał zwałowy odgrywa zasadniczą rolę w kształtowaniu zdolności sorpcyjnych analizowanych gleb. Gleby powstałe na zwałowisku po eksploatacji surowców węglanowych charakteryzowały się na ogół wysokimi wartościami pojemności wymiany kationów (T) w przypadku gleb tworzących się na utworach o wyższej zawartości frakcji drobnych – pyłowej i iłowej – materiałach gliniastych. Gleby kształtujące się na podłożach piaszczystych wykazywały bardzo niską pojemność sorpcyjną, co wynika z małej powierzchni właściwej i ograniczonej zdolności zatrzymywania kationów. W starszych profilach glebowych zaobserwowano wzrost pojemności sorpcyjnej, co związane jest z akumulacją materii organicznej i powstawaniem poziomu próchnicznego, który z czasem zwiększa zdolność gleby do zatrzymywania składników odżywczych. W naturalnych glebach leśnych, stanowiących gleby referencyjne pojemność wymiany jonowej była wysoka w poziomach bogatych we frakcję iłu, natomiast niska na glebach piaszczystych. Tutaj obecność poziomu próchnicznego w znaczący sposób zwiększała zdolności sorpcyjne gleb. Niskie wartości pojemności wymiany kationów, charakterystyczne dla materiałów piaszczystych stwierdził także Pietrzykowski (2006) prowadząc badania na rekultywowanym wyrobisku piasku. Tereny po eksploatacji węgla brunatnego mogą charakteryzować się większym zróżnicowaniem pojemności sorpcyjnej, ze względu na różnorodne podłoża stosowane w rekultywacji, od piasków, przez gliny do iłów, co wykazali Gilewska i Otremba (2007) prowadząc badania na gruntach KWB „Konin”.

Dominującymi kationami w poziomach organicznych badanych gleb były kationy o charakterze kwasowym H^+ i Al^{3+} . Jedynie na trzech powierzchniach (11Z, 15Z oraz 16Z) stwierdzono odmienny ilościowy układ kationów, gdzie dominującym kationem był Ca^{2+} o dwukrotnie wyższej zawartości niż w poziomie organicznym pozostałych profili. W glebach oznaczonych numerami 11Z, 15Z oraz 16Z stwierdzono także wyższe zawartości jonów Mg^{2+} , K^+ i Na^+ . Powyższe profile wykazały także podwyższoną zawartość węglanu wapnia oraz wyższe pH w poziomie O. Podobną zależność stwierdzono dla poziomu organicznego gleby referencyjnej leśnej znajdujące się pod wpływem imisji pyłów wapiennych (dominacja jonu Ca^{2+} , bez zwiększenia zawartości jonów Mg^{2+} , K^+ i Na^+). W analizowanych poziomach mineralnych gleb technogenicznych zawsze dominującym kationem był jon Ca^{2+} . Jonami o najmniejszym udziale w kompleksie sorpcyjnym gleb o składzie granulometrycznym glin był jon sodu Na^+ , a w przypadku piasków jon potasowy K^+ . W referencyjnych glebach leśnych w poziomach mineralnych dominował jon Ca^{2+} , a jonem o najmniejszym udziale w kompleksie sorpcyjnym był jon potasowy K^+ niezależnie od składu granulometrycznego. Wyjątek stanowił, poziom próchniczny, gdzie jonem o najmniejszym udziale był jon Na^+ . W ornej glebie referencyjnej także kationem dominującym był jon Ca^{2+} , kolejno jon K^+ , następnie Mg^{2+} i Na^+ , co najprawdopodobniej jest związane ze stosowanymi zabiegami uprawowymi. W zależności od składu granulometrycznego odmiennie kształtowały się zawartości poszczególnych jonów. Zdecydowanie większe ilości jonów wapnia odnotowano w materiale gliniastym w porównaniu z utworami piaszczystymi. Natomiast utwory piaszczyste charakteryzowały się wyższą zawartością jonów H^+ i Al^{3+} oraz Mg^{2+} i Na^+ . Podobne zależności odnotowano również w referencyjnych glebach leśnych.

Badane gleby wykazały wysoką zasobność składników przyswajalnych (P, K, Mg) w poziomach organicznych. Poziomy mineralne charakteryzowały się niską ich zawartością co wykazano również na glebach innych zrekultywowanych obiektów po wydobywaniu surowców wapiennych (Kusza 2006, 2015). Podobną tendencję odnotowano w referencyjnych glebach leśnych. Porównując badane gleby technogeniczne wytworzone na różnym materiale zwałowym (piasek lub glina) można stwierdzić, iż zawartość K i Mg jest wyższa w utworach gliniastych w porównaniu do gleb piaszczystych. Zawartość przyswajalnego fosforu wykazuje tendencję odwrotną. Fakt ten można tłumaczyć tym, iż utwory gliniaste na terenie po eksploatacji surowców węglanowych charakteryzują się wysoką zawartością wapnia, który przyczynia się do uwsteczniania fosforu blokując go w związkach trudno przyswajalnych. Zdecydowanie wyższe zawartości składników przyswajalnych (P, K i Mg) odnotował Pająk i Krzaklewski (2006), w glebach powstałych na terenach zrekultywowanych

po wydobyciu węgla brunatnego. Ich badania wykazały także, iż utwory gliniaste zawierają wyższe ilości wszystkich trzech przyswajalnych form magnezu, potasu i fosforu w porównaniu z utworami piaszczystymi.

Źródłem azotu i węgla organicznego w analizowanych glebach są: po pierwsze zastosowany nakład próchniczny wykorzystany w rekultywacji; po drugie naturalne procesy rozkładu materii organicznej, co szczególnie widoczne jest na starszych rekultywowanych powierzchniach. Przykładem potwierdzającym powyższe jest profil glebowy oznaczony jako 10Z (gleba 15-16 letnia porośnięta olszą czarną), w którym w całym przekroju profilu (do 70 cm) stwierdzono bardzo wysoką zawartość węgla organicznego (2,66-3,86%) oraz wysoką zawartość azotu ogólnego (0,23-0,35%) co wskazuje na obecność materiału organicznego o wysokim stopniu humifikacji, pochodzenia egzogenicznego. Generalnie, z wyjątkiem kilku profili, zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w glebach technogenicznych wytworzonych na zwałowisku kopalni surowców węglanowych kształtuje się na niskim poziomie. W przypadku azotu jednak jego stężenie nie spada poniżej wartości 0,02%, co oznacza, że badane gleby nie należy kwalifikować jako grunty bezglebowe pod względem zawartości azotu (Gołda 2007). Podobne zakresy wartości uzyskał Kusza (2006, 2015) analizując gleby powstające na wyrobiskach powapiennych. Z kolei Szopka i in. (2005) badając gleby piaszczyste na terenach rekultywowanych po eksploatacji węgla brunatnego, odnotowali znaczne zróżnicowanie zawartości węgla organicznego (0,02-1,10%), którego źródłem oprócz naturalnych procesów humifikacji – były również pozostałości skały płonnej, bogatej w węgiel brunatny.

Biorąc pod uwagę zarówno rodzaj materiału zastosowanego w rekultywacji, wiek powierzchni oraz rodzaj drzewostanu stwierdzono, iż wyższe zawartości węgla organicznego oraz azotu ogólnego wykazują gleby kształtowane na materiałach gliniastych w porównaniu z piaszczystymi. Analiza zawartości węgla organicznego oraz azotu ogólnego w próbkach gleb pobranych spod istniejących drzewostanów wykazała, że korzystniejszym rozwiązaniem rekultywacyjnym było obsadzenie powierzchni olszą czarną. W glebach znajdujących się pod jej okapem odnotowano ponad 4,5-krotnie wyższą zawartość węgla organicznego oraz 3,5 – krotnie wyższą zawartość azotu ogólnego w poziomach powierzchniowych (0-10 cm), w porównaniu z glebami pod drzewostanem sosny zwyczajnej. Badania przeprowadzone na glebach wykształconych na zwałowiskach popiaskowych oraz na terenach po eksploatacji węgla brunatnego potwierdzają, iż olsza czarna w porównaniu z innymi gatunkami drzew wykorzystywanymi w rekultywacji sprzyja większej akumulacji węgla i azotu w poziomach próchnicznych (Chodak i Niklińska 2010, Woś i Pietrzykowski 2019, Wójcik i Krzaklewski

2019, Rawlik i in. 2021). Zjawisko to związane jest z wysoką zawartością azotu w liściach olszy czarnej, który w początkowej fazie rozkładu stymuluje intensywną mineralizację materii organicznej. W późniejszym etapie proces rozkładu ulega spowolnieniu w wyniku tworzenia trudno rozkładalnych związków humusowych, powstających w wyniku syntezy lignin oraz związków fenolowych. Powstałe substancje humusowe kumulują się w poziomie próchnicznym gleby (Camiré i in 1991, Berg 2000, Binkley 2005, Prescott 2005, Kajak 2016, Woś i Pietrzykowski 2019, Pietrzykowski i in 2020).

Generalnie, zawartość C organicznego oraz N ogółem wzrastała wraz z wiekiem powierzchni, osiągając najwyższe wartości, zarówno dla powierzchni z olszą czarną, jak również z sosną zwyczajną w przedziale wiekowym 16-25 lat. Po tym okresie zawartości powyższych parametrów ulegają obniżeniu. Spadek zawartości węgla organicznego pod 30-letnim drzewostanem olchowym w powierzchniowej warstwie gleby wytworzonej na zwałowisku po wydobyciu węgla brunatnego odnotowali Wójcik i Krzaklewski (2019). Z kolei Šourková i in. (2005) wykazali jedynie spowolnienie tempa akumulacji węgla i azotu w glebach obsadzonych olszą po 15-20 latach od zakończenia rekultywacji terenów pokopalnianych także po eksploatacji węgla brunatnego.

Porównując badane gleby z glebami referencyjnymi w zakresie zawartości C organicznego i N ogółem można stwierdzić, że w żadnym z profili nie stwierdzono wartości wyższych ani nawet zbliżonych do tych występujących w referencyjnych glebach leśnych. Wyjątek stanowił profil 10Z wskazując na wyższą zawartość węgla oraz azotu w całym profilu. Należy jednak zaznaczyć, że w/w profil zawierał warstwę próchniczną pochodzącą z nadkładu z terenu leśnego. Tymczasem analiza zawartości węgla organicznego i azotu ogółem w glebach ukształtowanych w wyniku sukcesji naturalnej (profil 15Z i 16Z), porównywanych z badanymi glebami technogenicznymi o tożsamym składzie granulometrycznym, wieku i pokrywie roślinnej wykazała wyższą kumulację zarówno C organicznego, jak i N ogółem w poziomie próchnicznym gleb powstałych na drodze sukcesji naturalnej. Podobną zależność (wyższą zawartość węgla organicznego i azotu w glebach pozostawionych sukcesji w porównaniu z glebami technogenicznymi, które zostały zrekultywowane poprzez nasadzenia) wykazali Krzaklewski i in. (2016) na terenach poeksploatacyjnych siarki. Odmienne wyniki uzyskał Pietrzykowski (2006) analizując gleby powstałe po eksploatacji piasków, oraz Abakumov i in. (2012) badając gleby po rekultywacji zwałów po wydobyciu węgla brunatnego.

Wskaźnik C/N, określający stosunek węgla organicznego do azotu ogólnego, jest powszechnie wykorzystywany jako miernik stopnia mineralizacji materii organicznej. W przypadku ściółek leśnych może on odzwierciedlać zarówno tempo rozkładu resztek

organicznych, jak też intensywność obiegu łatwo przyswajalnych składników pokarmowych, a tym samym określać potencjał produkcyjny siedliska leśnego. Według Włoczewskiego (1968), wartość tego wskaźnika zależy od rodzaju materiału roślinnego tworzącego ściółkę, wilgotności, składu granulometrycznego gleby oraz stosowania zabiegów neutralizujących działanie kwasów organicznych, m.in. poprzez dodatek wapna. W analizowanych glebach technogenicznych, wartość wskaźnika C/N w poziomach organicznych przyjmowała bardzo szeroki zakres – od 49,9 do 102,9 – wykazując ujemną korelację z zawartością węglanu wapnia oraz wapnia wymiennego w analizowanym poziomie organicznym. Zależności tej nie stwierdzono w poziomach próchnicznych. Dla porównania, w leśnych glebach referencyjnych wartość wskaźnika C/N w poziomie organicznym była istotnie niższa, mieszcząc się w zakresie 20,4–48,2, szczególnie w poziomach o wysokiej zawartości węglanu wapnia. W poziomach powierzchniowych oraz próchnicznych wartość C/N wahała się od 1,7 do 20,6 i nie wykazywała wyraźnych trendów w zależności od wieku powierzchni, podobnie jak w poziomach organicznych. Odmienną tendencję w prowadzonych badaniach gleb powstałych na drodze sukcesji naturalnej na terenach zrekultywowanych po eksploatacji piasków odnotowali Pietrzykowski i Krzaklewski (2004). Zaobserwowali oni wzrost wartości C/N w poziomach próchnicznych oraz spadek w poziomie organicznym wraz z wiekiem siedliska. Analiza wskaźnika C/N w odniesieniu do rodzaju zastosowanego podłoża wykazała wyższe wartości dla utworów gliniastych. Za optymalny zakres wartości wskaźnika C/N w poziomach próchnicznych uznaje się przedział 10–15 (Szołtyk i Hilszczańska 2003). Zakres tych wartości charakteryzował gleby rozwinięte pod drzewostanami olszy czarnej, starsze gleby oraz te, w których zastosowano grubą warstwę nadkładu próchnicznego. Podobne wartości uzyskano również w starszych profilach gleb referencyjnych leśnych (1RL i 2RL), co potwierdza ich zaawansowany etap rozwoju oraz korzystne właściwości siedliskowe.

Nowy wskaźnik WGP_{Ca} , który został opracowany w oparciu o wskaźnik jakości gruntów Skawiny i Trafas oraz indeks trofizmu gleb leśnych (ITGL), posłużył do opracowania trójstopniowej skali udatności procesów rekultywacyjnych. Na jego podstawie można dokonać oceny jakości gleb, obecnie kształtowanych na terenie kopalni odkrywkowej surowców węglanowych i zaproponować dodatkowe zabiegi, do zastosowania na kolejnych tego typu obiektach, celem kształtowania nowych gleb o korzystnych właściwościach. Wskaźnik WGP_{Ca} jest dedykowany glebom technogenicznym powstałym w trakcie rekultywacji w pierwszych stadiach ich rozwoju. Podstawą powyższego wnioskowania jest fakt większej jego zgodności w pierwszych latach po rekultywacji (0-25 lat) ze wskaźnikiem jakości gruntów wg Skawiny

i Trafas, a dla powierzchni starszych (> 25 lat) do indeksu stosowanego w przypadku wykształconych gleb leśnych (ITGL).

Dobór zalecanych zabiegów na podstawie wartości wskaźnika WGP_{Ca} należy dostosować do możliwości technicznych zakładu, mając jednocześnie na względzie aspekt ekonomiczny.

Potwierdzenie Tez

Teza 1 (T1) Niejednorodność podłoża glebowego (potencjalnej skały macierzystej) determinuje kształtowanie się cech jakościowych gleb technogenicznych

Zastosowanie w rekultywacji podłoża dwójakiego rodzaju: 1) materiału gliniastego z dużą zawartością rumoszu (części szkieletowych) oraz węglanu wapnia, oraz 2) materiału piaszczystego ubogiego w węglan wapnia, jak również technika rozprowadzania go po powierzchni zwału w znaczący sposób kształtowały cechy jakościowe powstających gleb technogenicznych. Wariant 1. - z zastosowaniem materiału gliniastego przyczynił się do uformowania gleb o wysokiej zawartości frakcji pyłowej i iłowej, co przełożyło się na wzrost pojemności sorpcyjnej, wyższej zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego i przyswajalnych form potasu i magnezu oraz wyższą wartością wskaźnika C/N, natomiast niższą zawartością fosforu przyswajalnego w porównaniu z podłożem piaszczystym.

Zróźnicowanie podłoża wpłynęło także na ukształtowanie się odczynu badanych gleb technogenicznych. Niższym i zróźnicowanym pH odznaczały się gleby wytworzone na podłożu piaszczystym o niskiej zawartości węglanu wapnia, co w zależności od wartości odczynu pozwoliło zaklasyfikować je do gleb kwaśnych, obojętnych i zasadowych. Wysokie, stabilne pH charakterystyczne dla gleb zasadowych, stwierdzono w glebach o podłożu gliniastym i jednocześnie bogatym w węglan wapnia.

Rozprowadzenie podłoża, często słabo zhomogenizowanego i w sposób nierównomierny, na powierzchni zwału celem uformowania skały macierzystej przyczyniło się do wytworzenia gleb zróźnicowanych pod względem składu granulometrycznego jak również pod względem zawartości węgla organicznego, azotu oraz składników przyswajalnych zarówno w ujęciu powierzchniowym jak i profilowym.

Teza 2 (T2) Czynn timer czasu wpływa na zmiany właściwości gleb technogenicznych powstałych na zwałowiskach kopalni surowców węglanowych

Z upływem czasu stwierdza się rozwój procesów glebotwórczych. Pierwszym widocznym ich efektem jest pojawienie się poziomu organicznego oraz poziomu próchnicznego, które w badanych glebach technogenicznych odnotowano na powierzchniach w wieku ponad 15 lat od zakończenia zabiegów rekultywacyjnych. Po tym okresie nastąpił również spadek wartości pH w poziomach powierzchniowych, co jest mierzalnym rezultatem oddziaływania roślinności z materiałem glebowym. Biorąc pod uwagę wpływ roślinności na kumulację węgla organicznego oraz azotu w czasie odnotowano wzrost ich zawartości wraz z wiekiem powierzchni, a najwyższe ich wartości stwierdzono w przedziale czasowym 16-25 lat. Po tym okresie odnotowano spadek wartości obu parametrów.

Teza 3 (T3) Zróźnicowanie szaty roślinnej stanowi czynnik dynamizujący procesy glebotwórcze w utworach zwałowych surowców węglanowych

Poziom ściółki wykształcił się wyłącznie pod drzewostanem sosnowym, i to jedynie na starszych powierzchniach (powyżej 15 lat). Gleby pod olszą czarną, niezależnie od wieku, nie zawierały podpoziomów organicznych, co można wiązać m.in. ze zdolnością do szybkiego rozkładu materii organicznej bogatej w azot. Oba typy drzewostanów modyfikowały odczyn gleby w poziomach powierzchniowych. Na starszych powierzchniach (ok. 30-letnich) niższe wartości pH notowano pod drzewostanem olchowym w porównaniu do gleby pod sosną zwyczajną. Gleby rozwijające się pod olszą charakteryzowały się wyższą zawartością węgla organicznego oraz azotu ogółem, a także korzystniejszym stosunkiem C/N w porównaniu do gleb pod sosną.

8. Wnioski

1. Zastosowanie materiału zwałowego o charakterze gliniastym w procesie rekultywacji przyczyniło się do powstania gleb o wyższym pH, korzystniejszych właściwościach sorpcyjnych, wyższej zawartości węgla organicznego i azotu, większej dostępności składników pokarmowych (Mg i K), natomiast uboższych w fosfor przyswajalny w porównaniu z materiałem piaszczystym.
2. Zróżnicowany sposób rozprowadzania materiału zwałowego w technologii formowania zwałowiska prowadzi do powstawania gleb o zróżnicowanych właściwościach zarówno w aspekcie powierzchniowym, jak też profilowym.
3. Poziom próchniczny gleb technogenicznych powstających na terenie kopalni surowców węglanowych kształtuje się zarówno z zastosowanego nadkładu, jak również z naturalnych procesów glebotwórczych.
4. Z upływem czasu na powierzchniach zreultywowanych następują zmiany właściwości gleb, ujawniające się w tworzeniu poziomów próchnicznych, akumulacji zasobów węgla i azotu oraz spadku wartości pH.
5. Najwyższą zawartością węgla i azotu w wierzchnich warstwach profilu glebowego charakteryzowały się gleby na powierzchniach w wieku 16-25 lat po rekultywacji; po tym czasie następował spadek zawartości obu pierwiastków.
6. Olsza czarna wywiera korzystniejszy wpływ na glebę niż sosna zwyczajna, ze względu na wyższe zdolności kumulacji węgla i azotu.
7. Opracowany nowy wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach rekultywowanych po górnictwie surowców węglanowych (WGP_{Ca}) może służyć do oceny gleb technogenicznych w pierwszych stadiach ich rozwoju m.in. ze względu na swoje podobieństwo do wskaźnika jakości gruntów według Skawiny i Trafas oraz do Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL).
8. Wartości wskaźnika WGP_{Ca} obliczonego dla konkretnych gleb technogenicznych powstałych na zwałowiskach po eksploatacji surowców węglanowych, umożliwiają określenie stopnia udatności przeprowadzonej rekultywacji oraz sformułowanie zaleceń zabiegów do wykorzystania na innych tego typu obiektach.
9. W trakcie prowadzenia badań nad glebami technogenicznymi utworzonymi na terenach rekultywowanych po wydobywaniu surowców węglanowych postawiono hipotezy, które mogą stanowić punkt wyjścia dla nowych kierunków badawczych:

- a) gleby technogeniczne powstające na drodze sukcesji charakteryzują się korzystniejszymi parametrami niż utworzone w procesie rekultywacji kierowanej;
- b) wzbogacenie wierzchnich poziomów genetycznych gleb technogenicznych pyłami alkaicznymi, pochodzącymi z emisji, generowanych w trakcie wydobywania i transportu surowców wapiennych, może przyspieszać rozkład materii organicznej w profilu glebowym.

9. Streszczenie w języku polskim

Górnictwo odkrywkowe, obejmujące również eksploatację surowców węglanowych, przyczynia się do dewastacji środowiska przyrodniczego, poprzez zniekształcenia powierzchni ziemi, w tym tworzenie wyrobisk czy zwałowisk, a przede wszystkim niszczenie pokrywy glebowej. Celem odwrócenia negatywnych skutków działalności zakładów wydobywczych jest przeprowadzenie optymalnego procesu rekultywacji wraz z odtworzeniem gleb. Kierunek rekultywacji i docelowego zagospodarowania, powinien być dostosowany do istniejących warunków środowiskowych i technicznych oraz ekonomicznie uzasadniony. Wyrobiska po eksploatacji surowców węglanowych sprawiają szczególną trudność w rekultywacji ze względu na m.in. wysoką zawartość rumoszu skalnego i węgla wapnia, deficyt materii organicznej oraz makroelementów, a także zasadowy odczyn.

Obiektem badawczym w niniejszej pracy były gleby technogeniczne wytworzone w procesie rekultywacji w kierunku leśnym na obszarze zwałowisk po wydobyciu wapienia w kopalni „Góraźdże”. Badaniami objęto 16 zrehabilitowanych powierzchni badawczych, w tym dwie z wykorzystaniem roślinności pochodzącej z sukcesji. Powierzchnie były zróżnicowane pod względem zastosowanego drzewostanu (olsza czarna lub sosna zwyczajna) oraz wieku (1-35 lat), który upłynął od ostatnich zabiegów. W celu porównania właściwości gleb technogenicznych wyznaczono powierzchnie referencyjne, znajdujące się w sąsiedztwie terenu kopalni – 3 profile na glebach leśnych i jeden profil na glebie ornej.

Celem badań było określenie w jaki sposób zastosowany w procesie rekultywacji materiał zwałowy (gliniasty lub piaszczysty), a także rodzaj drzewostanu kształtują przebieg procesów glebotwórczych. Równocześnie podjęto próbę wskazania zmian właściwości gleb technogenicznych tworzonych na zwałowiskach kopalni surowców węglanowych wynikających z czynnika wpływającego czasu. Parametry świadczące o postępie procesów glebotwórczych oraz jakości utworów glebowych oznaczono zgodnie z przyjętymi normami oraz metodyką stosowaną w gleboznawstwie.

Stwierdzono, iż zastosowany w procesie rekultywacji materiał zwałowy o składzie granulometrycznym glin przyczyniał się do poprawy właściwości gleb w zakresie sorpcji, zawartości węgla organicznego i azotu oraz makroelementów. Ponadto, wpływał na kształtowanie odczynu w kierunku obojętnego i zasadowego. Technika jego rozprowadzania na powierzchni zwału sprawiła, iż nowo powstające gleby charakteryzują się odmiennymi właściwościami, zarówno w aspekcie powierzchniowym, jaki też profilowym. Korzystniejszy wpływ na właściwości analizowanych gleb miał drzewostan olchowy w porównaniu z sosnowym, ze względu na większą akumulację węgla i azotu w poziomach

powierzchniowych. Czas sprzyjał procesom glebotwórczym o czym świadczył wzrost miąższości poziomów próchnicznych oraz zawartości węgla i azotu.

W pracy również zaproponowano wskaźnik jakości gleb powstałych na terenach po górnictwie surowców węglanowych WGP_{Ca} , który pozwoli na zweryfikowanie prawidłowości przebiegu rekultywacji oraz na sformułowanie zaleceń zabiegów do wykorzystania na innych tego typu obiektach.

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe surowców węglanowych, rekultywacja, gleby techogeniczne

10. Streszczenie w j. angielskim

Open-pit mining, including the extraction of carbonate raw materials, contributes significantly to the degradation of the natural environment by altering land surface morphology (excavations and spoil heaps) and, most notably, by destroying the soil cover. An effective reclamation process, including soil reconstruction, must be implemented to mitigate the negative impacts of such activities. The direction of reclamation and the intended land use should be tailored to prevailing environmental and technical conditions and must be economically justified. Post-mining excavations from carbonate raw material extraction present particular challenges for reclamation due to, among others, their high content of rock debris and calcium carbonate, low levels of organic matter and macronutrients, and alkaline soil reaction.

This study focused on technogenic soils formed during the reclamation of spoil heaps from limestone mining at the "Górażdże" quarry, targeting forest development. The research included 16 reclaimed experimental plots, two of which exhibited spontaneous vegetation succession. The plots varied in tree stand type (black alder or Scots pine) and the time since the last reclamation treatment (ranging from 1 to 35 years). For comparison, reference plots were established on nearby forest soils (three soil profiles) and on one profile of arable land.

The study aimed to assess how the type of spoil material used (clayey or sandy) and the tree stand species influence soil formation processes. An additional goal was to identify changes in the properties of technogenic soils on carbonate mining spoil heaps over time. Parameters indicating soil-forming processes and soil quality were determined in accordance with established standards and soil science methodologies.

The results showed that using clayey spoil material in reclamation improved soil properties, particularly sorption capacity, organic carbon and nitrogen content, and macronutrient availability. It also affected soil pH, shifting it towards neutral or alkaline levels. The method of distributing spoil material on heap surfaces resulted in varied properties within newly forming soils, both at the surface and within the profile. Black alder stands had a more beneficial effect on the soil properties compared to Scots pine, primarily due to greater accumulation of carbon and nitrogen in the surface layers. Over time, soil formation processes progressed, as evidenced by thicker humus horizons and increased levels of organic carbon and nitrogen.

Additionally, the study proposed a Soil Quality Index for Post-Carbonate Mining Sites (WGP_{Ca}) to assess reclamation effectiveness and guide management practices for similar post-mining landscapes.

Keywords: open-pit mining, carbonate raw materials, reclamation, technogenic soils.

11. Literatura

1. Abakumov E.V., Cajthaml T., Brus J., Frouz J. 2012. Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining. *Journal of soils and sediments* 13, 491-500. DOI:10.1007/s11368-012-0579-9.
2. Amacher M.C., O'Neil K.P., Perry C.H. 2007. Soil vital signs: a new soil quality index (SQI) for assessing forest soil health. *Res. Pap. RMRS-RP-65. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.* 12 p., 65. DOI:10.2737/RMRS-RP-65.
3. Andrews S.S., Flora C.B., Mitchell J.P., Karlen D.L. 2003. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma* 114(3-4), 187-213. DOI:10.1016/S0016-7061(03)00041-7.
4. Asensio V., Guala S.D., Vega F.A., Covelo E.F. 2013. A soil quality index for reclaimed mine soils. *Environmental toxicology and chemistry* 32(10), 2240-2248. DOI:10.1002/etc.2315.
5. Assmann P. 1944. Die Stratigraphie der oberschlesischen Trias. Teil 2. Der muschelkalk. abhandlungen des reichsamtes für bodenforschung, *Neue Folge* 208, 1–124.
6. Bandyopadhyay S., Novo L.A., Pietrzykowski M., Maiti S.K. 2020. Assessment of forest ecosystem development in coal mine degraded land by using integrated mine soil quality index (IMSQI): the evidence from India. *Forests* 11(12), 1310. DOI:10.3390/f11121310.
7. Baran S. 2000. Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin, ss. 244. ISBN 83-7259-015-X.
8. Baran S., Turski R. 1996. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin, ss. 223. ISBN 83-86761-48-2.
9. Barbiroli G., Casalicchio G., Raggi A. 2004. A new approach to elaborate a multifunctional soil quality index. *Journal of Soils and Sediments* 4, 201-204. DOI:10.1007/BF02991142.
10. Barga-Więclawska J.A. 2007. Kamieniołomy surowców węglanowych w regionie świętokrzyskim przykładem korytarzy ekologicznych. *Górnictwo i Geoinżynieria* 31(3/1), 53-63.
11. Baszczyńska M., Kaźmierczak U. 2011. Conservation of biodiversity in reclamation of post mining voids the limenstone mine" Góraźdże". *Mining Science* 132 (39), 11-22.
12. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z. 2005. Badania ekologiczno-gleboznawcze. PWN, Warszawa, ss. 344, ISBN 83-01-14216-2.

13. Bednik M., Medyńska-Juraszek A., Dudek M., Kloc S., Kręt A., Łabaz B., Waroszewski J. 2020. Wheat straw biochar and NPK fertilization efficiency in sandy soil reclamation. *Agronomy* 10(4), 496. DOI:10.3390/agronomy10040496.
14. Bender J. 1985. Osiągnięcia w rekultywacji gruntów pogórnich w górnictwie węgla brunatnego. Materiały II Krajowego Sympozjum „Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwami”. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, Katowice, 301-310.
15. Bender J. 1995 - Rekultywacja terenów pogórnich w Polsce. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych i Leśnych* 418, 75-86.
16. Beneš J., Kepka P., Konvička M. 2003. Limestone quarries as refuges for European xerophilous butterflies. *Conservation Biology* 17(4), 1058-1069. DOI:10.1046/j.1523-1739.2003.02092.x.
17. Berg B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest ecology and Management*, 133(1-2), 13-22.
18. Berg B., Matzner, E. 1997. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Reviews*, 5(1), 1-25.
19. Bidas M. 2012. Rzadkie chrząszcze (Coleoptera) Góry Rzepki w Górach Świętokrzyskich. *Naturalia* 1, 133-135.
20. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce (2002-2021). 2022. Państwowy Instytut Geologiczny. ISSN 2299-4459.
21. Binkley D. 2005. How nitrogen-fixing trees change soil carbon. W: Binkley D., Menyailo O. [red.] *Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change*. ss. 155-164. Springer Netherlands.
22. Bolibok L., Kowalczyk M., Drozdowski S. 2009. Ocena wegetatywnej i generatywnej ekspansji rokitnika (*Hippophaë rhamnoides* L.) na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów pod kątem wykorzystania w procesie rekultywacji drogą sukcesji kierowanej. *Sylvan* 153(03), 203-216.
23. Bolibok L., Kubiak M., Michalski S. 2018. Ocena długodystansowego rozsiewu rokitnika zwyczajnego (*Hippophaë rhamnoides* L.) na zwałowisku wewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. *Leśne Prace Badawcze* 79(1). DOI:10.2478/frp-2018-0001.
24. Boscutti F., Vianello A., Bozzato F., Casolo V. 2017. Vegetation structure, species life span, and exotic status elucidate plant succession in a limestone quarry reclamation. *Restoration ecology* 25(4), 595-604. DOI: 10.1111/rec.12476.
25. Bradshaw A. 1997. Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological engineering* 8(4), 255-269. DOI: 10.1016/S0925-8574(97)00022-0.

26. Brejda J.J., Moorman T.B., Karlen D.L., Dao T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators I. Central and Southern High Plains. *Soil Science Society of America Journal* 64(6), 2115-2124. DOI:10.2136/sssaj2000.6462115x.
27. Brożek S. 2001. Indeks trofizmu gleb leśnych. *Acta Agraria et Silvustria. Series Silvestris*, (39), 17-33.
28. Brożek S. 2007. Liczbowa wycena "jakości" gleb - narzędzie w diagnozowaniu siedlisk leśnych. *Sylvan* 151(02), 35-42.
29. Brożek S. 2011. Gleby i siedliska leśne nizin i wyżyn Polski-ujęcie klasyczne i numeryczne. *Roczniki Gleboznawcze* 62(4).
30. Brożek S. 2017. Gleboznawstwo leśne. Synteza wiedzy o glebach zbliżonych do naturalnych i o ich relacjach z roślinnością w lasach Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, ss. 410, ISBN 978-83-64758-44-7.
31. Brożek S., Wanic T. 1998. Wpływ olszy szarej na zakwaszanie gleb w Bieszczadach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 456, 459-462
32. Brożek S., Zwydak M. 2003. Atlas gleb leśnych Polski. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, ss. 467, ISBN 83-88478-17-6.
33. Brożek S., Zwydak M., Lasota J. 2008. Liczbowy indeks troficznych odmian podtypów gleb bielcowych i rdzawych. *Roczniki Gleboznawcze* 59(1), 7-17.
34. Brożek S., Zwydak M., Lasota J., Różanski W. 2011. Założenia metodyczne badań związków między glebą a zespołami roślinnymi w lasach. *Roczniki Gleboznawcze* 62(4).
35. Brożek S., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Lasota J. 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylvan* 151(02), 26-34.
36. Bujwid H., Strzelczuk H. 1977. Zagospodarowanie wyrobisk i odpadów surowców węglanowych w aspekcie ochrony środowiska. *Przegląd Geologiczny* 25(5), 257.
37. Buondonno A., Capra G.F., Di Palma D., Grilli E., Vigliotti R.C. 2018. Pedotechnologies for the environmental reclamation of limestone quarries. A protocol proposal. *Land Use Policy* 71, 230-244. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.12.002.
38. Camiré C., Côté B., Brulotte, S. 1991. Decomposition of roots of black alder and hybrid poplar in short-rotation plantings: nitrogen and lignin control. *Plant and Soil*, 138, 123-132.
39. Carabassa V., Ortiz O., Alcañiz J. M. 2018. Sewage sludge as an organic amendment for quarry restoration: Effects on soil and vegetation. *Land degradation & development* 29(8), 2568-2574. DOI: 10.1002/ldr.3071.

40. Chodak M. 2013. Metody rekultywacji i zagospodarowania obszarów poeksploatacyjnych w górnictwie skalnym. POLTEGOR – Instytut Górnictwa Odkrywkowego ss. 112. ISBN 978-83-60905-48-7.
41. Chodak M., Niklińska, M. 2010. The effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils. *Biology and fertility of soils*, 46, 555-566. DOI: 10.1007/s00374-010-0462-z.
42. Chodak M., Sroka K., Woś B., Pietrzykowski M. 2019. Effect of green alder (*Alnus viridis*) and black alder (*Alnus glutinosa*) on chemical and microbial properties of sandy mine soils. *Geoderma* 356, 113924. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113924.
43. Chwastek J. 1972. Ochrona i rekultywacja powierzchni w górnictwie odkrywkowym. Skrypty Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, Górnictwo, 13, ss. 156.
44. Chwastek J. 1976. Górnicze podstawy zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych w kamieniołomach. Ochrona Terenów Górniczych, nr. 37.
45. Chwastek J. 1980. Zagospodarowanie wyrobisk i ich rekultywacja. Materiały Konferencyjne. Gospodarka surowcami skał litych na Dolnym Śląsku, PAN, Wrocław, 63-67.
46. Cichowska J., Garbacz J. K., Ciechalski J. 2018. Rola bazy Piechcin w rozwoju turystyki specjalistycznej pod kątem przygotowań do penetracji nurkowych Bałtyku. *Polish Hyperbaric Research* 63(2), 51-61. DOI: 10.2478/phr-2018-0013.
47. Cohen-Fernández A. C., Naeth M.A., Wilkinson S. R. 2013. Anthroposol development from limestone quarry substrates. *Canadian Journal of Soil Science* 93(5), 555-566. DOI: 10.4141/CJSS2012-120.
48. Cole D. W., Compton J., Van Miegroet H., Homann, P. 1990. Changes in soil properties and site productivity caused by red alder. *Water, Air and Soil Pollution* 54, ss. 231-246.
49. Craig J.R., Vaughan, D.J., Skinner, B.J. 2002. Zasoby Ziemi, PWN, Warszawa, ss. 528.
50. Cymerman R. 1988. Rekultywacja gruntów zdewastowanych, Olsztyn, wyd. *Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie*, ss. 131.
51. Cymerman R., Marcinkowska I. 2010. Techniczne i przestrzenne aspekty rekultywacji gruntów. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. ss.90. ISBN 978-83-7299-699-2.
52. Dazzi C., Papa G. L. 2015. Anthropogenic soils: general aspects and features. *Ecocycles*, 1(1), 3-8. DOI: 10.19040/ecocycles.v1i1.23.
53. Decyzja Okręgowego Urzędu Górniczego z dnia 26.03.1977, L.dz. XII 5-14/3/76 w sprawie ustanowienia filara ochronnego dla rezerwatu przyrody.

54. Dłubakowska J., Faber A., Greszta J., Jakubczak Z., Józefaciuk C., Józefaciuk A., Lekan S., Siuta J., Tałałaj Z., Terlak H., Wysocki W., Żukowski B. 1978. Ochrona i rekultywacja gleb. (Siuta J. red). Warszawa PWRiL ss. 288.
55. Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża wapieni triasowych „Górażdże” w kategorii B. Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A., Kraków 2006.
56. Dokumentacja Geologiczna złoża wapieni triasowych „Górażdże” w kat. B, tom 1, Ministerstwo Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych, Zjednoczenie Przemysłu Wapienniczego i Gipsowego, Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie, Kraków 1969.
57. Drab M., Greinert A. 2011. Poprawa właściwości sorpcyjnych gruntów pokopalnianych jako element skutecznej rekultywacji. *Roczniki Gleboznawcze* 62(2), 61-68.
58. Drozd J., Licznar M., Licznar S.E., Weber J. 1997. Gleboznawstwo z elementami mineralogii i petrografii. Skrypty Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 422, s. 210. ISBN 83-85582-57-6.
59. Dulewski J., Madej B. 2002. Stan i niezbędne działania proekologiczne w górnictwie polskim. *Inżynieria Ekologiczna* 6, 187-196.
60. Dwucet K., Krajewski W., Wach J. 1992. Rekultywacja i rewaloryzacja środowiska przyrodniczego. Skrypty Uniwersytetu Śląskiego nr 478, Uniwersytet Śląski, Katowice, ss. 150. ISSN 0239-6432.
61. Dziadowiec H. 1993. Ekologiczna rola próchnicy glebowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 411, 269-282.
62. Gawęda T., Błońska E., Małek S., Bijak S., Zasada M. 2018. Zastosowanie ITGL w ocenie gleb porolnych z naturalnym odnowieniem brzozy. *Sylwan* 162(05), 396-402.
63. Gilewska M. 1991. Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin”. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, z. 211. Poznań, ss. 59.
64. Gilewska M. 1995. Wpływ zabiegów rekultywacyjnych na kształtowanie agregatowej struktury gruntów pogórnich. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 418(2), 703-707.
65. Gilewska M. 2010. Rekultywacja leśna terenów pogórnich Konińsko-Tureckiego Zagłębia Węgla Brunatnego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, Inżynieria Środowiska* 17, 94-101.
66. Gilewska M., Otremba K. 2001. Wpływ dwudziestoletnich zabiegów rekultywacyjnych na właściwości gruntu pogórnich. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 477, 209-215.

67. Gilewska, M., Otremba, K. 2004. Właściwości gleb formowanych z gruntu pogórniczego. *Roczniki gleboznawcze* 55(2), 111-121.
68. Gilewska M., Otremba K. 2005. Wpływ zabiegów rekultywacyjnych na tempo procesów glebotwórczych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 506, 157-164.
69. Gilewska M., Otremba K. 2006. Składniki pokarmowe w glebach powstających z gruntów pogórnich kopalni Konin. *Roczniki Gleboznawcze* 57(1-2), 82-92.
70. Gilewska M, Otremba K. 2007. Grunty pogórnice Kopalni Węgla Brunatnego „Konin” jako materiał macierzysty gleb. *WUG: bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie* 6(154), 19-21.
71. Gilewska M., Otremba K. 2011. Geochemiczne właściwości gruntu pogórniczego zbudowanego z utworów mioceńskich. *Nauka Przyroda Technologie* 5(6), 106.
72. Gołda T. 1995. Zmiany i rekultywacja środowiska glebowo-wodnego w górnictwie otworowym siarki. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 418(2), 725-730.
73. Gołda T. 2005. Rekultywacja. Skrypty Uczelniane, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, ss. 108. ISSN 0239-6114.
74. Gołda T. 2007. Inicjalne procesy glebotwórcze zachodzące w szlamach poflotacyjnych w wyniku upraw rekultywacyjnych i wieloletniego użytkowania rolnego. *Rozprawy i Monografie*, 164, wyd. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, ss. 87. ISSN 0867-6631.
75. Gonda-Soroczyńska E., Kubicka H. 2016. Znaczenie rekultywacji i zagospodarowania gruntów w Polsce w kontekście ochrony środowiska. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* I(1), 163-175. DOI: 10.14597/infraeco.2016.1.1.012.
76. Gonet S.S. 2007. Ochrona zasobów materii organicznej gleb. (w:) Rola materii organicznej w środowisku (Gonet S.S. i Markiewicz M. red), PTSH, Wrocław, 7-29. ISBN 83-919331-6-4.
77. Gonet S., Dębska B., Zaujec A., Banach-Szott M., Szombáthová N. 2007. Wpływ gatunku drzew i warunków glebowo-klimatycznych na właściwości próchnicy gleb leśnych W: Rola materii organicznej w środowisku (Gonet S.S. i Markiewicz M. red). PTSH, Wrocław, 61-98. ISBN 83-919331-6-4.
78. Greinert H. 1996. Rekultywacja leśna utworów pokopalnianych w rejonie Łęknicy. *Zeszyty Naukowe Politechniki Zielonogórskiej* nr 114, *Inżynieria Środowiska* 6, 91-111.
79. Greinert A., Walczak B. 2001. Antropogeniczne materiały macierzyste gleb miejskich Zielonej Góry. *Zeszyty Naukowe Politechniki Zielonogórskiej* 125, *Inżynieria Środowiska* 11, 99-104.

80. Greszta J., Morawski S. 1972. Rekultywacja nieużytków przemysłowych, PWRiL, Warszawa, ss. 264.
81. GUS. 2023. Ochrona środowiska. Informacje i opracowania statystyczne. (<https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska>)(stan na 2022-12-31).
82. GUS-Bank Danych Lokalnych (<https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start>)(stan na 2023-07-05).
83. Horodecki P., Jagodziński A. M. 2017. Tree species effects on litter decomposition in pure stands on afforested post-mining sites. *Forest Ecology and Management*, 406, 1-11. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.09.059.
84. Hüttel R. F., Weber E. 2001. Forest ecosystem development in post-mining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district. *Naturwissenschaften* 88, 322-329. DOI: 10.1007/s001140100241.
85. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Instytut Badawczy. <https://danepubliczne.imgw.pl> (stan na 2023-07-05).
86. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
87. Jamroz E. 2012. Właściwości próchnic gleb leśnych pod zaroślami kosodrzewiny w Rezerwacie Śnieżnik Kłodzki. *Sylwan* 156(11), 825-832.
88. Kabała C., Greinert A., Charzyński P., Uzarowicz Ł. 2020. Technogenic soils—soils of the year 2020 in Poland. Concept, properties and classification of technogenic soils in Poland. *Soil Science Annual* 71(4), 267-280. DOI: 10.37501/soilsa/131609.
89. Kabała C., Karczewska A. 2019. Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ss. 48.
90. Kacprzak M., Bruchal M. 2011. Procesy rekultywacji terenów pogórnich na przykładzie Kopalni Wapienia Górażdże. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 14, 49-58.
91. Kajak A. 2016. Biologia gleby. SGGW. Warszawa. ss.241. ISBN 978-83-7583-605-9
92. Karczewska A. 2012. Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, ss. 390. ISBN 978-83-7717-113-4.
93. Karlen D.L., Wollenhaupt N.C., Erbach D.C., Berry E.C., Swan J.B., Eash N.S., Jordahl J.L. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil and Tillage Research* 31(2-3), 149-167. DOI: 10.1016/0167-1987(94)90077-9.

94. Kasprzyk P. 2009. Kierunki rekultywacji w górnictwie odkrywkowym. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 24, 7-15.
95. Kasztelewicz Z. 2010. Rekultywacja terenów pogórnich w polskich kopalniach odkrywkowych. Fundacja Nauka i Tradycje Górnicze, Kraków, ss. 463. ISBN 838831694X.
96. Kasztelewicz Z., Sypniowski S. 2011. Kierunki rekultywacji w polskich kopalniach węgla brunatnego na wybranych przykładach. *Górnictwo i Geoinżynieria* 35(3), 119-132.
97. Kaźmierczak U., Lorenc M.W., Strzałkowski P. 2021. Przegląd istniejącej terminologii dotyczącej rekultywacji terenów pogórnich-proponowanie definicji pojęć. *Górnictwo Odkrywkowe* 62(1), 29-33.
98. Kaźmierczak U., Strzałkowski P. 2016. Zakres prac rekultywacyjnych w kierunku wodnym terenów po eksploatacji surowców skalnych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 94, 127-136.
99. Kidawa J., Chmura D., Molenda T. 2020. The hydrological-hydrochemical factors that control the invasion of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in succession in areas with opencast mines. *Plants* 10(1), 40. DOI: 10.3390/plants10010040.
100. Kondracki J. 2022. Geografia regionalna Polski. PWN Warszawa, ss. 441. ISBN: 978-83-01-16022-7.
101. Kononowa M. 1968. Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań, tłum. L. Kuszelewski, A. Żurawska-Tomczyk, PWRiL, Warszawa, ss. 390.
102. Kowalik S. 1995. Właściwości gleby inicjalnej, ukształtowanej w wyniku wieloletniej uprawy rolniczej gruntów zwałowiskowych górnictwa siarki. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 418(2), 709-716.
103. Kowalik S. 2004. Właściwości chemiczne gleb industrioziemnych użytkowanych rolniczo i leśnie na zrehabilitowanym zwałowisku Kopalni Siarki Machów. *Roczniki Gleboznawcze* 55(2), 239-249.
104. Kowalik S., Wójcik J. 2005. Symptomy rozwoju procesu glebotwórczego pod młodymi zalesieniami rekultywacyjnymi na spągu wyrobiska Kopalni Piasku "Szczakowa". *Inżynieria Środowiska/Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie* 10(2), 185-194.
105. Kowal-Linka M. 2009. Nowe jednostki litostratygraficzne w randze warstw w obrębie formacji gogolińskiej (trias środkowy) na Śląsku Opolskim. *Geologia* 35(2), 153-174.
106. Kozioł W., Czaja P. 2010. Górnictwo skalne w Polsce-stan obecny, perspektywy i uwarunkowania rozwoju. *Górnictwo i Geologia* 5, 41-58.

107. Krzaklewski W. 1977. Roślinność spontaniczna jako wskaźnik warunków siedliskowych oraz podstawa do zalesienia skarp zwałowisk na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”. Praca doktorska (maszynopis), AR w Krakowie.
108. Krzaklewski W. 1979. Fitosocjologiczna metoda oceny warunków rekultywacji leśnego zagospodarowania nieużytków na przykładzie skarp zwałowiska „Adamów”. *Archiwum Ochrony Środowiska* 3-4, 121-165.
109. Krzaklewski W. 1988. Leśna rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie nieużytków przemysłowych: zagadnienia wybrane: materiały do wykładów i ćwiczeń z hodowli lasu. Skrypty dla Szkół Wyższych, AR, Kraków, ss. 108.
110. Krzaklewski W. 1999. Roślinność spontaniczna jako wskaźnik warunków siedliskowych oraz podstawa do zalesiania skarp zwałowisk na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów” [w:] *Górnictwo odkrywkowe – środowisko-rekultywacja ze szczególnym uwzględnieniem KWB „Bełchatów”* cz. II. Międzynarodowa Konferencja Naukowa, 1-122.
111. Krzaklewski W. 2017. Podstawy rekultywacji leśnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Kraków, ss. 213. ISBN 978-83-64758-53-9.
112. Krzaklewski W., Frączek M. 1999. Metoda rekultywacji leśnej starych wyrobisk popiaskowych z wykorzystaniem roślinności z sukcesji samorzutnej. [w:] *Górnictwo odkrywkowe – środowisko-rekultywacja, ze szczególnym uwzględnieniem KWB „Bełchatów”*. Cz. I Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej, 8-9.06.1999 Drukrol, Kraków, 111-128.
113. Krzaklewski W., Kowalik S., Wójcik J. 1997. Rekultywacja utworów toksycznie kwaśnych w górnictwie węgla brunatnego. Monografia. AGH Kraków. ss. 95
114. Krzaklewski W., Pietrzykowski M., Likus J., Pająk M., Twaróg A. 2016. Charakterystyka wybranych właściwości gleb i zbiorowisk roślinnych na terenach rekultywowanych i pozostawionych sukcesji po byłej Kopalni Siarki" Grzybów". *Zeszyty Naukowe 161, Inżynieria Środowiska* 41, 78-86.
115. Krzywnicka I. 1988. Ocena przebiegu prac rekultywacyjnych w Polsce. Praca magisterska. Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie.
116. Kurbiel M., Uzarowicz Ł., Maciejewska, A. 2011. Wpływ kopalnictwa odkrywkowego na gospodarowanie przestrzenią rolniczą w rejonie KWB „Bełchatów”. *Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN* 142, 351-355.
117. Kusza G. 2006. Wpływ nawożenia mineralnego oraz zastosowania osadów ściekowych na wybrane właściwości zwałowisk po eksploatacji wapieni. *Roczniki Gleboznawcze* 57 (1/2), 124-130.

118. Kusza G. 2007. Zmiany wybranych właściwości fizyko-chemicznych zwałowisk poeksploatacyjnych kopalni wapieni Strzelce Opolskie i Kamień Śląski pod wpływem roślinności wysokiej. [w:] Ochrona środowiska na uniwersyteckich studiach przyrodniczych. Uniwersytet Opolski, Opole, 241-248
119. Kusza G. 2015. Optimization proces of the restoration of degraded land resulting from the activities of opencast mining of limestone. [w:] Innovations in agri-food industry (Słodczyk J. red.). Uniwersytet Opolski, Opole, 136-154. ISBN 978-83-943413-1-2.
120. Kusza G., Dużyński M. 2004. Stan zachowania gatunków drzew rosnących na rekultywowanych powierzchniach wyrobisk Śląskich Zakładów Przemysłu Wapienniczego, Opolwap". *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego Inżynieria Środowiska* 131(12), 219-227.
121. Kusza G., Gołuchowska B. 2009. Selected physico-chemical properties of grounds in the area of the Górażdże Limestone Mine excavations (In) Biodiversity conservation and environmental protection of opencast excavations (eds. Nowak A., Czerniawska-Kusza I., Yazykova Y.) OPTN, Opole, 99-110.
122. Kusza G., Gołuchowska B., Szewczyk M. 2016. Changes in physicochemical properties of soils in the area affected by lime industry. *Ecological Chemistry and Engineering A*. 23(4), 433-442. [https://doi.org/10.2428/ecea.2016.23\(4\)3](https://doi.org/10.2428/ecea.2016.23(4)3).
123. Kusza G., Strzyszczyński Z. 2005. Rezerваты leśne Opolszczyzny – stan i technogenne zagrożenia. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze, ss.156. ISBN 83-921514-3-7.
124. Kuś J. 2015. Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 45(19), 27-53, DOI:10.26114/sir.iung.2015.45.02.
125. Kwiatkowski P. 1998. Kamieniołomy wapienia w Górach Kaczawskich ostoją rzadkich i ginących gatunków flory naczyniowej Sudetów. *Górnictwo Odkrywkowe* 40(2-3), 156-163.
126. Licznar S. E. 1976. Rędziny i gleby nawapieniowe Opolszczyzny w świetle badań mikromorfologicznych i fizykochemicznych. *Roczniki gleboznawcze* 27(3), 73-121.
127. Łabęda D., Kondras M. 2020. Influence of forest management on soil organic carbon stocks. *Soil Science Annual* 71(2), 165-173. DOI: 10.37501/soilsa/123321.
128. Łuczak K., Kusza G., Słonina D., Borecka K. 2019. Fruit Trees and Bushes as a Biodiversity Element in the "Górażdże" Quarry Reclaimed Areas. *Journal of Ecological Engineering* 20(3). 24-29. DOI: 10.12911/22998993/99307.
129. Maciak F. 2003. Ochrona i rekultywacja środowiska. Wydawnictwo SGGW, Warszawa ss. 466. ISBN 83-7244-438-2.

130. Maciejewska A. 2000. Rekultywacja i ochrona środowiska w górnictwie odkrywkowym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa ss.100. ISBN 83-7207-183-7.
131. Majgier L., Badera J., Rahmonov O. 2010. Kamieniołomy w województwie śląskim jako obiekty turystyczno-rekreacyjne na terenach uprzemysłowionych. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 27, 267-275.
132. Mamehpour N., Rezapour S., Ghaemian N. 2021. Quantitative assessment of soil quality indices for urban croplands in a calcareous semi-arid ecosystem. *Geoderma* 382, 114781. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114781.
133. Mazur T. 1995. Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 422, 9-17.
134. Miao Z., Marrs R. 2000. Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province, China. *Journal of Environmental Management* 59(3), 205-215. DOI:10.1006/jema.2000.0353.
135. Miletić Z.D., Stefanović T.P., Stajić S.A., Čokeša V.M., Radulović Z.B. 2011. Effect of Forest Plantations on Erodibility of Reclaimed Lignite Mine Soils. *Polish Journal of Environmental Studies* 20(4), 987-992.
136. Mocek A., Owczarzak W. 2003. Odwodnieniowa degradacja gleb w obrębie Konińsko-Turkowskiego Zagłębia Węglowego." *Acta Agrophysica* 1(4), 697-704.
137. Mocek A., Owczarzak W., Rybczyński P. 2004. Zmienność chemizmu gleb wytworzonych na zwałowisku wewnętrznym odkrywki Pątnów w wyniku wieloletniego, zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Roczniki Gleboznawcze* 55(2), 291-299.
138. Mukherjee A., Lal R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. *PloS one* 9(8), e105981. DOI: 10.1371/journal.pone.0105981.
139. Naworyta W. 2013. Aktualne problemy oraz trendy w rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie skalnym. *Górnictwo Odkrywkowe* 54(5-6), 203-210.
140. Nicolini F., Topp W. 2005. Soil properties in plantations of sessile oak (*Quercus petraea*) and red oak (*Quercus rubra*) in reclaimed lignite open-cast mines of the Rhineland. *Geoderma* 129(1-2), 65-72. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.12.031.
141. Nietrzeba-Marcinonis J. 2007. Wpływ rekultywacji leśnej terenów pokopalnianych na wybrane właściwości gleb inicjalnych na przykładzie zwałowiska nadkładu Kopalni Węgla Brunatnego Turów S.A. Praca doktorska Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, ss. 168
142. Nietrzeba-Marcinonis J. 2008. Wpływ roślinności na dynamikę procesów glebotwórczych na zwałowisku turowskim. *Roczniki Gleboznawcze* 59(2), 162-169.

143. Nietrzeba-Marcinonis J., Mrówczyńska-Siadak H. 2004. Wpływ rekultywacji leśnej w kopalni węgla brunatnego Turów SA na wybrane właściwości chemiczne kształtujących się gleb inicjalnych. *Roczniki Gleboznawcze* 55(2), 301-309.
144. Nita J., Myga-Piątek U. 2006. Krajobrazowe kierunki zagospodarowania terenów pogórnich. *Przegląd Geologiczny* 54(3), 256-262.
145. Nita J., Myga-Piątek U. 2010. Georóżnorodność i geoturystyka w terenach poeksploatacyjnych na przykładzie regionu chęcińsko-kieleckiego. *Geoturystyka* 3-4, 51-58.
146. Orzechowski M., Smółczyński S., Wyrzykowski A. 2008. Właściwości gleb na zrehabilitowanych terenach po eksploatacji piasku i żwiru w kopalni „Sarnowo” w województwie mazowieckim. *Roczniki Gleboznawcze* 59(2), 170-176.
147. Ostrenga A. 2004. Sposoby zagospodarowania wyrobisk i terenów po eksploatacji złóż surowców węglanowych na przykładzie Krzemionek Podgórskich w Krakowie. Rozprawa doktorska (maszynopis), AGH Kraków.
148. Ostrenga A., Uberman R. 2010. Kierunki rekultywacji i zagospodarowania-sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady. *Górnictwo i Geoinżynieria* 34(4), 445-461.
149. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog, IOŚ, Warszawa, ss. 334.
150. Otremba K., Tatuśko-Krygier N., Kozłowski M. 2020. Chemical properties of Technosols in post-mining areas of the Konin-Turek lignite basin in Poland. *Soil Science Annual* 71(4). DOI: 10.37501/soilsa/126232.
151. Pająk M., Krzaklewski W. 2006. Wybrane właściwości chemiczne inicjalnych gleb na zwałowisku zewnętrznym kopalni Bełchatów. *Roczniki Gleboznawcze* 57(1-2), 158-163
152. Pałosz T. 2009. Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. *Rocznik Ochrona Środowiska* 11, 328-338.
153. Pietrzykowski M. 2006. Właściwości gleb powstających na rekultywowanych i pozostawionych sukcesji terenach wyrobiska po eksploatacji piasków podsadzkowych. *Roczniki Gleboznawcze* 57(3-4), 97-105.
154. Pietrzykowski M. 2010. Skład frakcyjny i właściwości optyczne próchnic gleb powstających na terenach pogórnich rekultywowanych dla leśnictwa. *Sylvan* 154 (11): 742-749
155. Pietrzykowski M., Gruba P., Sproull G. 2017. The effectiveness of Yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) green manure cropping in sand mine cast reclamation. *Ecological Engineering* 102, 72-79. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.01.026.

156. Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2004. Akumulacja materii organicznej, węgla i azotu w procesie sukcesji inicjalnej gleby na nierekultywowanych fragmentach wyrobiska po kopalni piasku. *Zeszyty Naukowe Inżynieria Środowiska* 131(12), 307-317.
157. Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2006. Functionality assessment of soil trophy index (ITGL) and vascular plant ecological indicator for site quality diagnosis in a sand mine excavation. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar* 5(1), 47-56.
158. Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2009. Rekultywacja leśna terenów wyrobisk po eksploatacji piasków posadzkowych na przykładzie kopalni „Szczakowa”. Monografia. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Ekologii Lasu, Kraków, ss. 134. ISBN 978-83-904974-1-9.
159. Pietrzykowski M., Krzaklewski W., Pająk M., Socha J., Ochał W. 2010a. Analiza i optymalizacja metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny rekultywacji leśnej na wybranych terenach pogórnich w Polsce. Monografia naukowa (Pietrzykowski M. red.), Wyd. UR Kraków, ss. 214. ISBN 978-83-60633-37-3.
160. Pietrzykowski M., Pająk M. 2009. The Application of the Forest Soil Trophism Index (FSTI) for assesment of site condition variability in post-mining areas reclaimed to forestry. In: Soil of chosen landscapes. Contemporary problems of management and environmental protection (ed.: B. Bieniek). Monography (Chapter IX), University of Warmia and Mazury, Faculty of Environmental Management and Agriculture, Olsztyn, Poland, 153– 163.
161. Pietrzykowski M., Pająk M., Krzaklewski W. 2009. Ocena możliwości zastosowania liczby bonitacyjnej (LB) w diagnozie siedlisk leśnych kształtujących się na wybranych obiektach pogórnich zreultywowanych dla leśnictwa. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 38, 298-307.
162. Pietrzykowski M., Pająk M., Krzaklewski W. 2010b. Próba zastosowania metod liczbowej wyceny gleb na podstawie Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) oraz Siedliskowego Indeksu Glebowego (SIG) do opisu zmienności warunków siedliskowych na zreultywowanych dla leśnictwa zwałowiskach KWB" Bełchatów". *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 26, 155-165.
163. Pietrzykowski M., Sroka K., Woś B., Pająk M., Wanic T., Świątek B., Warczyk A., Chodak M. 2020. Olsze *Alnus* sp. w rekultywacji terenów przemysłowych, Kraków, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, ss. 111. ISBN 978-83-64758-92-8
164. Plan ruchu odkrywkowego zakładu górniczego kopalni wapienia „Górażdże” na okres 30.08.2019-29.08.2025.

165. Plan urządzania lasu dla Nadleśnictwa Strzelce Opolskie na okres od 1 stycznia 2022r. do 31 grudnia 2031. Program Ochrony Przyrody, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Katowicach, Brzeg 2022.
166. PN-G-07800 (2002). Górnictwo odkrywkowe. Rekultywacja. Ogólne wytyczne projektowania.
167. PN-G-02400:2010 - Górnictwo odkrywkowe - Wyrobisko odkrywkowe i zwałowisko -- Terminologia i klasyfikacja.
168. PN-G-01204:2010 - wersja polska Górnictwo odkrywkowe -- Kopalnie odkrywkowe -- Terminologia i klasyfikacja.
169. Popczyk M. 2016. Zarys górnictwa odkrywkowego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice. ss. 288. ISBN 978-83-7880-367-6.
170. Prescott C. E. 2005. Decomposition and mineralization of nutrients from litter and humus. *Ecological Studies* vol. 181, ss. 15-41
171. Program ochrony środowiska dla gminy Gogolin do 2030r. 2020. Urząd Gminy Gogolin (maszynopis niepublikowany).
172. Ptak M. 2019. Górnictwo odkrywkowe w Polsce: uwarunkowania prawne i środowiskowe: stan, analiza, ocena. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, ss.358, ISBN 978-83-953956-0-4.
173. Rawlik M., Kasproicz M., Jagodziński A. M., Kaźmierowski C., Łukowiak R., Grzebisz W. 2021. Tree species have a greater influence on species composition of the herb layer than soil texture on a forested post-mining area. *Land Degradation & Development*, 32(5), 2013-2024. DOI: 10.1002/ldr.3852.
174. Reich P. B., Oleksyn J., Modrzynski J., Mrozinski P., Hobbie S. E., Eissenstat D. M., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G. 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology letters*, 8(8), 811-818. DOI: 10.1111/j.1461-0248-0248.2005.00779.x.
175. Rosik-Dulewska Cz., Kusza G., Dąbrowski D. 2008. Projekt rekultywacji wyrobisk poeksploatacyjnych Kopalni Wapienia „Górażdże”. Opole (Maszynopis projektu).
176. Rosik-Dulewska Cz., Wrona A., Gronet R. 1999. Przekształcenia użytkowania gruntów na obszarach górniczych KWK „Knurów” i KWK „Szczygłowice”. *Archiwum Ochrony Środowiska* 25(4), 89-117.
177. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015, poz. 796).

178. Santorius P., Białecka B., Grabowski J. 2007. Środowiskowe i gospodarcze problemy spowodowane degradacją terenów w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* 1, 85-99.
179. Schoenholtz S.H., Van Miegroet H., Burger J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management* 138(1-3), 335-356. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00423-0.
180. Schad P. 2018. Technosols in the World Reference Base for Soil Resources—history and definitions. *Soil Science and Plant Nutrition* 64(2), 138-144. DOI: 10.1080/00380768.2018.1432973.
181. Schad P. 2023. World Reference Base for Soil Resources - Its fourth edition and its history. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 151-163, DOI: 10.1002/jpln.202200417.
182. Shukla M.K., Lal R., Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research* 87(2), 194-204. DOI: 10.1016/j.still.2005.03.011.
183. Siedlecki S. 1949. Zagadnienia stratygrafii morskich utworów triasu krakowskiego. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego* 18, 191-243.
184. Siuta J. 1998. Rekultywacja gruntów. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss.204. ISBN 83-85805-50-8.
185. Siuta J. 1999. Ochrona i rekultywacja gruntów w gminie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Warszawa, ss. 123.
186. Siuta J. 2001. Rekultywacja gruntów w górnictwie siarkowym. *Inżynieria Ekologiczna* 3, 192-198.
187. Siuta J., Zielińska A., Makowiecki K. 1985. Degradacja ziemi. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa ss. 318.
188. Siuta J., Żukowski B. 2011. Zmiany w strukturze użytkowania gruntów w latach 1949-2010. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa, ss.136.
189. Siuta J., Żukowski B. 2015. Społeczno-gospodarcze i prawne uwarunkowania oraz efekty scalania gruntów w Polsce począwszy od roku 1918. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, ss. 210.
190. Skawina T. 1958a. Procesy zniekształcania gleb w okręgach górniczych i przemysłowych. *Roczniki Gleboznawcze* 7 (dod.), 131-148.
191. Skawina T. 1958b. Przebieg rozwoju procesów glebotwórczych na zwałach kopalnictwa węglowego. *Roczniki Gleboznawcze* 7 (dod.), 149-161.
192. Skawina T., Trafas M. 1971. Zakres wykorzystania i sposób interpretacji wyników badań geologicznych dla potrzeb rekultywacji. *Ochrona terenów górniczych* 16(3), 3-10.

193. Smółczyński S., Orzechowski M. 2010. Pojemność wodna i zawartość kationów wymiennych w glebach terenów zrekultywowanych po eksploatacji piasku i żwiru. *Roczniki Gleboznawcze* 61(3), 111-120.
194. Solarz W. 1997 Environmental factors shaping bird communities in quarries. *Ochrona Przyrody* 54, 141-153.
195. Šourková M., Frouz J., Šantrůčková H. 2005. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). *Geoderma* 124(1-2), 203-214. DOI:10.1016/j.geoderma.2004.05.001.
196. Spasić M., Vacek O., Vejvodová K., Tejnecký V., Vokurková P., Křižová P., Polák F., Vašát R., Borůvka L., Drábek, O. 2024. Which trees form the best soil? Reclaimed mine soil properties under 22 tree species: 50 years later—assessment of physical and chemical properties. *European Journal of Forest Research*, 143(2), 561-579. DOI: 10.1007/s10342-023-01637-x.
197. Stanieda K. 2014. Fazy mineralne w skałach węglanowych warstw gogolińskich obszaru Śląska Opolskiego. *Gospodarka surowcami mineralnymi* 30(3), 17-42. DOI: 10.2478/gospo-2014-0026.
198. Stevenson F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions, John Wiley and Sons, Chicester, ss. 496.
199. Stolarska M, Stolarski R., Harabin Z., Krzaklewski W., Pietrzykowski M. 2006. Sosna zwyczajna (*Pinus Sylvestris* L.) z sukcesji na centralnym zwałowisku odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Roczniki Gleboznawcze* 57(1/2), 183-191.
200. Strzałkowski P., Kaźmierczak U. 2014. Zakres prac rolnego i leśnego kierunku rekultywacji w kopalniach górnictwa skalnego. *Mining Science* 21(1), 203-213.
201. Strzyszczyński Z. 1982. Oddziaływanie przemysłu na środowisko glebowe i możliwości jego rekultywacji. Polska Akademia Nauk, Oddział w Katowicach, Komisja Ochrony Środowiska Człowieka Regionów Przemysłowych, ss. 91.
202. Strzyszczyński Z. 1995. Przekształcenia geomechaniczne, hydrologiczne i chemiczne pokrywy glebowej w województwie katowickim. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 418(1), 117-126.
203. Strzyszczyński Z. 2004. Bezglebowa metoda rekultywacji terenów poprzemysłowych w woj. śląskim - osiągnięcia i zagrożenia. *Roczniki Gleboznawcze* 55(2), 405-418.
204. Strzyszczyński Z., Harabin Z. 2004. Rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie odpadów górnictwa węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem centralnych zwałowisk.

- Prace i Studia Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze, 61, ss.106. ISBN 83-921514-1-0.
205. Strzyszczyński Z., Krzaklewski W., Harabin Z. 1981. Wpływ nawożenia mineralnego na samorzutne zarastanie zwałowiska odpadów górnictwa węgla kamiennego „Smolnica” w toku jego leśnej rekultywacji. *Archiwum Ochrony Środowiska* 1, 161-173.
 206. Systematyka Gleb Polski. 1974. *Roczniki Gleboznawcze* 25(1), 1-149.
 207. Systematyka Gleb Polski. 1989. *Roczniki Gleboznawcze* 40(3/4), 1-150.
 208. Systematyka Gleb Polski. 2011. *Soil Science Annual* 62(3), 1-193.
 209. Systematyka Gleb Polski. 2019. Soil Science Society of Poland, Commission on Soil Genesis, Classification and Cartography. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Wrocław-Warszawa, ss. 235. ISBN 978-83-7717-321-3.
 210. Szerszeń L. 1999. Przyczyny i skutki degradacji gleb. [W:] Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego Bieszczad (Sobota S. red). Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 307-322. ISBN: 83-87866-61-X.
 211. Szewczyk M., Kacprzak M. 2013. Górnictwo odkrywkowe wapieni i margli w Polsce. Zasoby, wydobywanie i stan zagospodarowania złóż. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 29(2), 69-77. DOI: 10.2478/gospo-2013-0021.
 212. Szołtyk G., Hilszczańska D. 2003. Rewitalizacja gleb w szkółkach leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ss. 44. ISBN 83-88478-61-3.
 213. Szopka K., Szerszeń L., Rajchert J. 2005. Oddziaływanie rekultywacji leśnej na kształtowanie się właściwości gleb na zwałowisku zewnętrznym po eksploatacji węgla brunatnego w KBW „Bełchatów”. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 506, 479-484.
 214. Śliwińska-Wyrzychowska A., Bogdanowicz M., Musielińska R., Bąbelewska A., Witkowska E. 2014. Krajobrazowe i botaniczne walory nieczynnego kamieniołomu Lipówka w Rudnikach koło Częstochowy. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* 26/2014, 45-55.
 215. Tong R. 2009. Biodiversity conservation at mineral extraction sites. *European Geologists* 28, 27-28.
 216. Turski R. 1996. Substancja organiczna i jej znaczenie w ekosystemach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 437, 375-381.
 217. Urban J., Wróblewski T. 2004. Chęciny–Kielce landscape park—An example of officially not proclaimed geopark. *Polish Geological Institute Special Papers* 13, 131-135.

218. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (tj. Dz. U. z 2024r. poz. 82).
219. Uzarowicz Ł., Charzyński P., Greiner, A., Hulisz P., Kabała C., Kusza G., Kwasowski W., Pędziwiatr A. 2020. Studies of technogenic soils in Poland: past, present, and future perspectives. *Soil Science Annual* 71(4), 281-299. DOI: 10.37501/soilsa/131615.
220. Węgorek T. 1995. Zmiany właściwości utworów piaszczystych na zwałowisku zewnętrznym kopalni siarki w wyniku rekultywacji leśnej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 418(2), 731-736.
221. Włoczewski T. 1968. Ogólna hodowla lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa, ss. 499.
222. Woś B., Pietrzykowski M. 2019. Wpływ gatunków drzew na zawartość makropierwiastków i właściwości gleb inicjalnych w warunkach zrehabilitowanego wyrobiska popiaskowego. *Sylwan* 163(05), 407-414. DOI:10.26202/sylwan.2018151.
223. Woś B., Pietrzykowski M., Pająk, M. 2018. Wpływ składu gatunkowego drzewostanów na cechy jakościowe próchnicy glebowej tworzącej się na zrehabilitowanym wyrobisku popiaskowym. *Quarterly of Environmental Engineering and Design* 169, 71-79. DOI: 10.5604/01.3001.0012.2175.
224. Wójcik J., Kowalik S. 2006. Kształtowanie się wybranych właściwości inicjalnej gleby na zrehabilitowanej w kierunku leśnym hałdzie górnictwa miedzi. *Inżynieria Środowiska/Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie* 11(1), 87-99.
225. Wójcik J., Kowalik S. 2014. The content of the organic carbon and total nitrogen in the soil of the reclaimed repository of the Sulphur Mine "Machów" after many years of agricultural and forestry management. *Geomatics and Environmental Engineering* 8(4), 91-101. DOI: 10.7494/geom.2014.8.4.91.
226. Wójcik J., Krzaklewski W. 2007. Akumulacja materii organicznej w inicjalnych glebach na zwałowisku zewnętrznym kopalni węgla brunatnego „Adamów”. *Roczniki Gleboznawcze* 58(3/4), 151-159.
227. Wójcik J., Krzaklewski W. 2009. Forestation as the method of the remediation of soilless areas of the lignite mine Turów. *Mineral Resources Management* 25(3), 171-187.
228. Wójcik J., Krzaklewski W. 2019. Zalesienia jako metoda rekultywacji terenów bezglebowych w górnictwie węgla brunatnego w Polsce. *Inżynieria Ekologiczna* 20(1), 24-37. DOI:10.12912/23920629/106204.

- 229. WRB – Światowa baza referencyjna zasobów glebowych 2014. Międzynarodowy system klasyfikacji gleb (aktualizacja 2015). Tłum. Kabala C., Charzyński P., Bednarek R. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. ISBN 978-83-934096-7-9.
- 230. Zachariasz A. 2003. Park w kamieniołomie. [w:] Kształtowanie krajobrazu terenów poeksploatacyjnych w górnictwie. Międzynarodowa Konferencja Naukowa, AGH Kraków, Politechnika Krakowska, Komisja Urbanistyki i Architektury PAN O/Kraków, Kraków, 102-111.
- 231. Zawadzki D. 2013. Wykorzystanie zalanych kamieniołomów i wyrobisk pokopalnianych w turystyce specjalistycznej-nurkowanie rekreacyjne. Współczesne problemy badań geograficznych, Wybrane problemy geografii turystyki, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 255-267.
- 232. Zawadzki S., Bednarek R., Białousz S., Dobrzański B., Gliński J., Gonet S. S., Walczak, R. T. 1999. Gleboznawstwo: podręcznik dla studentów: praca zbiorowa. Wyd. IV poprawione i uzupełnione. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, ss. 560, ISBN 830901703-0.
- 233. Zielony R., Kliczkowska A. 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, ss. 356.
- 234. Zmiana Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Gogolin, 2 edycja (2022). Załącznik Nr 1 do uchwały Nr LVIII/628/2022 z dnia 29 listopada 2022.
- 235. Zarządzenie Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Opolu z dnia 4 stycznia 2023 r. w sprawie uznania za rezerwat przyrody „Gogolińskie Gniewosze” (Dz. Urz. Woj. Op. z 2023 r. poz. 105).

12. Spis tabel

Tab. 1. Struktura wydobycia wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego w poszczególnych województwach w 2021 r. (Szewczyk i Kacprzak 2013, Bilans zasobów 2022)	10
Tab. 2. Stan degradacji gleb na podstawie wartości wskaźnika C/N (Siuta 1998)	33
Tab. 3. Klasy przydatności gruntów na potrzeby rekultywacji według Skawiny i Trafas (Gołda 2005)	35
Tab. 4. Skład chemiczny warstwy góraždzańskiej w latach 1969 i 2006	41
Tab. 5. Skład chemiczny warstwy terebratulowej w latach 1969 i 2006	42
Tab. 6. Skład chemiczny warstwy karchowickiej w latach 1969 i 2006 Źródło: Dokumentacja geologiczna 1969, Plan ruchu, Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej 2006	43
Tab. 7. Charakterystyka powierzchni badawczych zlokalizowanych na terenie wyrobiska kopalni wapienia „Góraždze”	52
Tab. 8. Lokalizacja odkrywek glebowych z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu	53
Tab. 9. Wartość wskaźnika litologicznego (W_L) w zależności od zawartości frakcji pyłowej i iłowej	58
Tab. 10. Wartość wskaźnika szkieletowego (W_{sz}) w zależności od zawartości części szkieletowych	58
Tab. 11. Wartość wskaźnika wapniowego (W_{Ca}) w zależności od zawartości węglanu wapnia	58
Tab. 12. Wartość wskaźnika informującego o odczynie (W_{pH}) w zależności od wartości pH_{KCl}	58
Tab. 13. Wartość wskaźnika pojemnościowego (W_T) w zależności od wartości pojemności sorpcyjnej T	58
Tab. 14. Wartość wskaźnika przemian materii organicznej ($W_{C/N}$) w zależności od wartości C/N	59
Tab. 15. Wartość wskaźnika fosforowego (W_P) w zależności od zawartości fosforu przyswajalnego	59
Tab. 16. Skala określająca udatność rekultywacji	59
Tab. 17. Czynniki parametryzujące wybrane właściwości gleb	60
Tab. 18. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=40)=35,79234$ $p=0,0000$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz wartości pH_{KCl} dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym	93
Tab. 19. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa $H(3, N=21)=18,94947$ $p=0,0003$ dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz wartości pH_{KCl} dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym	94

Tab. 20. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 130) =52,038 p =0,0001 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości CaCO ₃ dla utworów piaszczystych	98
Tab. 21. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (2, N= 112) =35,403 p =0,0001 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości CaCO ₃ dla utworów gliniastych	98
Tab. 22. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 40) =26,25939 p=0,0001 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym.....	118
Tab. 23. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 36)=17,75389 p =0,0005 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym.....	118
Tab. 24. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 1)=12,11471 p=0,0070 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym	119
Tab. 25. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N=21)=17,70419 p =0,0005 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości Corg dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym.....	119
Tab. 26. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 40) = 34,37838 p = 0,0001 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym.....	124
Tab. 27. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 36) = 13,92508 p = 0,0030 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu sosny zwyczajnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym.....	124
Tab. 28. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 21) = 13,81829 p = 0,0032 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 0-10 cm w profilu glebowym.....	125
Tab. 29. Wartości p w teście Kruskala-Wallisa H (3, N= 21) = 19,63190 p = 0,0002 dla porównań w grupach przyjętych przedziałów wieku powierzchni oraz zawartości azotu dla utworów spod okapu olszy czarnej pobranych z głębokości 10-30 cm w profilu glebowym.....	125
Tab. 30. Wartości wskaźnika jakości gruntów wg Skawiny i Trafas (liczba bonitacyjna) wraz z przypisaną klasą gruntu	130
Tab. 31. Wartości indeksu trofizmu gleb leśnych (ITGL) wraz z przyporządkowaniem troficzności gleb oraz wskazaniem potencjalnego typu siedliskowego lasu	131
Tab. 32. Obliczone wartości wskaźnika WGP _{Ca} dla badanych gleb	133
Tab. 33. Klasyfikacja badanych gleb technogenicznych w aspekcie udatności rekultywacji na podstawie obliczonego wskaźnika WGP _{Ca}	134

Tab. 34. Wyniki analizy składu granulometrycznego według Klasyfikacji uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG 2008.....	178
Tab. 35. Zawartość węglanu wapnia, pH i przewodność elektryczna w badanych glebach..	183
Tab. 36. Wyniki oznaczeń kwasowości hydrolitycznej, sumy zasad, zawartości kationów, pojemności sorpcyjnej i stopnia wzbogacenia kationami o charakterze zasadowym.....	186
Tab. 37. Udział procentowy poszczególnych kationów zasadowych	190
Tab. 38. Zawartość składników przyswajalnych w badanych glebach.....	193
Tab. 39. Zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego oraz wartość stosunku C/N w analizowanych próbkach gleb.....	197

13. Spis rysunków

Rys. 1. Udział procentowy gruntów objętych działalnością górnictw z uwzględnieniem rodzaju kopaliny w 2022 r. Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022)	7
Rys. 2. Wydobycie wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego w Polsce w latach 2002-2021 Źródło: Opracowanie własne na podstawie Bilansu zasobów złóż kopalin 2002-2021 (2022).....	9
Rys. 3. Powierzchnia gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w okresach pięcioletnich obejmujących lata (1975-2020) oraz rok 2021 w Polsce	11
Rys. 4. Udział powierzchni gruntów zdewastowanych i zdegradowanych według działalności w Polsce Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022)	11
Rys. 5. Powierzchnia gruntów rolnych i leśnych (ha) przeznaczonych w Polsce w roku 2021 na cele nierolnicze i nieleśne, według kierunku wyłączenia Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022).....	12
Rys. 6. Grunty wymagające rekultywacji i zrehabilitowane w latach 2012-2021 w Polsce Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS (2022).....	15
Rys. 7. Powierzchni gruntów objętych różnymi kierunkami rekultywacji w Polsce w latach 2012-2021 Źródło: opracowanie własne, na podstawie Gonda-Soroczyńska i Kubicka (2016), GUS (2022)	16
Rys. 8. Diagram klimatyczny dla stacji Opole dla lat 1998-2022, stacja meteorologiczna w Opolu Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych: IMGW Instytut Badawczy, https://danepubliczne.imgw.pl).....	39
Rys. 9. Wydobycie wapienia w kopalni „GóraŹdże” w 5-letnich okresach - lata 1977-2022 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce 1978-2023, https://www.pgi.gov.pl/bilans-zasobow)	46
Rys. 10. Wielkość powierzchni zrehabilitowanych gruntów poeksploatacyjnych w kopalni wapienia „GóraŹdże” w poszczególnych pięcioleciach Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalni „GóraŹdże” (2023)	48
Rys. 11. Lokalizacja powierzchni badawczych na obszarze wyrobiska kopalni „GóraŹdże” Źródło: Opracowanie własne na podstawie mapy górnictwej (2024).....	51
Rys. 12. Rozkład zawartości frakcji granulometrycznej powyżej 2 mm (części szkieletowe) w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)	85
Rys. 13. Rozkład zawartości frakcji granulometrycznej 0,002-0,05 mm (pyłu) w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste).....	88
Rys. 14. Rozkład zawartości frakcji granulometrycznej poniżej 0,002 mm (iłu) w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste).....	89
Rys. 15. Rozkład wartości pH KCl w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste).....	92

Rys. 16. Rozkład wartości pH KCl w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny	93
Rys. 17. Rozkład wartości pH KCl w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy.....	94
Rys. 18. Rozkład zawartości węglanu wapnia w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)	97
Rys. 19. Rozkład wartości CaCO_3 w próbach gleb mineralnych pobranych z utworów piaszczystych wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu	99
Rys. 20. Rozkład wartości CaCO_3 w próbach gleb mineralnych pobranych z utworów gliniastych wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu	99
Rys. 21. Rozkład wartości pojemności sorpcyjnej gleby (prób mineralnych) pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste).....	106
Rys. 22. Rozkład wartości P_2O_5 w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)	110
Rys. 23. Rozkład wartości K_2O w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)	112
Rys. 24. Rozkład wartości Mg w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P - utwory piaszczyste, G - utwory gliniaste)	114
Rys. 25. Rozkład wartości Corg w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)	117
Rys. 26. Rozkład wartości Corg w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny	120
Rys. 27. Rozkład wartości Corg w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny zwyczajnej	120
Rys. 28. Rozkład wartości Corg w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej	121
Rys. 29. Rozkład wartości Corg w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej	121

Rys. 30. Rozkład wartości N w próbach mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste)	123
Rys. 31. Rozkład wartości azotu w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny zwyczajnej	126
Rys. 32. Rozkład wartości N w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu sosny zwyczajnej	126
Rys. 33. Rozkład wartości azotu w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 0-10 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej	127
Rys. 34. Rozkład wartości azotu w próbach gleb mineralnych pobranych z warstwy 10-30 cm z utworów wykorzystanych do rekultywacji z uwzględnieniem przedziałów wiekowych drzewostanu olszy czarnej	127
Rys. 35. Rozkład wartości stosunku C/N obliczony dla prób mineralnych pobranych z badanych obiektów z rozróżnieniem na rodzaj zastosowanego materiału do rekultywacji (P- utwory piaszczyste, G- utwory gliniaste).....	129
Rys. 36. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu 0-5 lat	135
Rys. 37. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu 6-15 lat	135
Rys. 38. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu 16-25 lat	136
Rys. 39. Analiza podobieństwa pomiędzy badanymi wskaźnikami otrzymanymi dla klasy wieku drzewostanu powyżej 25 lat	136

14. Załączniki tabelaryczne

Tab. 34. Wyniki analizy składu granulometrycznego według Klasyfikacji uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG 2008

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Udział procentowy frakcji (mm)													Grupa i podgrupa
			>2 mm	<2 mm	2 - 1 mm	1 – 0,5 mm	0,5 - 0,25 mm	0,25 - 0,1 mm	0,1 - 0,05 mm	Σ piasku 2,0-0,05 mm	0,05 – 0,02 mm	0,02 – 0,005 mm	0,005 – 0,002 mm	Σ pyłu 0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	
1RL	A _{caq}	0-10	8	92	10	14	22	14	9	69	5	10	7	22	9	gp
	B _{wcaq}	10-20	6	94	6	13	23	17	8	67	6	7	7	20	13	gp
	B _{wcaq} C _{caq}	20-25	23	77	4	15	24	16	8	67	7	6	7	20	13	gp
2RL	A	0-15	0	100	6	15	34	19	10	84	6	7	1	14	2	pg
	Bv	15-35	1	99	2	17	41	22	8	90	3	3	4	10	0	pl
	BvC	35-50	2	98	2	16	38	24	10	90	3	5	2	10	0	pl
	C	<50	1	99	2	12	38	24	14	90	4	4	2	10	0	pl
3RL	A	0-10	1	99	4	9	35	28	12	88	6	2	1	9	3	ps
	C1	10-30	7	93	2	13	38	27	12	92	2	2	1	5	3	ps
	C2	30-60	5	95	4	23	50	11	5	93	1	2	2	5	2	pl
	C2	60-80	2	98	4	28	46	11	5	94	1	4	1	6	0	pl
	C2	80-85	10	90	16	39	28	10	2	95	1	3	0	4	1	pl
	C2	85-100	8	92	16	46	32	3	1	98	0	2	0	2	0	pl
	C2	<100	11	89	15	42	37	3	1	98	0	2	0	2	0	pl
4RR	AB _w	0-20	5	95	6	9	19	14	8	56	8	8	8	24	20	gl
	AB _w	20-35	7	93	6	10	20	13	15	64	2	8	10	20	16	gl
	B _w	35-45	18	82	9	9	18	14	11	61	5	7	8	20	19	gl

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Udział procentowy frakcji (mm)													
			>2 mm	<2 mm	2 - 1 mm	1 – 0,5 mm	0,5 - 0,25 mm	0,25 - 0,1 mm	0,1 - 0,05 mm	Σ piasku 2,0-0,05 mm	0,05 – 0,02 mm	0,02 – 0,005 mm	0,005 – 0,002 mm	Σ pyłu 0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	Grupa i podgrupa
5Z	Ca1	0-10	10	90	1	28	45	15	4	93	3	0	0	3	4	ps
	Ca2	10-30	7	93	2	24	44	17	4	91	3	0	2	5	4	ps
	C3	30-50	8	92	1	37	40	14	2	94	1	2	0	3	3	pl
	C3	50-70	10	90	0	38	41	12	3	94	1	3	0	4	2	pl
	C3	70-100	4	96	2	33	45	14	1	95	1	1	0	2	3	pl
	C4	100-120	4	96	4	22	42	16	5	89	4	1	1	6	5	ps
6Z	C1	0-10	30	70	2	12	16	12	5	47	12	9	6	27	26	gpi
	C1	10-30	30	70	0	12	18	12	5	47	7	12	6	25	28	gpi
	C1	30-50	33	67	4	15	18	14	3	54	6	10	2	18	28	gpi
	C2	50-70	33	67	1	18	19	10	3	51	4	7	2	13	36	ip
7Z	C1	0-10	40	60	2	10	12	16	3	43	5	13	10	28	29	gi
	C1	10-30	42	58	1	8	11	15	3	38	7	13	9	29	33	gi
	C1	30-50	14	86	0	8	10	14	4	36	4	16	6	26	38	gi
	C1	50-80	48	52	0	9	10	13	5	37	6	15	12	33	30	gi
	C2	80-100	63	37	1	11	12	13	7	43	5	16	9	30	27	gz
	C3	100-120	10	90	0	7	10	14	2	33	2	12	12	26	41	iz
8Z	Ca1	0-10	25	75	0	35	42	7	4	88	1	2	2	5	7	pg
	Ca2	10-30	6	94	2	25	36	20	5	88	4	3	0	7	5	ps
	Ca3	30-50	6	94	3	22	23	17	8	73	10	4	3	17	10	gp

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Udział procentowy frakcji (mm)													
			>2 mm	<2 mm	2 - 1 mm	1 – 0,5 mm	0,5 - 0,25 mm	0,25 - 0,1 mm	0,1 - 0,05 mm	Σ piasku 2,0-0,05 mm	0,05 – 0,02 mm	0,02 – 0,005 mm	0,005 – 0,002 mm	Σ pyłu 0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	Grupa i podgrupa
	Ca4	<50	13	87	3	29	34	18	5	89	1	4	0	5	6	ps
9Z	Ca1	0-10	4	96	0	23	42	24	3	92	3	1	1	5	3	ps
	Ca1	10-30	11	89	4	21	41	23	3	92	2	2	0	4	4	ps
	Ca2	30-50	10	90	2	21	42	23	5	93	2	0	1	3	4	ps
	Ca3	50-70	2	98	3	29	47	16	2	97	0	1	1	2	1	pl
	C3	70-90	5	95	0	25	52	17	2	96	0	2	0	2	2	pl
10Z	Ca1	0-10	7	93	7	11	16	11	2	47	10	12	10	32	21	gz
	Ca2	10-30	43	57	0	12	17	10	9	48	8	11	8	27	25	gpi
	Ca2	30-50	12	88	6	11	14	10	4	45	5	13	8	26	29	gpi
	Ca3	50-70	41	59	9	10	15	11	3	48	2	14	14	30	22	gz
11Z	A	0-10	32	68	2	16	21	17	6	62	9	13	6	28	10	gl
	Ca1	10-30	21	79	3	14	23	20	6	66	7	12	6	25	9	gp
	Ca2	30-50	2	98	1	22	30	19	6	78	6	6	2	14	8	pg
	Ca2	50-70	13	87	6	26	30	15	5	82	5	4	4	9	9	pg
	Ca3	70-90	12	88	5	28	38	16	3	90	1	5	1	7	3	ps
	Ca4	<90	9	91	1	20	34	18	6	79	6	4	3	13	8	pg
12Z	Ca1	0-20	42	58	0	11	18	21	4	54	5	13	8	26	20	gl
	Ca1	20-30	22	78	0	9	17	24	6	56	1	14	9	24	20	gl
	Ca2	30-50	23	77	1	8	12	18	3	42	7	18	10	35	23	gz

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Udział procentowy frakcji (mm)													
			>2 mm	<2 mm	2 - 1 mm	1 – 0,5 mm	0,5 - 0,25 mm	0,25 - 0,1 mm	0,1 - 0,05 mm	Σ piasku 2,0-0,05 mm	0,05 – 0,02 mm	0,02 – 0,005 mm	0,005 – 0,002 mm	Σ pyłu 0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	Grupa i podgrupa
	Ca3	50-70	5	95	1	11	20	28	3	63	4	5	5	14	23	gpi
13Z	Ca	0-5	43	57	0	16	18	14	6	54	8	17	11	36	10	gl
14Z	A	0-0,5	2	98	2	14	22	28	4	70	1	4	4	9	21	gpi
	Ca1	0,5-20	13	87	0	10	21	30	3	64	1	6	14	21	15	gl
	Ca2	20-40	4	96	0	11	26	31	5	73	2	5	3	10	17	gp
	Ca3	40-60	39	61	0	15	15	13	3	46	7	18	12	37	17	gz
15Z	A	0-10	5	95	8	22	33	15	9	86	1	4	3	8	6	pg
	Ca1	10-30	3	97	8	35	40	12	1	96	1	2	1	4	0	pl
	Ca1	30-40	1	99	2	30	55	10	1	98	0	2	0	2	0	pl
	Ca2	40-50	2	98	5	12	20	20	11	68	8	10	4	22	10	gp
	Ca3	<50	2	98	3	29	49	16	2	99	0	1	0	1	1	pl
16Z	A	0-10	13	87	12	25	25	11	4	77	5	3	4	12	11	gp
	Ca1	10-40	19	81	8	40	38	8	1	95	0	2	2	4	1	pl
	Ca2	< 40	31	69	19	20	19	6	8	72	3	9	6	18	10	gp
17Z	A	0-20	1	99	5	32	45	10	1	93	0	0	1	1	6	ps
	Ca	20-40	1	99	0	26	54	17	0	97	0	1	0	1	2	pl
	Ca	40-70	0	100	0	34	44	17	2	97	0	2	1	3	0	pl
	Ca	< 70	1	99	2	40	44	13	1	100	0	0	0	0	0	pl
18Z	A	0-20	4	96	4	18	27	28	7	84	5	5	2	12	4	pg

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Udział procentowy frakcji (mm)													Grupa i podgrupa
			>2 mm	<2 mm	2 - 1 mm	1 – 0,5 mm	0,5 - 0,25 mm	0,25 - 0,1 mm	0,1 - 0,05 mm	Σ piasku 2,0-0,05 mm	0,05 – 0,02 mm	0,02 – 0,005 mm	0,005 – 0,002 mm	Σ pyłu 0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	
	Ca1	20-40	4	96	4	12	36	30	5	87	2	5	0	7	6	pg
	Ca2	40-50	1	99	2	4	45	40	5	96	0	1	0	1	3	pl
	Ca3	<50	12	88	3	9	42	31	5	90	4	1	1	6	4	ps
19Z	A	0-5	4	96	1	25	43	22	1	92	1	2	2	5	3	ps
	Ca	5-40	4	96	2	24	45	25	2	98	1	0	1	2	0	pl
	Ca	40-60	2	98	4	21	50	23	1	99	0	0	0	0	1	pl
20Z	A	0-15	2	98	6	26	36	20	4	92	2	3	3	8	0	pl
	Ca	15-40	3	97	2	27	42	21	4	96	0	1	0	1	3	pl
	Ca	40-60	3	97	3	26	45	22	1	97	1	0	0	1	2	pl
	Ca	60-80	4	96	1	25	40	23	6	95	1	0	3	4	1	pl

Oznaczenia:

RL – gleba referencyjna leśna, RR – gleba referencyjna rolna, Z – gleba technogeniczna na zwałowisku zewnętrznym

pl- piasek luźny, ps- piasek słabogliniasty, pg – piasek gliniasty, gp – glina piaszczysta, gl – glina lekka, gpi – glina piaszczysto-ilasta, gz – glina zwykła, gi – glina ilasta, pyg – pył gliniasty, ip – ił piaszczysty, iz – ił zwykły

Tab. 35. Zawartość węgla wapnia, pH i przewodność elektryczna w badanych glebach

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	pH [-]		Przewodność elektryczna [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	CaCO ₃ [%]
			H ₂ O	KCl		
1RL	O _{fh}	2-0	7,20-7,17	7,06-7,10	660,50	7,00
	A _{caq}	0-10	6,63-6,66	5,92	140,55	0,41
	B _{wcaq}	10-20	6,65-6,73	6,33-6,36	159,95	0,76
	B _{wcaq} C _{caq}	20-25	7,31-7,40	6,90-6,91	172,45	1,14
2RL	O _l	1-0,5	5,37-5,39	5,02-5,12	811,50	0,87
	O _{fh}	0,5-0	5,60-5,63	5,16-5,17	551,00	0,82
	A	0-15	6,57-6,59	5,96-6,00	133,00	0,46
	B _v	15-35	6,07	4,89-4,90	29,75	0,25
	B _v C	35-50	5,80-5,83	4,58-4,62	29,55	0,17
	C	<50	5,38-5,45	4,30-4,32	19,86	0,21
3RL	O _l	1-0	5,35-5,43	5,09-5,12	756,50	0,89
	A	0-5	6,84-6,87	5,61-5,66	45,10	0,11
	C1	5-30	5,22-5,35	4,05	18,60	0,13
	C2	30-60	5,67-5,84	4,29-4,30	16,21	0,16
	C2	60-80	5,69-5,82	4,40-4,44	15,23	0,14
	C2	80-85	5,21-5,22	3,99-4,03	14,72	0,12
	C2	85-100	5,27-5,34	4,18	11,98	0,15
	C2	<100	5,50-5,64	4,25-4,26	11,66	0,16
4RR	AB _w	0-20	7,37-7,38	6,57-6,58	121,35	0,37
	AB _w	20-35	7,53-7,57	6,67-6,73	122,40	0,59
	B _w	35-45	7,82	7,01-7,05	136,00	1,07
5Z	Ca1	0-10	7,25-7,31	6,48-6,66	36,65	0,30
	Ca2	10-30	7,56-7,59	6,06-6,50	87,55	0,33
	Ca3	30-50	8,44-8,46	8,05-8,12	60,75	0,49
	Ca3	50-70	7,63-7,65	6,94-7,01	41,70	0,20
	Ca3	70-100	7,79-7,87	7,06-7,20	50,95	0,29
	Ca4	100-120	7,93-8,03	7,84-7,86	98,25	0,35
6Z	Ca1	0-10	8,47-8,52	7,68-7,69	126,30	26,63

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	pH [-]		Przewodność elektryczna [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	CaCO ₃ [%]
			H ₂ O	KCl		
	Ca1	10-30	8,40-8,41	7,58-7,62	133,10	22,05
	Ca1	30-50	8,42	7,53-7,54	121,95	26,90
	Ca2	50-70	8,06-8,14	7,24-7,27	136,90	15,05
7Z	Ca1	0-10	8,07-8,13	7,53-7,56	181,75	37,62
	Ca1	10-30	8,49-8,50	7,73	106,00	31,52
	Ca1	30-50	8,61-8,63	7,80-7,81	93,45	32,18
	Ca1	50-80	8,55-8,57	7,82-7,83	103,80	44,26
	Ca2	80-100	8,48-8,52	7,95-7,97	108,45	61,90
	Ca3	100-120	8,52-8,53	7,71-7,74	97,20	10,91
8Z	Ca1	0-10	8,14-8,17	8,02-8,04	141,45	4,74
	Ca2	10-30	8,36-8,41	7,87-7,94	77,45	0,39
	Ca3	30-50	7,97-8,01	6,74-6,76	35,70	0,20
	Ca4	<50	8,43-8,45	7,95-8,04	84,50	0,78
9Z	O ₁	0,5-0	5,75-5,77	5,50-5,51	724,00	2,19
	Ca1	0-10	7,90	7,73-7,76	92,05	0,28
	Ca1	10-30	8,14-8,16	8,00-8,02	87,05	0,33
	Ca2	30-50	8,24-8,28	7,81-7,93	63,80	0,20
	Ca3	50-70	7,83-7,97	6,67-6,71	19,13	0,26
	C3	70-90	7,64-7,67	6,95-6,97	31,75	0,17
10Z	Ca1	0-10	7,84-7,96	7,22-7,24	246,50	2,67
	Ca2	10-30	7,89-7,91	7,18-7,19	209,00	3,38
	Ca2	30-50	7,97-7,98	7,28	178,40	2,85
	Ca3	50-70	8,06	7,33	165,90	3,12
11Z	O _f	0,5-0	6,40-6,42	6,20-6,29	1146,5	5,85
	A	0-10	7,87-7,92	7,55-7,56	189,30	29,11
	Ca1	10-30	8,12-8,13	7,78-7,84	130,3	22,06
	Ca2	30-50	7,93	7,56-7,58	131,20	1,01
	Ca2	50-70	8,07-8,08	7,44-7,47	158,85	3,22
	Ca3	70-90	7,99-8,03	7,63-7,69	97,35	0,57
	Ca4	<90	8,15-8,19	7,74-7,76	100,85	0,48

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	pH [-]		Przewodność elektryczna [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	CaCO ₃ [%]
			H ₂ O	KCl		
12Z	Ca1	0-20	8,03-8,05	7,68-7,69	157,75	29,10
	Ca1	20-30	8,31-8,34	7,83-7,84	113,2	22,47
	Ca2	30-50	8,47-8,48	7,83-7,88	110,3	37,04
	Ca3	50-70	8,42-8,47	7,78-7,80	100,65	3,72
13Z	Ca	0-5	8,06-8,15	7,72-7,75	172,30	58,47
14Z	O _f	0,3-0	6,22-6,25	6,01-6,04	691,00	1,76
	A	0-0,5	7,74-7,77	7,36-7,37	208,00	3,50
	Ca1	0,5-20	8,14-8,15	7,66-7,67	123,2	0,89
	Ca2	20-40	8,12-8,16	7,44-7,54	96,00	0,87
	Ca3	40-60	8,58-8,60	8,20-8,21	108,05	74,32
15Z	O _i	0,5-0	6,37-6,43	6,23-6,29	811,50	1,37
	A	0-10	7,85-7,89	7,63	551,00	3,30
	Ca1	10-30	7,61-7,73	7,31-7,40	133,00	0,19
	Ca1	30-40	7,68-7,80	6,95-7,04	29,75	0,09
	Ca2	40-50	8,05	7,10-7,17	29,55	0,28
	Ca3	<50	7,32-7,38	7,23-7,24	19,86	0,15
16Z	O _i	0,5-0	6,79	6,47-6,48	1271,50	10,96
	A	0-10	7,85-7,86	7,51-7,53	167,05	5,17
	Ca1	10-40	7,13-7,21	6,65-6,85	40,40	0,14
	Ca2	<40	8,02-8,03	7,79-7,83	130,85	59,05
17Z	O _f	0,5-0	4,85-4,91	4,50-4,53	649,00	1,11
	A	0-20	7,17-7,20	5,98-6,05	19,53	0,26
	Ca	20-40	6,31	4,72-4,81	23,76	0,20
	Ca	40-70	5,88-5,99	4,55-4,57	21,31	0,17
	Ca	<70	8,12-8,15	7,96-7,98	76,25	0,26
18Z	A	0-20	6,19-6,20	5,34-5,36	85,8	0,14
	Ca1	20-40	8,12-8,14	7,95-7,98	143,30	0,72
	Ca2	40-50	8,47-8,59	8,31-8,37	160,55	0,32
	Ca3	<50	8,43-8,46	8,28-8,32	226,00	0,64
19Z	O _i	0,3-0	4,91-4,99	4,53-4,54	570,05	0,14

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	pH [-]		Przewodność elektryczna [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	CaCO ₃ [%]
			H ₂ O	KCl		
	A	0-5	7,42-7,48	6,37-6,49	28,25	0,22
	Ca	5-40	7,63-7,70	6,46-6,51	22,57	0,15
	Ca	40-60	7,65-7,70	6,47-6,52	26,95	0,14
	Ca	60-80	8,16-8,17	7,54-7,59	50,10	0,31
20Z	A	0-15	6,54-6,55	5,68-5,71	29,85	0,18
	Ca	15-40	8,24-8,30	7,90-7,93	47,00	0,21
	Ca	40-60	7,69-7,72	6,90-6,91	19,97	0,18
	Ca	60-80	8,16-8,17	7,54-7,59	50,10	0,31

Tab. 36. Wyniki oznaczeń kwasowości hydrolitycznej, sumy zasad, zawartości kationów, pojemności sorpcyjnej i stopnia wzbogacenia kationami o charakterze zasadowym

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	H _h	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	V
			[cmol(+)kg ⁻¹]					[%]		
1RL	O _{fh}	2-0	5,40	37,07	1,08	0,66	0,18	38,99	44,39	87,84
	A _{caq}	0-10	3,24	17,16	0,39	0,16	0,15	17,86	21,10	83,22
	B _{wcaq}	10-20	1,75	10,94	0,12	0,08	0,14	11,28	13,03	86,57
	B _{wcaq} C _{caq}	20-25	0,70	15,57	0,10	0,10	0,12	15,89	16,59	95,78
2RL	O _l	1-0,5	34,00	22,79	2,01	2,20	0,21	27,21	61,21	44,45
	O _{fh}	0,5-0	28,20	19,30	1,38	1,03	0,22	21,93	50,13	43,75
	A	0-15	2,48	13,56	0,31	0,13	0,11	14,11	16,59	85,05
	B _v	15-35	1,80	2,24	0,08	0,03	0,10	2,45	4,25	57,65
	B _v C	35-50	1,58	1,64	0,07	0,03	0,10	1,84	3,42	53,80
	C	< 50	0,98	1,84	0,06	0,04	0,07	2,01	2,99	67,22
3RL	O _l	1-0	28,80	22,60	0,84	1,46	0,41	25,31	54,11	46,78
	A	0-5	0,90	3,34	0,17	0,10	0,09	3,70	4,60	80,43
	C1	5-30	0,90	1,87	0,10	0,05	0,08	2,10	3,00	70,00
	C2	30-60	0,60	2,03	0,17	0,05	0,10	2,35	2,95	79,66
	C2	60-80	0,52	1,71	0,07	0,04	0,06	1,88	2,40	78,33
	C2	80-85	0,68	1,20	0,06	0,03	0,07	1,36	2,04	66,66

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	H _h	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	V
			[cmol(+)kg ⁻¹]					[%]		
	C2	85-100	0,60	1,10	0,06	0,03	0,08	1,27	1,87	69,91
	C2	<100	0,45	1,27	0,06	0,03	0,07	1,43	1,88	76,06
4RR	AB _w	0-20	1,05	13,88	0,39	0,98	0,12	15,37	16,42	93,61
	AB _w	20-35	0,83	14,54	0,32	0,84	0,11	15,81	16,64	95,01
	B _w	35-45	0,52	17,66	0,23	0,56	0,12	18,57	19,09	97,28
5Z	Ca1	0-10	0,15	3,94	0,07	0,03	0,08	4,12	4,27	96,49
	Ca2	10-30	0,22	5,40	0,08	0,04	0,07	5,59	5,81	96,21
	Ca3	30-50	0,00	5,45	0,06	0,03	0,08	5,62	5,62	100,00
	Ca3	50-70	0,15	3,09	0,06	0,03	0,09	3,27	3,42	95,61
	Ca3	70-100	0,19	3,07	0,06	0,03	0,07	3,23	3,42	94,44
	Ca4	100-120	0,08	5,37	0,07	0,03	0,08	5,55	5,63	98,58
6Z	Ca1	0-10	0,18	25,69	0,62	0,43	0,16	26,90	27,08	99,34
	Ca1	10-30	0,39	25,99	0,31	0,31	0,16	26,77	27,16	98,56
	Ca1	30-50	0,39	27,82	0,20	0,22	0,15	28,39	28,78	98,64
	Ca2	50-70	0,48	29,36	0,25	0,24	0,15	30,00	30,48	98,42
7Z	Ca1	0-10	0,38	19,90	0,15	0,63	0,12	20,80	21,18	98,21
	Ca1	10-30	0,28	23,92	0,13	0,29	0,11	24,45	24,73	98,87
	Ca1	30-50	0,10	25,28	0,13	0,24	0,12	25,77	25,87	99,61
	Ca1	50-80	0,10	23,54	0,14	0,19	0,13	24,00	24,10	99,59
	Ca2	80-100	0,18	19,40	0,13	0,12	0,09	19,74	19,92	99,10
	Ca3	100-120	0,14	25,33	0,13	0,24	0,16	25,86	26,00	99,46
8Z	Ca1	0-10	0,00	28,13	0,15	0,08	0,09	28,45	28,45	100,00
	Ca2	10-30	0,00	10,40	0,14	0,06	0,07	10,67	10,67	100,00
	Ca3	30-50	0,18	6,66	0,35	0,07	0,09	7,17	7,35	97,55
	Ca4	<50	0,00	18,57	0,20	0,07	0,10	18,94	18,94	100,00
9Z	O _l	0,5-0	31,20	21,87	1,68	2,65	0,18	26,38	57,58	45,81
	Ca1	0-10	0,08	4,52	0,13	0,12	0,11	4,88	4,96	98,39
	Ca1	10-30	0,04	4,14	0,09	0,18	0,09	4,50	4,54	99,12
	Ca2	30-50	0,15	2,77	0,07	0,03	0,08	2,95	3,10	95,16

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębo kość [cm]	H _h	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	V
			[cmol(+)kg ⁻¹]					[%]		
	Ca3	50-70	0,15	2,02	0,07	0,03	0,10	2,22	2,37	93,67
	C3	70-90	0,22	2,32	0,07	0,04	0,10	2,53	2,75	92,00
10Z	Ca1	0-10	0,52	25,86	0,76	0,65	0,12	27,39	27,91	98,14
	Ca2	10-30	0,52	26,07	0,51	0,35	0,10	27,03	27,55	98,11
	Ca2	30-50	0,52	29,99	0,34	0,17	0,11	30,61	31,13	98,33
	Ca3	50-70	0,35	29,70	0,48	0,18	0,13	30,49	30,84	98,87
11Z	O _f	0,5-0	17,60	25,68	2,63	3,09	0,23	31,63	49,23	64,25
	A	0-10	0,35	17,19	0,09	0,20	0,09	17,57	17,92	98,05
	Ca1	10-30	0,22	15,89	0,12	0,09	0,06	16,16	16,38	98,66
	Ca2	30-50	0,30	12,19	0,11	0,04	0,06	12,40	12,70	97,64
	Ca2	50-70	0,22	16,97	0,12	0,10	0,09	17,28	17,50	98,74
	Ca3	70-90	0,30	12,71	0,08	0,06	0,10	12,95	13,25	97,74
	Ca4	>90	0,22	13,63	0,09	0,05	0,11	13,88	14,10	98,44
12Z	Ca1	0-20	0,18	19,69	0,27	0,33	0,12	20,41	20,59	99,12
	Ca1	20-30	0,13	19,97	0,23	0,21	0,19	20,60	20,73	99,37
	Ca2	30-50	0,13	21,96	0,26	0,14	0,14	22,50	22,63	99,43
	Ca3	50-70	0,18	19,57	0,20	0,11	0,12	20,00	20,18	99,11
13Z	Ca	0-5	0,18	17,42	0,30	0,17	0,13	18,02	18,20	99,01
14Z	O _f	0,3-0	37,80	17,45	1,30	1,74	0,23	20,72	58,52	35,41
	A	0-0,5	0,35	19,33	0,35	0,43	0,12	20,23	20,58	98,30
	Ca1	0,5-20	0,26	26,69	0,22	0,18	0,11	27,20	27,46	99,05
	Ca2	20-40	0,09	12,22	0,21	0,12	0,12	12,67	12,76	99,29
	Ca3	40-60	0,09	20,93	0,22	0,10	0,12	21,37	21,46	99,58
15Z	O _l	0,5-0	8,80	22,81	1,03	1,57	0,23	25,64	34,44	74,45
	A	0-10	0,04	21,77	0,20	0,17	0,14	22,28	22,32	99,82
	Ca1	10-30	0,19	3,37	0,07	0,04	0,09	3,57	3,76	94,95
	Ca1	30-40	0,00	2,07	0,07	0,03	0,09	2,26	2,26	100,00
	Ca2	40-50	0,31	9,68	0,18	0,13	0,09	10,08	10,39	97,02
	Ca3	< 50	0,15	1,98	0,13	0,03	0,07	2,21	2,36	93,64
16Z	O _l	0,5-0	7,20	30,77	0,95	1,49	0,20	33,41	40,61	82,27

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	H _h	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	V
			[cmol(+)kg ⁻¹]					[%]		
	A	0-10	0,31	18,52	0,22	0,19	0,13	19,06	19,37	98,40
	Ca1	10-40	0,38	3,72	0,06	0,06	0,08	3,92	4,30	91,16
	Ca2	< 40	0,00	25,36	0,20	0,10	0,11	25,77	25,77	100,00
17Z	O _f	0,5-0	52,80	17,89	1,64	2,03	0,16	21,72	74,52	29,15
	A	0-20	0,68	2,32	0,08	0,07	0,09	2,56	3,24	79,01
	Ca	20-40	0,52	1,38	0,05	0,04	0,09	1,56	2,08	75,00
	Ca	40-70	0,82	0,94	0,05	0,04	0,07	1,10	1,92	57,29
	Ca	< 70	0,00	3,54	0,08	0,04	0,10	3,76	3,76	100,00
18Z	A	0-20	3,68	15,25	0,37	0,11	0,12	15,85	19,53	81,16
	Ca1	20-40	0,15	12,52	0,22	0,04	0,10	12,88	13,03	98,85
	Ca2	40-50	0,00	6,78	0,18	0,02	0,09	7,07	7,07	100,00
	Ca3	< 50	0,00	16,56	0,33	0,02	0,09	17,00	17,00	100,00
19Z	O _l	0,3-0	53,80	19,62	1,42	1,99	0,18	23,21	77,01	30,14
	A	0-5	0,38	3,17	0,10	0,05	0,08	3,40	3,78	89,95
	Ca	5-40	0,22	2,78	0,08	0,02	0,07	2,95	3,17	93,06
	Ca	40-60	0,15	2,61	0,10	0,03	0,08	2,82	2,97	94,95
20Z	A	0-15	1,28	4,44	0,14	0,06	0,09	4,73	6,01	78,70
	Ca	15-40	0,00	3,13	0,09	0,03	0,10	3,35	3,35	100,00
	Ca	40-60	0,22	2,49	0,08	0,03	0,11	2,71	2,93	92,49
	Ca	60-80	0,08	3,11	0,08	0,03	0,13	3,35	3,43	97,67

Tab. 37. Udział procentowy poszczególnych kationów zasadowych

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
			[%]				
1RL	O _{fh}	2-0	12,16	83,51	2,43	1,49	0,41
	A _{caq}	0-10	15,35	81,33	1,85	0,76	0,71
	B _{wcaq}	10-20	13,43	83,96	0,92	0,61	1,08
	B _{wcaq} C _{caq}	20-25	4,22	93,85	0,60	0,60	0,72
2RL	O _l	1-0,5	55,55	37,23	3,28	3,59	0,35
	O _{fh}	0,5-0	56,25	38,50	2,75	2,06	0,44
	A	0-15	14,95	81,74	1,87	0,78	0,66
	B _v	15-35	42,35	52,71	1,88	0,71	2,35
	B _v C	35-50	46,20	47,95	2,05	0,88	2,92
	C	<50	32,77	61,54	2,01	1,34	2,34
3RL	O _l	1-0	53,22	41,77	1,55	2,70	0,76
	A	0-5	19,56	72,61	3,70	2,17	1,96
	C1	5-30	30,00	62,33	3,33	1,67	2,67
	C2	30-60	20,34	68,81	5,76	1,69	3,39
	C2	60-80	21,67	71,25	2,92	1,67	2,50
	C2	80-85	33,33	58,82	2,94	1,47	3,43
	C2	85-100	32,09	58,82	3,21	1,60	4,28
	C2	<100	23,94	67,55	3,19	1,60	3,72
4RR	AB _w	0-20	6,39	84,53	2,38	5,97	0,73
	AB _w	20-35	4,99	87,38	1,92	5,05	0,66
	B _w	35-45	2,72	92,51	1,20	2,93	0,63
5Z	Ca1	0-10	3,51	92,27	1,64	0,70	1,87
	Ca2	10-30	3,79	92,94	1,38	0,69	1,20
	Ca3	30-50	0,00	96,98	1,07	0,53	1,42
	Ca3	50-70	4,39	90,35	1,75	0,88	2,63
	Ca3	70-100	5,56	89,77	1,75	0,88	2,05
	Ca4	100-120	1,42	95,38	1,24	0,53	1,42
6Z	Ca1	0-10	0,66	94,87	2,29	1,59	0,59
	Ca1	10-30	1,44	95,69	1,14	1,14	0,59

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
			[%]				
	Ca1	30-50	1,36	96,66	0,69	0,76	0,52
	Ca2	50-70	1,57	96,33	0,82	0,79	0,49
7Z	Ca1	0-10	1,79	93,96	0,71	2,97	0,57
	Ca1	10-30	1,13	96,72	0,53	1,17	0,44
	Ca1	30-50	0,39	97,72	0,50	0,93	0,46
	Ca1	50-80	0,41	97,68	0,58	0,79	0,54
	Ca2	80-100	0,90	97,39	0,65	0,60	0,45
	Ca3	100-120	0,54	97,42	0,50	0,92	0,62
8Z	Ca1	0-10	0,00	98,88	0,53	0,28	0,32
	Ca2	10-30	0,00	97,47	1,31	0,56	0,66
	Ca3	30-50	2,45	90,61	4,76	0,95	1,22
	Ca4	< 50	0,00	98,05	1,06	0,37	0,53
9Z	O _l	0,5-0	54,19	37,98	2,92	4,60	0,31
	Ca1	0-10	1,61	91,13	2,62	2,42	2,22
	Ca1	10-30	0,88	91,19	1,98	3,96	1,98
	Ca2	30-50	4,84	89,35	2,26	0,97	2,58
	Ca3	50-70	6,33	85,23	2,95	1,27	4,22
	C3	70-90	8,00	84,36	2,55	1,45	3,64
10Z	Ca1	0-10	1,86	92,65	2,72	2,33	0,43
	Ca2	10-30	1,89	94,63	1,85	1,27	0,36
	Ca2	30-50	1,67	96,34	1,09	0,55	0,35
	Ca3	50-70	1,13	96,30	1,56	0,58	0,42
11Z	O _f	0,5-0	35,75	52,16	5,34	6,28	0,47
	A	0-10	1,95	95,93	0,50	1,12	0,50
	Ca1	10-30	1,34	97,01	0,73	0,55	0,37
	Ca2	30-50	2,36	95,98	0,87	0,31	0,47
	Ca2	50-70	1,26	96,97	0,69	0,57	0,51
	Ca3	70-90	2,26	95,92	0,60	0,45	0,75
	Ca4	<90	1,56	96,67	0,64	0,35	0,78
12Z	Ca1	0-20	0,87	95,63	1,31	1,60	0,58

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
			[%]				
	Ca1	20-30	0,63	96,33	1,11	1,01	0,92
	Ca2	30-50	0,57	97,04	1,15	0,62	0,62
	Ca3	50-70	0,89	96,98	0,99	0,55	0,59
13Z	Ca	0-5	0,99	95,71	1,65	0,93	0,71
14Z	O _f	0,3-0	64,59	29,82	2,22	2,97	0,39
	A	0-0,5	1,70	93,93	1,70	2,09	0,58
	Ca1	0,5-20	0,95	97,20	0,80	0,66	0,40
	Ca2	20-40	0,71	95,77	1,65	0,94	0,94
	Ca3	40-60	0,42	97,53	1,03	0,47	0,56
15Z	O _l	0,5-0	25,55	66,23	2,99	4,56	0,67
	A	0-10	0,18	97,54	0,90	0,76	0,63
	Ca1	10-30	5,05	89,63	1,86	1,06	2,39
	Ca1	30-40	0,00	91,59	3,10	1,33	3,98
	Ca2	40-50	2,98	93,17	1,73	1,25	0,87
	Ca3	< 50	6,36	83,90	5,51	1,27	2,97
16Z	O _l	0,5-0	17,73	75,77	2,34	3,67	0,49
	A	0-10	1,60	95,61	1,14	0,98	0,67
	Ca1	10-40	8,84	86,51	1,40	1,40	1,86
	Ca2	< 40	0,00	98,41	0,78	0,39	0,43
17Z	O _f	0,5-0	70,85	24,01	2,20	2,72	0,21
	A	0-20	20,99	71,60	2,47	2,16	2,78
	Ca	20-40	25,00	66,35	2,40	1,92	4,33
	Ca	40-70	42,71	48,96	2,60	2,08	3,65
	Ca	<70	0,00	94,15	2,13	1,06	2,66
18Z	A	0-20	18,84	78,08	1,89	0,56	0,61
	Ca1	20-40	1,15	96,09	1,69	0,31	0,77
	Ca2	40-50	0,00	95,90	2,55	0,28	1,27
	Ca3	<50	0,00	97,41	1,94	0,12	0,53
19Z	O _l	0,3-0	69,86	25,48	1,84	2,58	0,23
	A	0-5	10,05	83,86	2,65	1,32	2,12

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
			[%]				
	Ca	5-40	6,94	87,70	2,52	0,63	2,21
	Ca	40-60	5,05	87,88	3,37	1,01	2,69
20Z	A	0-15	21,30	73,88	2,33	1,00	1,50
	Ca	15-40	0,00	93,43	2,69	0,90	2,99
	Ca	40-60	7,51	84,98	2,73	1,02	3,75
	Ca	60-80	2,33	90,67	2,33	0,87	3,79

Tab. 38. Zawartość składników przyswajalnych w badanych glebach

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	Składniki przyswajalne		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
			[mg·100g ⁻¹]		
1RL	O _{fh}	2-0	20,36	29,2	20,3
	A _{caq}	0-10	2,08	5,4	3,69
	B _{wcaq}	10-20	0,96	2,4	0,89
	B _{wcaq} C _{caq}	20-25	0,61	2,4	0,84
2RL	O _l	1-0,5	34,3	96,1	29,9
	O _{fh}	0,5-0	25,5	51,2	21,2
	A	0-15	1,66	5,4	3,69
	B _v	15-35	4,04	0,6	0,74
	B _v C	35-50	3,03	0,6	0,56
	C	< 50	0,97	0,6	0,60
3RL	O _l	1-0	25,8	65,8	21,4
	A	0-5	1,02	3,6	1,41
	C1	5-30	0,62	1,6	0,70
	C2	30-60	1,08	1,8	1,02
	C2	60-80	0,99	1,6	0,80
	C2	80-85	1,15	1,2	0,50
	C2	85-100	0,86	1,2	0,52

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	Składniki przyswajalne		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
			[mg·100g ⁻¹]		
	C2	<100	1,19	1,2	0,71
4RR	AB _w	0-25	37,3	36,4	4,07
	AB _w	25-35	31,5	31,3	3,32
	B _w	35-45	3,18	21,7	2,29
5Z	Ca1	0-10	1,52	1,0	0,45
	Ca2	10-30	1,14	1,6	0,78
	Ca3	30-50	1,71	1,2	0,74
	Ca3	50-70	2,49	0,9	0,49
	Ca3	70-100	1,37	1,2	0,52
	Ca4	100-120	1,24	1,2	0,65
6Z	Ca1	0-10	1,15	16,3	4,32
	Ca1	10-30	0,85	10,2	2,50
	Ca1	30-50	1,25	6,2	1,78
	Ca2	50-70	1,09	6,4	1,69
7Z	Ca1	0-10	1,44	27,3	1,60
	Ca1	10-30	0,97	10,2	1,47
	Ca1	30-50	1,01	6,8	1,53
	Ca1	50-80	0,86	7,0	1,38
	Ca2	80-100	0,75	4,4	1,02
	Ca3	100-120	0,71	6,8	1,22
8Z	Ca1	0-10	1,56	3,6	1,33
	Ca2	10-30	2,77	2,2	1,42
	Ca3	30-50	2,66	3,3	3,51
	Ca4	< 50	3,12	2,6	1,95
9Z	O _l	0,5-0	34,6	128,5	24,40
	Ca1	0-10	1,40	6,0	1,04
	Ca1	10-30	1,63	8,4	0,74
	Ca2	30-50	1,44	1,2	0,40
	Ca3	50-70	2,13	1,0	0,49
	C3	70-90	1,94	1,2	0,45

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	Składniki przyswajalne		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
			[mg·100g ⁻¹]		
10Z	Ca1	0-10	3,23	27,7	6,24
	Ca2	10-30	1,86	13,7	4,83
	Ca2	30-50	1,14	5,4	2,70
	Ca3	50-70	1,29	6,0	2,61
11Z	O _f	0,5-0	51,6	143,9	36,9
	A	0-10	1,27	9,2	0,18
	Ca1	10-30	0,77	3,3	0,73
	Ca2	30-50	1,22	1,8	0,66
	Ca2	50-70	1,08	4,6	1,13
	Ca3	70-90	1,40	1,8	0,70
	Ca4	< 90	0,94	1,8	0,91
12Z	Ca1	0-20	1,09	12,0	1,84
	Ca1	20-30	0,82	5,2	2,55
	Ca2	30-50	1,10	4,0	2,41
	Ca3	50-70	3,48	3,9	1,76
13Z	Ca	0-5	0,79	6,6	1,95
14Z	O _f	0,3-0	17,7	81,6	21,1
	A	0-0,5	2,23	17,9	3,14
	Ca1	0,5-20	1,15	6,9	1,60
	Ca2	20-40	1,91	3,6	1,74
	Ca3	40-60	0,67	3,0	1,47
15Z	O _i	0,5-0	15,2	71,5	18,5
	A	0-10	2,30	6,3	2,13
	Ca1	10-30	2,17	1,2	0,69
	Ca1	30-40	0,93	1,2	0,55
	Ca2	40-50	2,69	4,8	1,68
	Ca3	<50	1,72	0,6	1,35
16Z	O _i	0,5-0	22,2	73,2	24,3
	A	0-10	2,01	6,9	1,86
	Ca1	10-40	2,62	1,2	0,75

Nr profilu	Poziom glebowy	Głębokość [cm]	Składniki przyswajalne		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
			[mg·100g ⁻¹]		
	Ca2	<40	0,91	3,9	1,52
17Z	O _f	0,5-0	24,3	96,5	18,6
	A	0-20	0,76	1,8	0,50
	Ca	20-40	1,05	1,6	0,53
	Ca	40-70	1,17	1,5	0,44
	Ca	<70	1,21	1,2	0,53
18Z	A	0-20	2,19	3,9	3,50
	Ca1	20-40	1,21	1,6	1,93
	Ca2	40-50	1,30	0,6	1,62
	Ca3	<50	1,67	0,9	3,00
19Z	O _i	0,3-0	18,2	89,1	18,9
	A	0-5	1,19	2,2	1,01
	Ca	5-40	1,17	0,6	0,56
	Ca	40-60	1,20	1,2	0,85
20Z	A	0-15	2,14	2,2	1,50
	Ca	15-40	1,02	1,2	0,75
	Ca	40-60	0,98	1,0	0,87
	Ca	60-80	1,26	1,2	0,89

Tab. 39. Zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego oraz wartość stosunku C/N w analizowanych próbkach gleb

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Corg	N og	C/N
			[%]		
1RL	O _{fh}	2-0	18,56	0,78	23,8
	A _{caq}	0-10	4,26	0,28	15,2
	B _{wcaq}	10-20	1,46	0,12	12,2
	B _{wcaq} C _{caq}	20-25	1,44	0,15	9,6
2RL	O _l	1-0,5	41,88	0,87	48,1
	O _{fh}	0,5-0	20,38	1,00	20,4
	A	0-15	4,21	0,26	17,4
	Bv	15-35	0,67	0,06	11,2
	BvC	35-50	0,27	0,04	8,0
	C	< 50	0,09	0,04	2,2
3RL	O _l	1-0	36,19	0,75	48,2
	A	0-5	0,35	0,06	5,8
	C1	5-30	0,09	0,04	2,2
	C2	30-60	0,06	0,03	2,0
	C2	60-80	0,05	0,03	1,7
	C2	80-85	0,04	0,02	2,0
	C2	85-100	0,03	0,02	1,0
	C2	< 100	0,06	0,03	2,0
4RR	AB _w	0-20	2,23	0,24	9,3
	AB _w	20-35	2,24	0,18	12,4
	B _w	35-40	1,16	0,16	7,3
5Z	Ca1	0-10	0,05	0,03	1,7
	Ca2	10-30	0,03	0,03	1,0
	Ca3	30-50	0,08	0,04	2,0
	Ca3	50-70	0,06	0,03	2,0
	Ca3	70-100	0,09	0,04	2,2
	Ca4	100-120	0,05	0,03	1,7
6Z	Ca1	0-10	1,14	0,10	11,4
	Ca1	10-30	0,79	0,12	6,6
	Ca1	30-50	0,64	0,09	7,1
	Ca2	50-70	0,54	0,09	6,0
7Z	Ca1	0-10	0,88	0,13	6,8
	Ca1	10-30	0,27	0,07	3,9
	Ca1	30-50	0,15	0,06	2,5
	Ca1	50-80	0,27	0,08	3,4
	Ca2	80-100	0,40	0,07	5,7
	Ca3	100-120	0,16	0,07	2,3
8Z	Ca1	0-10	0,28	0,06	4,7
	Ca2	10-30	0,08	0,04	2,0
	Ca3	30-50	0,07	0,05	1,4
	Ca4	< 50	0,06	0,05	1,2
9Z	O _l	0,5-0	46,28	0,58	79,8
	Ca1	0-10	0,40	0,06	6,7

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Corg	N og	C/N
			[%]		
		Ca1	10-30	0,20	0,04
	Ca2	30-50	0,10	0,03	3,3
	Ca3	50-70	0,03	0,03	1,0
	C3	70-90	0,07	0,03	2,3
10Z	Ca1	0-10	3,86	0,35	11,0
	Ca2	10-30	3,22	0,29	11,1
	Ca2	30-50	2,66	0,23	11,6
	Ca3	50-70	3,07	0,26	11,8
11Z	O _f	0,5-0	42,40	0,78	54,3
	A	0-10	1,68	0,14	12,0
	Ca1	10-30	0,71	0,08	8,9
	Ca2	30-50	0,89	0,08	11,1
	Ca2	50-70	0,60	0,08	7,5
	Ca3	70-90	0,44	0,06	7,3
	Ca4	<90	0,47	0,06	7,8
12Z	Ca1	0-20	0,81	0,10	8,1
	Ca1	20-30	0,50	0,05	10
	Ca2	30-50	0,36	0,06	6,0
	Ca3	50-70	0,19	0,04	4,8
13Z	Ca	0-5	1,31	0,14	9,4
14Z	O _f	0,3-0	49,38	0,48	102,9
	A	0-0,5	2,27	0,11	20,6
	Ca1	0,5-20	0,40	0,06	6,7
	Ca2	20-40	0,18	0,03	6,0
	Ca3	40-60	0,27	0,04	6,8
15Z	O _l	0,5-0	26,96	0,54	49,9
	A	0-10	0,88	0,11	8,0
	Ca1	10-30	0,17	0,04	4,2
	Ca1	30-40	0,03	0,03	1,0
	Ca2	40-50	0,19	0,03	6,3
	Ca	<50	0,03	0,04	0,8
16Z	O _l	0,5-0	32,26	0,48	67,2
	A	0-10	1,67	0,13	12,8
	Ca1	10-40	0,18	0,03	6,0
	Ca2	< 40	0,71	0,05	14,2
17Z	O _f	0,5-0	47,89	0,54	88,7
	A	0-20	0,43	0,04	10,8
	Ca	20-40	0,16	0,03	5,3
	Ca	40-70	0,08	0,04	2,0
	Ca	< 70	0,06	0,04	1,5
18Z	A	0-20	3,36	0,24	14,0
	Ca1	20-40	0,24	0,05	4,8
	Ca2	40-50	0,07	0,04	1,8
	Ca3	< 50	0,21	0,04	5,2
19Z	O _l	0,3-0	49,17	0,59	83,3

Nr profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Corg	N og	C/N
			[%]		
	A	0-5	0,33	0,05	6,6
	Ca	5-40	0,04	0,03	1,3
	Ca	40-60	0,04	0,02	2,0
	A	0-15	1,37	0,09	15,2
	Ca	15-40	0,07	0,03	2,3
	Ca	40-60	0,08	0,03	2,7
	Ca	60-80	0,05	0,03	1,7
	20Z				