Polish Journal for Sustainable Development

Tom 28 (1). 45-59. rok 2024

[1]JÓZEF CHOJNICKI, [2]JOANNA KOSTECKA

[1]Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, SGGW, Katedra Gleboznawstwa, 02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159/37, e-mail: *jozefchojnicki@sggw.edu.pl*
[2]Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Zakład Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami, e-mail: *jkostecka@ur.edu.pl*

ROZPOZNANIE I PRZECIWDZIAŁANIE ZAGROŻENIOM FUNKCJI GLEB – WYBRANE ASPEKTY PODSTAWOWEJ WIEDZY DLA DECYDENTÓW

Dobrej jakości, żyzne gleby są podstawowym elementem środowiska przyrodniczego, w glebie zaczyna się i kończy proces krążenia materii i przepływu energii. Jest ona miejscem gdzie złożone elementy przyrody ożywionej (bioróżnorodność) i nieożywionej spełniają liczne świadczenia ekosystemowe dla wieloelementowej i wielopoziomowej biosfery - w tym człowieka. Zdrowa gleba to zdrowy pokarm i zdrowy człowiek. Gleby, będąc także środkiem infrastruktury dla produkcji rolnej, mają ogromne znaczenie społeczno-gospodarcze. Celem opracowania było pokazanie wybranych charakterystyk gleby i jej roli a także określenie podstawowych działań koniecznych do podjęcia w celu spowolnienia zagrożeń dla jej złożonych funkcji.

Słowa kluczowe: gleba, edukacja, degradacja, retardacja tempa przekształcania zasobów

I. WSTĘP

W ostatnich latach obserwujemy wzrost świadomości na temat konsekwencji przemysłowej działalności rolniczej, co wynika z edukacji oraz programów wspierających zrównoważone praktyki. Według Oszmańskiej [2005] większość rolników jest świadoma, że intensywne rolnictwo może prowadzić do degradacji gleby, zanieczyszczenia wód i utraty bioróżnorodności. Podobnie twierdzili Kostecka i Mroczek [2007] po ankietowym badaniu właścicieli gospodarstw rolnych, które wskazało, że zdają sobie oni sprawę z wpływu, jaki wywiera ich działalność na środowisko przyrodnicze.

Jednak sytuacja nadal wymaga uwagi i działań ze strony nauki, decydentów, stowarzyszeń prośrodowiskowych oraz szeroko pojętych edukatorów formalnych i nieformalnych. Między innymi aktualne badania Łuczak i współautorów [2024] prowadzone na terenie powiatu raciborskiego wykazują, że ankietowani rolnicy, choć są chętni do samokształcenia i podnoszą swoją wiedzę m.in. w zakresie ochrony środowiska, lecz nie mają pełnej świadomości zagrożeń obecnych w lokalnym środowisku przyrodniczym. Sytuacja przyrodniczo- społeczno-gospodarcza decyduje, że w ostatnich latach zwiększyli ilość stosowanych pestycydów (stosowanie ochrony fungicydowej oraz herbicydowej ze względu na uodpornienie się czynników chorobotwórczych i chwastów na substancje czynne stosowanych w rolnictwie środków). Badani rolnicy nie widzą obecnie także możliwości zastąpienia nawozów

DOI: 10.15584/pjsd.2024.28.1.4

mineralnych nawozami organicznymi (m in. ze względu na spadek pogłowia zwierząt gospodarskich a tym samym ograniczoną produkcję obornika).

Dobrej jakości, żyzne gleby są tymczasem podstawowym środkiem produkcji rolnej. W glebie zaczyna się i kończy proces krążenia materii i przepływu energii. Jest ona miejscem gdzie złożone elementy przyrody ożywionej (bioróżnorodność) i nieożywionej podejmują liczne świadczenia ekosystemowe dla wielopoziomowej biosfery- w tym człowieka. Zdrowa gleba to zdrowy pokarm o potencjalnie wysokiej jakości i zdrowy człowiek. Według *Natural Resources Conservation Service U.S. Department of Agriculture* [website 1], zdrowie gleby jest definiowane jako jej ciągła zdolność do funkcjonowania jako żywy ekosystem, który podtrzymuje rośliny, zwierzęta i ludzi. Zdrowa gleba zapewnia czyste powietrze i wodę, obfite uprawy i lasy, produktywne pastwiska, różnorodną przyrodę i piękne krajobrazy.

Celem opracowania było przedstawienie: a) głównych funkcji gleby, b) zidentyfikowanych zagrożeń dla funkcji gleby oraz c) działań spowalniających lub eliminujących czynniki zagrażające funkcjom gleb.

II. METODYKA PRACY

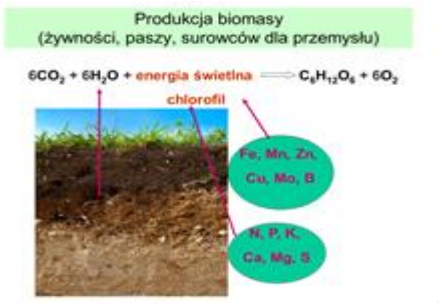
Na potrzeby tego artykułu dokonano przeglądu wybranych pozycji literatury w dostępnych bazach danych, własnych materiałów edukacyjnych (wykłady dla studentów, oraz zestawienia prezentacji wystąpień dla różnych edukowanych grup) oraz opracowań danych statystycznych. Podjęta analiza pozwoliła przedstawić interpretację badanego problemu.

III. WYNIKI

Świadczenia ekosystemu gleby

Podstawowym zagadnieniem praktycznym, dla którego należy racjonalnie użytkować zasoby gleb są ich wielorakie funkcje do których można zaliczyć:

- produkcję biomasy – żywność, pasze, surowce dla przemysłu, energia odnawialna (rys. 1, 2),
- funkcję środowiskową – retencja i ochrona wód oraz łańcuchów pokarmowych przed zanieczyszczeniami,
- fakt, że gleby stanowią miejsce zachowania bioróżnorodności i bogactwo zasobów genowych,
- fakt, że gleby stanowią miejsce posadowienia budowli, przemysłu, dróg itd. (rys. 3, 4, 5, 6).



Rys. 1. Produkcja biomasy w glebie w oparciu o proces fotosyntezy
Fig. 1. *Production of the biomass in the soil based on the photosynthesis process*

Rys. 2. Produkcja biomasy - żywność, pasze, surowce dla przemysłu, energia odnawialna
Fig. 2. *Production of the biomass - food, feed, raw materials for industry, renewable energy*

Jak już wspomniano, funkcja środowiskowa gleb jest nie do przecenienia, bo gleba to podłoga i dach świata [Kajak 2016]. Tu zachodzą procesy produkcji żywej materii organicznej, z martwej materii organicznej i minerałów uwalniane są makro-

i mikropierwiastki jako niezbędne składniki pokarmowe roślin. Jako element środowiska, gleba jest także bardzo ważna, ponieważ:

- stanowi naturalny filtr dzięki właściwościom sorpcyjnym (zatrzymywanie mineralnych składników pokarmowych i związków toksycznych),
- jest bioreaktorem - miejscem transformacji składników glebowych mineralnych i organicznych (wietrzenie minerałów, przemiany materii organicznej),
- zapewnia obieg pierwiastków (gleba - roślina - gleba; gleba - roślina -zwierzę – człowiek),
- zapewnia niezwykle ważną funkcję retencji wody, co zabezpiecza produkcję biomasy i ma wpływ na klimat,
- ma znaczący udział w wiązaniu węgla (co ogranicza zmiany klimatyczne).

Należy także podkreślić fakt, że gleby stanowią bardzo ważne miejsce zachowywania bioróżnorodności i bogactwa zasobów genowych. Organizmy glebowe nie są znane przeciętnemu człowiekowi, który glebę wyobraża sobie raczej jako ciemną martwą przestrzeń, dlatego tak łatwo godzi się by do niej wylewać trucizny, zakopywać odpady i inne [Kostecka 2004]. Tymczasem bioróżnorodność i bogactwo zasobów genowych w glebach może zaskakiwać:

- bo to właśnie duża bioróżnorodność zapewnia w glebie prawidłowe zachodzenie licznych procesów: mineralizacji materii organicznej, humifikacji, amonifikacji, nitryfikacji, denitryfikacji, a nawet rozkład trwałych zanieczyszczeń,
- ocenia się że na Ziemi funkcjonują bardzo duże zasoby komórek bakteryjnych, ich liczebność zbliżona jest do wartości **4-6 × 10^{30}, z czego około 2,6 × 10^{29}** komórek egzystuje w glebie,
- 99% glebowej populacji bakterii pozostaje jeszcze jako niezbadane i może być źródłem nieznanych genów,
- poznanie i wykorzystanie metagenomów glebowych ma duże znaczenie dla rozwoju biotechnologii [Rolf 2005].

Rys. 3. Obszar lokalizacji osiedli mieszkaniowych i infrastruktury transportu
Fig. 3. *Area of location of housing estates and transport infrastructure*

Rys. 4. Obszar lokalizacji obiektów sportowych
Fig. 4. *Sports facilities location area*

Rys. 5. Lokalizacja obiektów rekreacyjno-wypoczynkowych
Fig. 3. *Location of recreational and leisure facilities*

Rys. 6. Obiekty przemysłowe
Fig. 6. *Industrial facilities*

Zagrożenia funkcji gleb

Zagrożenia funkcji gleb spowodowane są przez degradację, rozumianą jako pogorszenie właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych oraz spadek ich aktywności biologicznej, co powoduje zmniejszenie ilości, jak również jakości pozyskiwanej biomasy roślin. Całkowita utrata wartości użytkowych gleb określana jest mianem ich dewastacji [Turski i Baran 1995]. Turski i Baran [1995] procesy degradacji podzielili ze względu na sposób oddziaływania (fizyczne, fizyko-chemiczne, pokarmowe, toksykologiczne i biologiczne) oraz genezę (naturalne, geotechniczne, przemysłowe, urbanizacyjne, komunikacyjne, agrotechniczne i inne). Wyróżnili również 10 form degradacji: wyjałowienie gleb ze składników pokarmowych; zakwaszenie; ubytek próchnicy i pogorszenie jej jakości; zniekształcenie stosunków wodnych; procesy erozyjne; mechaniczna destrukcja struktury gleby; techniczno-przestrzenne rozdrobnienie powierzchni biologicznie czynnej; zanieczyszczenia mechaniczne; zanieczyszczenia chemiczne; zanieczyszczenia biologiczne.

Siuta [2000] określił formy degradacji powierzchni ziemi, które w warunkach Polski decydująco zagrażają glebom: techniczna degradacja struktury ekologicznej (techniczna zabudowa, eksploatacja kopalin); zniekształcenie powierzchniowych utworów geologicznych i rzeźby terenu; mechaniczne uszkodzenie lub zniszczenie poziomu próchnicznego; rolnicza degradacja struktury ekologicznej (ekologicznie wadliwe użytkowanie gruntów); erozja; kwasowa degradacja gleb; degradacja chemiczna (zanieczyszczenia chemiczne, zubożenie gleby przez wynoszenie składników z plonem, zubożenie gleby przez wymywanie składników, zniekształcenie chemizmu gleby wskutek deficytu tlenowego, zasolenie); przesuszenie i zawodnienie; wieloczynnikowa degradacja przemysłowa.

W raporcie Komisji Europejskiej [2002] w sprawie Strategii Tematycznej Ochrony Gleb, wyróżniono 9 głównych mechanizmów zagrożenia gleb i odpowiadających im form degradacji. Są to: pustynnienie; erozja; spadek zawartości materii organicznej; zanieczyszczenie gleby (miejscowe oraz rozproszone); zasklepienie gleby; zagęszczanie gleby; utrata różnorodności biologicznej; zasolenie; powodzie i osuwiska ziemi. Wymienione w raporcie główne kierunki zagrożenia gleb nie tworzą jednak wszystkich możliwych mechanizmów prowadzących do degradacji lub dewastacji ziemi, a jedynie wskazują na zagrożenia występujące w krajach Europy w największym nasileniu.

Karczewska [2008] wskazuje na trudność w dopracowaniu jednolitej systematyki zagrożeń gleb, co wynika z tego, że różne czynniki i mechanizmy nakładają się na siebie. Niekiedy uniemożliwia to wyznaczenie głównej przyczyny degradacji. Ponadto występują jednoczesne działania różnych czynników naturalnych i antropogenicznych, które wspólnie przyczyniają się do pogorszenia właściwości gleb lub ich zniszczenia. Karczewska [2008] zagadnienia degradacji gleb podzieliła na 3 grupy: a/ przeznaczenie gleb produktywnych na cele nierolnicze i nieleśne, wyłączenie z użytkowania; b/ procesy naturalnej degradacji intensyfikowane przez działalność człowieka (erozja wodna i wietrzna, osuwiska i inne geomorfologiczne mechanizmy niszczenia gleb, pustynnienie i stepowienie); c/ degradacja antropogeniczna (geomechaniczna, hydrologiczna, chemiczna, inne formy degradacji takie jak biologiczna i zanieczyszczenie mechaniczne).

Degradacja gleby to inaczej pomniejszenie lub zniszczenie jej funkcji i wartości użytkowych. Badania nad biologią gleb należą do bardzo istotnych [Chojnicki i in. 2018, Kostecka 2004, 2007, Kostecka i Garczyńska 2003, Kostecka i in. 2004, Kostecka i Mroczek 2007, Kostecka i Mazur 2009], podobnie jak ocena zawartości makro,

mikroelementów i metali ciężkich [Chojnicki 2010, Chojnicki i in. 2015, Hajduk i in. 2007, Kaniuczak 2007, Kwasowski i in. 2010].

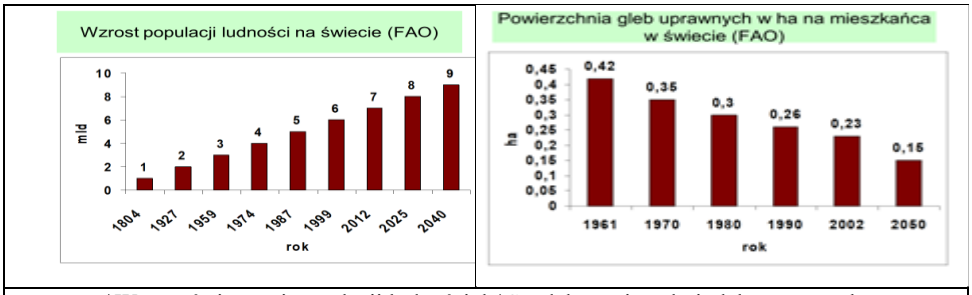
Świadomość głównych i najistotniejszych użytkowników gleb - rolników, dotycząca wpływu rolnictwa na intensyfikację procesów degradacji gleb jest kluczowa dla ich ochrony oraz utrzymania wydajności rolniczej. Jak wskazują badania przeprowadzone przez Krasowicza i in. [2011], wielu rolników jest świadomych, że nieodpowiednie praktyki rolnicze, takie jak np. nadmierna orka, niewłaściwe stosowanie nawozów czy brak okryw roślinnych, mogą przyczyniać się do zwiększonej erozji gleb. Autorzy podkreślają, że rolnicy z większą wiedzą na temat tych procesów są bardziej skłonni do wdrażania środków zapobiegawczych, takich jak uprawy ochronne, tarasowanie zboczy czy stosowanie pasów roślinnych, co pomaga w ograniczeniu erozji i ochronie zasobów glebowych.

Intensywne stosowanie nawozów azotowych, niewłaściwe zarządzanie resztkami pożniwnymi oraz brak wapnowania, prowadzą do zakwaszenia gleb. Wspomniani autorzy wskazują, że rolnicy z większą świadomością tego problemu są też bardziej skłonni do podejmowania działań zapobiegawczych, takich jak regularne wapnowanie, stosowanie nawozów organicznych oraz uprawy roślin, które mogą zmniejszać proces zakwaszania gleb. Działania te są kluczowe dla utrzymania odpowiedniego pH gleby, co ma bezpośredni wpływ na dostępność składników odżywczych dla roślin oraz na ogólną zdrowotność ekosystemu glebowego [Kopiński i in. 2013]. Badania dotyczące struktury użytkowania gleb w województwie podkarpackim w latach 1946-2005, wykazały zmniejszenie użytków rolnych z 68,9% do 42,5%; gruntów ornych z 52,6% do 28,4%. W tym samym okresie udział powierzchni lasów i pozostałych gruntów zwiększył się z 36,6% do 56,4%, kosztem wyłączenia gruntów ornych i użytków zielonych. Część zalesiono a pozostała część stała się ugorami i odłogami. Do ważnych zagrożeń gleb należą także erozja i ruchy masowe ziemi, w tym osuwiska [Kaniuczak i in. 2013a i b]. Gleby tego województwa wymagają systematycznego nawożenia naturalnego i mineralnego oraz uregulowania odczynu poprzez wapnowanie jako zabiegu melioracyjnego. Wapnowanie wszechstronnie oddziałuje na właściwości fizyczne, fizykochemiczne, chemiczne i biologiczne gleb. Stwarza to optymalne warunki do pobierania pierwiastków biogennych przez rośliny i sprzyja spowolnieniu wyczerpywania z gleb makro i mikroelementów oraz ogranicza fitoprzyswajalność metali ciężkich [Hajduk i in. 2020, Kaniuczak 2003, Kaniuczak i in. 2011, Nazarkiewicz i Kaniuczak 2012]. Złożoność wymienionych problemów degradacji gleb, ich ochrony i rekultywacji wymaga debaty wielu specjalistów z tej dziedziny i pokrewnych. W tym aspekcie, ośrodek naukowy w Rzeszowie (przy współpracy z ZG PTG, KGiChR PAN i innymi jednostkami z kraju i zagranicy) zorganizował w dwudziestoletnim okresie (1998-2018) 6 cyklicznych konferencji naukowych o zasięgu ogólnopolskim i międzynarodowym pt. ”Przyczyny i skutki degradacji środowiska glebowego”. Zaprezentowane na w/w konferencjach (w formie referatów i posterów) wyniki badań, opublikowano m. in.: w *Zeszytach Problemowych Postępów Nauk Rolniczych PAN* [zeszyt 467 I i II 709 ss/ 1999; zeszyt 493 I, II i III 939 ss/ 2003; zeszyt 520 I i II 871 ss/ 2007]; *Inżynieria Ekologiczna* [38 ss.189/ 2014]; *Roczniki Gleboznawcze* [tom L XII, nr 1 ss.186/2011]. Artykuły naukowe z V i VI konferencji drukowano we własnym zakresie między innymi w *Soil Science Annnual*, *Journal of Elementology*, *Journal of Environmental Engineering* i innych.

Ciągłe zmniejszanie powierzchni gleb uprawnych na jednego mieszkańca w świecie stanowi poważne zagrożenie dla strategicznego bezpieczeństwa żywnościowego ludzkości. Zjawisko to jest spowodowane rosnącą populacją ludności (rys. 7 a, b) oraz następującymi czynnikami w zakresie użytkowania gleb i ich przestrzennego wykorzystania:

a/ różne formy degradacji gleb [Kasztelewicz i Zajączkowski 2010, Uzarowicz 2011, Uzarowicz i in. 2024] (rys. 8, 9, 10), b/ przejmowanie gleb na cele nierolnicze:

- industrialne (rys. 6)
- urbanistyczne (rys. 3)
- infrastrukturalne (drogi, obiekty usługowo-handlowe, sportowe) (rys. 4).



Rys. 7. a/ Wzrost światowej populacji ludności, b/ Spadek powierzchni gleb uprawnych
Fig. 7. *a/ Growth of the world population, b/ Decrease in the area of arable land*

Zachodzi pytanie czy istnieje możliwość zwiększenia powierzchni gleb uprawnych na świecie. Liczne badania wskazują na duże ograniczenia w tym zakresie, a podejmowane działania zwiększenia powierzchni przestrzeni rolniczej w świecie powodują negatywne oddziaływanie na środowisko [Li i Song 2023, Olson i in. 2023]. Przykładem takich działań mogą być wylesienia (jak dotąd, szczególnie lasów tropikalnych – zielonych płuc Ziemi), co prowadzi do degradacji gleb, między innymi ich erozji [El Mazi i in. 2022]. Wylesienia powodują także ocieplanie klimatu (zwiększenie częstości występowania susz, powodzi, burz, huraganów), nasilenia stepowienia, pustynnienia [Abbass i in. 2022, Davidson 2016]. W konsekwencji powyższe zjawiska tworzą nowe wyzwania i ograniczenia dla rolnictwa [Keutgen 2022].

Rys. 8. Zwałowiska pokopalniane - przykład degradacji gleb
Fig. 8. *Mine dumps - an example of total soil degradation*

Rys. 9. Składowiska odpadów przemysłowych i komunalnych - całkowita degradacja gleb
Fig. 9. *Industrial and municipal waste landfills - total soil degradation*

Rys. 10. Wyrobiska pokopalniane - całkowita degradacja gleb
Fig. 10. *Mine excavations - total soil degradation*

Bardzo ograniczone są także możliwości prowadzenia produkcji rolniczej na obszarach tajgi i tundry ze względu na niekorzystne warunki termiczne oraz na pustyniach z powodu przede wszystkim deficytu wody [website 2].

Jak widać rozwiązanie problemu ograniczają liczne bariery. Należy więc z największą uwagą i troską traktować zasoby gleb oraz w mirę możliwości ograniczać czynniki zagrażające / powodujące ich degradację. Zwraca przy tym uwagę fakt, że Europa stoi na czele listy kontynentów z udziałem zdegradowanych gleb (tab. 1).

Tabela 1 - *Table 1*

Skutki degradacji - odsetek gleb zdegradowanych na kontynentach / *Effects of degradation - percentage of degraded soils on continents* [%]

Kontynent / *Continent*	Odsetek gleb zdegradowanych / *Percentage of degraded soils*
Europa	22,3
Afryka	16,2
Azja	15,1
Ameryka Południowa	13,0
Ameryka Północna	7,0

Źródło/ *Source* (FAO) [website 3]

Koniecznym jest zauważyć, że proces powstawania gleby jest niezwykle skomplikowany, kształtuje się pod wpływem wielu czynników i trwa zazwyczaj bardzo długo – kilkadziesiąt tysięcy lat. W tej perspektywie czasowej glebę można uznać za zasób nieodnawialny. Szybkość z jaką następuje odtworzenie powierzchniowej warstwy gleby jest trudna do jednoznacznego oszacowania, bowiem zależy to od wielu różnych czynników. Przyjmuje się, że wytworzenie 1 cm gleby w warunkach naturalnych klimatu umiarkowanego wymaga od na 100 do 500 lat. Z tego wynika, że na odtworzenie górnej warstwy (20 cm) gleby potrzeba od 2 tysięcy do 10 tysięcy lat [Wilken 1995].

Wiele zagrożeń funkcji gleb uprawnych jest powodowane przez niewłaściwe ich użytkowanie. Zjawiskiem takim jest pogłębiające się zmniejszanie zawartości glebowej materii organicznej (próchnicy) w glebach [Szafranek 2000]. Spowolnienie (retardacja) tego zjawiska może być osiągnięta przez:

- zwiększenie stosowania nawozów naturalnych i organicznych (obornika, kompostów),
- zmniejszenie udziału uprawy zbóż (70-80%) w strukturze roślin uprawnych, które zmniejszają zawartość próchnicy w glebie,
- zwiększenie udziału w uprawie roślin bobowatych - działających próchniczotwórczo,
- powszechne stosowanie poplonów (międzyplonów),
- ograniczenie niewłaściwej uprawy gleby i jej zakwaszenia.

Należy pamiętać, że negatywnymi skutkami zmniejszania ilości próchnicy w glebach, szczególnie wytworzonych z piasków pokrywających około 50% powierzchni Polski będzie:

- zmniejszanie żyzności gleb (ich produkcyjności), ponieważ próchnica bardzo korzystnie wpływa na wszystkie właściwości gleb (fizyczne, chemiczne i biologiczne),
- zmniejszanie zawartości glebowej materii organicznej w glebach, to uwalnianie CO_2 do powietrza atmosferycznego, co powoduje nasilenie zmian klimatycznych.

Zagrożenia dla gleb i środowiska (eutrofizacja wód powierzchniowych i gruntowych) powodują błędy w nawożeniu roślin w zakresie: ustalania nieodpowiedniej dawki nawozów (należy unikać nadmiernego nawożenia azotem), doboru nieodpowiedniego nawozu, wykonania nawożenia w nieodpowiednim terminie lub terminach, wykonania nawożenia nieodpowiednią techniką oraz niewystarczające wapnowanie gleb o odczynie kwaśnym, którego wymaga około 50% gleb w Polsce [Jadczyszyn 2021]. Podobne błędy są często popełniane przy stosowaniu pestycydów, szczególnie w intensywnych uprawach i monokulturach. Skutkiem tego są często nadmierne zawartości pozostałości pestycydów w glebach, roślinach oraz wodach [Geissen i in. 2021, Riedo i in. 2023, Sannino i Gianfreda, 2001].

Intensyfikacja rolnictwa związana jest ze stosowaniem w mechanizacji upraw coraz cięższych maszyn i ciągników powodujących zagęszczanie gleb, w konsekwencji pogorszenie ich właściwości fizycznych [Batey 2009, Colombi i Keller 2019, Shaheb i in. 2021] (rys. 11).

Rys. 11. Zagęszczenie gleb jako pogłębiający się efekt mechanizacji
Fig. 11. *Soil compaction as a deepening effect of mechanization*

Mechaniczną degradację gleb powoduje także ich erozja wodna i wietrzna [Laflen1 i Flanagan 2013] (rys. 12, 13), która powodowana jest przez:

- nieprawidłową uprawę gleb,
- wadliwy dobór roślin uprawnych,
- niewłaściwe użytkowanie (nadmierny wypas użytków zielonych),
- nieprawidłowe melioracje wodne (zbyt odwadniające),

Rys. 12. Erozja wodna gleb - proces zmywania powierzchniowej warstwy gleby
Fig. 12. *Water erosion of soil - the process of washing away the surface layer of soil*

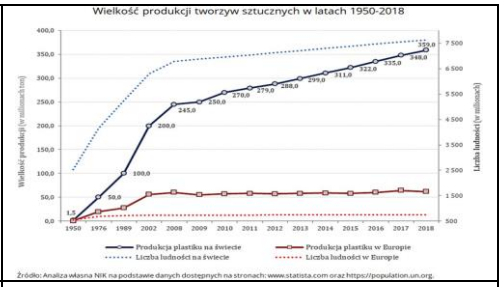
Rys. 13. Erozja wiatrowa gleb - proces rozwiewania powierzchniowej warstwy gleby
Fig. 13. *Wind erosion of soil - the process of blowing away the surface layer of soil*

Zjawisko zasklepiania gleb (trwałe pokrycie gleby materiałem nieprzepuszczalnym) występuje przede wszystkim w miastach i prowadzi do całkowitego wyeliminowania lub częściowego ograniczenia funkcji gleb. Wyniki przeprowadzonych badań w Warszawie [Białousz i Kupidura 2008] wykazały, że dla wyróżnionych 7 klas zabudowy udział gruntów zasklepionych wynosił: bardzo gęsta zabudowa - 96 %, bardzo gęsta przemysłowa - 91%, gęsta obrzeżna – 74 %, gęsta (obiekty publiczne) – 75%, średnio gęsta (bloki) - 52%, zabudowa jednorodzinna – 26 % oraz tereny zielone - 20 %. W Warszawie grunty zasklepione stanowią 47% powierzchni terenów zabudowanych i 22% powierzchni terenów w granicach administracyjnych miasta.

Do czynników zagrażających funkcjom gleb i środowisku należy także ich zanieczyszczenie chemiczne metalami ciężkimi [Hajduk i in. 2007, Kwasowski i Markiewicz 2007, Różański i in. 2018] oraz pyłami PM [Schläfle i in. 2021]. Jest to spowodowane emisją zanieczyszczeń przemysłowych (rys. 14a), rozwijającą się motoryzacją i chemizacją rolnictwa (rys. 15, 16 i 17). Coraz powszechniejsze stosowanie plastiku w całej gospodarce i w rolnictwie powoduje występowanie w glebach mikroplastiku [Hao i in. 2021, Sajjad i in. 2022] (rys. 14b). Problem ten jest inspiracją do dalszych badań nad możliwością wchodzenia mikroplastiku w łańcuch

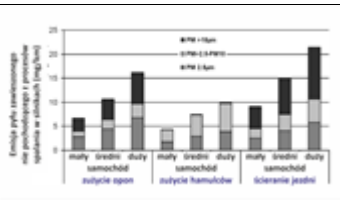
pokarmowy oraz jego przemieszczaniem się w środowisku i szkodliwością dla organizmów żywych i człowieka.

Rys. 14a. Emisje przemysłowe gazów cieplarnianych (kwaśne opady), metali ciężkich (Pb, Cd, Cr ....) i ich akumulacja w glebach
Fig. 14a. *Industrial emissions of greenhouse gases (acid precipitation), heavy metals (Pb, Cd, Cr ....) and their accumulation in soils*



Rys. 14b. Mało zbadane zanieczyszczenie gleb mikroplastikiem
Fig. 14b. *Little-researched microplastic contamination of soils*

Rys. 15*. Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi (Pb, Cd, Cr ....), WWA i emisja gazów cieplarnianych przez motoryzację*
Fig. 15. *Soil contamination with heavy metals (Pb, Cd, Cr ....), PAHs and greenhouse gas emissions from motorization*



Rys. 16. Emisja cząstek PM przez motoryzację ze ścierania: powierzchni dróg, opon, elementów ciernych układu hamulcowego oraz wtórne unoszenie pyłu
Fig. 16. *Particle emission from motorization due to abrasion of road surfaces, tires, friction elements of the braking system and secondary dust lifting*

Rys. 17. Nadmierna chemizacja rolnictwa (stosowanie środków ochrony roślin - pestycydów)
Fig. 17. *Excessive use of chemicals in agriculture (use of plant protection products - pesticides)*

Retardacja (spowolnienie) zagrożeń dla funkcji gleb, cele i działania

Celem spowolnienia zagrożeń funkcji gleb jest ich zmniejszenie, spowolnienie w czasie, a najlepiej całkowite ich wyeliminowanie. Jest to przedsięwzięcie bardzo ważne i zarazem trudne do realizacji, uwarunkowane wieloma czynnikami, między innymi postępującą intensyfikację rolnictwa oraz narastającą antropopresją na gleby i środowisko. Realizacja tego celu wymaga kompleksowych, długotrwałych działań oraz zaangażowania rolników, naukowców, właścicieli przedsiębiorstw doradczych, zaopatrzeniowych i usługowych dla rolnictwa, władz lokalnych, polityków, różnych organizacji związanych z rolnictwem oraz jak największych rzesz obywateli.

Należy podkreślić, że polityka środowiskowa Unii Europejskiej (UE) kładzie duży nacisk na utrzymanie zdrowych (funkcjonalnych) gleb użytkowanych rolniczo, zwracając uwagę, że są one warunkiem stabilnych dostaw wysokiej jakości żywności, pasz, surowców

dla przemysłu przetwórczego oraz rozwoju zdrowego społeczeństwa. Równocześnie świadczą szeroki zakres usług ekosystemowych i zachowanie różnorodności biologicznej [Tan 2014]. Praktycznym działaniem UE jest utworzenie i finansowanie wielu projektów badawczych dotyczących zdrowych, funkcjonalnych gleb.

Największym i bardzo ważnym UE projektem badawczym, który dotyczy gleb użytkowanych rolniczo, zrównoważonego zarzadzania nimi oraz odporności gleb na zmiany klimatu jest Europejski Wspólny Program SOIL (ang. *European Joint Programme* SOIL – EJP SOIL) pt.: "W kierunku przyjaznego dla klimatu zarządzania glebami rolniczymi" (ang."*Towards climate-smart management of agricultural soil*" (akronim EJP SOIL) [website 4]. Głównym celem projektu EJP SOIL jest utworzenie zrównoważonego, zintegrowanego europejskiego systemu badawczego, oraz opracowanie i wdrożenie reguł w zakresie zrównoważonego i przyjaznego dla klimatu zarządzania glebami rolniczymi. Zakres działania programu skupia się na czterech następujących problemach: tworzenie nowej wiedzy, dzielenie się wiedzą, harmonizacja danych o glebach i zastosowanie wiedzy w praktyce. W realizacji projektu uczestniczy 26 instytucji naukowych z 24 krajów Europy wspieranych przez instytucje rządowe, w tym dwie instytucje z Polski. W ramach EJP SOIL było/jest realizowane wiele projektów, między innymi: SCALE – *Managing sediment connectivity in agricultural landscapes for reducing water erosion impacts* [website 5], SOMPACS – *Soil management effects on soil Organic Matter Properties and Carbon Sequestration* [website 6].

Również w ramach Misji: Porozumienie w sprawie gleb dla Europy, w zakresie badań naukowych i innowacji HORYZONT EUROPA 2021-2027 są realizowane projekty w programie „Współtworzenie rozwiązań dla zdrowia gleby w Żywych Laboratoriach" [website 7]. Celem tych projektów jest poprawa stanu gleb (zdrowia i funkcjonalności) oraz zwiększenie ich odporności na negatywny wpływ człowieka i środowiska. Projekty są realizowane w Żywych Laboratoriach (multidyscyplinarnych platformach), które umożliwiają rozwój inicjatyw terytorialnych i regionalnych z udziałem rolników, naukowców, planistów gruntów, firm handlowo-doradczo-usługowych, decydentów politycznych i obywateli dla współtworzenia innowacyjnego podejścia do bardziej ekonomicznego, społecznego i ekologicznego zrównoważonego użytkowania gleb.

Należy pamiętać, że oprócz bardzo dużego wsparcia finansowego UE różnych działań ukierunkowanych na poprawienie, zachowanie funkcjonalności (zdrowia) gleb w Polsce, konieczne jest także zaangażowanie istniejących instytucji i społeczeństwa w ten problem. Wspólny wysiłek ludzi nauki, szeroko pojętego doradztwa rolniczego, edukacji może ograniczyć zagrożenia dla gleb powodując następujące konsekwentne i profesjonalne działania:

- właściwe/racjonalne, zrównoważone użytkowanie gleb zgodnie z ich właściwościami, szczególnie w rolnictwie i leśnictwie,
- zapobieganie, ograniczanie degradacji, dewastacji gleb,
- rekultywację i zagospodarowanie gruntów na cele rolnicze,
- doskonalenie i egzekwowanie regulacji prawnych w zakresie „ochrony gruntów rolnych i leśnych oraz ich rekultywacji",
- monitorowanie stanu gleb i dalsze ich badania,
- rozwój doradztwa o glebach wśród ich użytkowników (głównie rolników i leśników),
- edukację gleboznawczą na wszystkich poziomach nauczania w szkołach (szczególnie na poziomie wyższym) oraz całego społeczeństwa.

Należy podkreślić, że polskie ustawodawstwo uwzględnia problematykę ochrony i rekultywacji gleb zdegradowanych zarówno przez przemysł jak i działalność rolniczą

człowieka (np. Ustawa o zapobieganiu… 2007, Strategiczny Program … 2020, Obwieszczenie … 2024).

IV. PODSUMOWANIE

Termin retardacja (spowolnienie) ma w Dekadzie Odtwarzania Ekosystemów (*Decade of Ecosystem Restoration*) (2021-2030) i akceptacji dla *Nature Restoration Law*, bardzo istotne oraz szerokie znaczenia i zastosowania. Koncepcja retardacji, interpretowana jako spowalnianie przekształcania zasobów środowiska przyrodniczego ma na celu zachowanie równowagi i harmonii w szeroko pojętym środowisku życia człowieka (przyrodniczo-społeczno- ekonomicznym).

Walka o żyzną i odporną na antropopresję glebę trwa i nadal wymaga uwagi i odpowiedzialnych działań badawczych, edukacyjnych, legislacyjnych i organizacyjnych. Warto zawalczyć o taką organizację życia społeczno-gospodarczego aby nie tylko rolnicy powszechnie wdrażali praktyki przyjazne środowisku, takie jak rolnictwo regeneratywne, w tym zrównoważone stosowanie nawozów i pestycydów, agroleśnictwo i systemy upraw bezorkowych, w celu minimalizacji negatywnego wpływu tej działalności człowieka na ekosystemy. Dla żyznej i zdrowej gleby potrzebne jest powszechne zrozumienie wagi jej świadczeń dla człowieka i organizmów żywych, przejawiające się także w codziennych działaniach spowalniających i neutralizujących zagrożenia dla niej. Ekosystemy, w tym gleba, muszą być uważane za podstawową bazę bezpiecznej i strategicznie długofalowej egzystencji człowieka w biocenozie Planety.

BIBLIOGRAFIA

1. Batey T. 2009. Soil compaction and soil management – a review. Soil Use and Management. 25. 335-345. doi: 10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x.
2. Abbass K., Qasim M. Z., Song H., Murshed M., Mahmood H., Younis I. 2022. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. Environmental Science and Pollution Research. 29. 42539-42559. doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6.
3. Białousz S., Kupidura P. 2008. „SOIL SEALING" – zagrożenia gleb wymienione w Europejskiej Strategii Ochrony Gleb. Propozycja metodyki jego określenia. Studia Raporty IUNG-PIB. Zeszyt 12. 1-10. doi: 10.26114/sir.iung.2008.12.04.
4. Chojnicki J. 2010. Titanium in alluvial soils of central Vistula and Żuławy. Polish Journal of Soil Science. Soil Chemistry. vol. XLIII/1. 49-56. PL ISSN 0079-2985.
5. Chojnicki J., Jarząbski P., Kwasowski W. 2018. Ocena potencjalnej żyzności gleb Puszczy Białej z wykorzystaniem indeksu trofizmu gleb leśnych (ITGL). Przyczyny i skutki degradacji środowiska glebowego. Książka komunikatów. 51-154.
6. Chojnicki J., Kwasowski W., Piotrowski M., Oktaba L., Kondras M. 2015. Trace elements in arable Cambisols and Luvisols developed from boulder loam and fluvioglacial sands of the Skierniewicka Upland (central Poland). Soil Science Annual. vol. 66. 4. 198-203. DOI: 10.1515/ssa-2015-0037.
7. Colombi T., & Keller T. 2019. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction - A plant eco-physiological perspective. Soil & Tillage Research. 191. 156-161. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.00.
8. Davidson D. 2016. Gaps in agricultural climate adaptation research. Nat Clim Chang. 6(5). 433-435.
9. El Mazi M., Hmamouchi M., Saber E., Bouchantouf S., Houari A. 2022. Deforestation effects on soil properties and erosion: a case study in the central Rif, Morocco. Eurasian Journal of Soil Science. 11(4). 275-283. DOI: 10.18393/ejss.1098600.

10. Geissen V., Silva V., Lwanga E.H., Beriot N., Oostindie K., Bin Z., Pyne E., Busink S., Zomer P., Mol H., Ritsema C.J. 2021. Cocktails of pesticide residues in conventional and organic farming systems in Europe – legacy of the past and turning point for the future. Environ. Pollut. 278. 116827. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116827.
11. Hajduk E., Kaniuczak J., Właśniewski S. 2007. Wpływ przemysłu na zawartość metali ciężkich w glebach pogórza Strzyżowskiego i Dołów Jasielsko-Sanockich. Zesz. Probl. Post Nauk Rol. PAN. 520. II. 55-64.
12. Hajduk E., Nazarkiewicz M., Gąsior J., Właśniewski S., Kaniuczak J. 2020. Effect of fertilization on the Mo content in potato tubers and in biomass on sunflower cultivated on a Luvisol formed from loess. J. of Elem. 25. 3. 1115-1126.
13. Hao A.H., Zhao B.W., Zhang J. 2021. Research progress of microplastics in soil samples. Chemistry. 84(06). 535-542.
14. Jadczyszyn T. 2021. Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. Studia Raporty IUNG-PIB. Zeszt. 65(19). 99-109. doi: 10.26114/sir.iung.2021.65.07.
15. Kajak A. 2016. Biologia gleby. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. ISBN: 9788375836059.
16. Kaniuczak J. 2003. Uproszczony bilans cynku w glebie lessowej w zależności od wapnowanie i nawożenie mineralnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. II. 493. 381-388.
17. Kaniuczak J. 2007. Wybrane właściwości fizykochemiczne i chemiczne gruntów pogórniczych na obszarze po Kopalni Siarki „Jeziórko". Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. II. 520. 93-100.
18. Kaniuczak J., Hajduk E., Właśniewski S. 2011. Effect of liming and mineral fertilization on cadmium content in grain of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated on loessial soil. J. of Elem. 16. 4. 535-542.
19. Kaniuczak J., Stanek-Tarkowska J., Knap R., Alvares B., Pajączek A. 2013a. Zasoby i struktura użytkowania powierzchni ziemi i gleb w województwie podkarpackim. Inżynieria Ekologiczna. 34. 140-148.
20. Kaniuczak J., Stanek-Tarkowska J., Augustyn Ł., Szostek M., Knap R., Szewczyk A. 2013b. Wykorzystanie i ochrona zasobów powierzchni gruntów w województwie podkarpackim. Inżynieria Ekologiczna. 34. 149-157.
21. Karczewska A. 2008. Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. 414 ss.
22. Kasztelewicz Z., Zajączkowski M. 2010. Wpływ działalności górnictwa węgla brunatnego na otoczenie. Polityka Energetyczna. 13(2). 227-243.
23. Kiryluk A., Kostecka J. 2022. Sustainable development in rural areas in the perspective of a Decade of Ecosystem Restoration. Ekonomia i środowisko. 4. 117-148. https://doi.org/10.34659/eis.2022.83.4.535.
24. Keutgen A. J. 2023. Climate change: challenges and limitations in agriculture. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1183. 1-8. doi:10.1088/1755-1315/1183/1/012069.
25. Komisja Europejska. 2002. W kierunku strategii tematycznej ochrony gleb. Komunikat KE do Rady Europy i PE. Bruksela. Com. 2002. 179.
26. Kopiński J., Nieróbca A., Ochal P. 2013. Ocena wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produkcyjności roślinnej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. 13(2). 53-63.
27. Kostecka J. 2004. Preservation of soil fauna biodiversity – still undervalued in education for sustainable development. W: Using, choosing or creating the future. V. W. Thoresen (ed.). Høgskolen i Hedmark Oppdragsrapport. 4. 209-220.

28. Kostecka J. 2007. Ocena wybranych grup bezkręgowców w antropogenicznych utworach glebowych na terenach po kopalni siarki „Jeziórko". Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 520. 115-122.
29. Kostecka J. 2010. Wybrane oblicza retardacji przekształcania zasobów przyrody. Homo Naturalis. Uniwersytet Wrocławski / Politechnika Wrocławska. 19-25.
30. Kostecka J., Garczyńska M. 2003. Liczebność wybranych przedstawicieli makrofauny glebowej w różnych siedliskach regionu Bieszczadów. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 493. 401-407.
31. Kostecka J., Pączka G., Mastalerczyk M. 2004. Ocena procesu rekultywacji terenów po kopalni siarki w Jeziórku, na podstawie stanu fauny dżdżownic. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 498. 135-145.
32. Kostecka J., Mroczek J.R. 2007. Świadomość ekologiczna rolników a zrównoważony rozwój obszarów wiejskich podkarpacia. Ekonomia i Środowisko. 2(32). 164-177.
33. Kostecka J., Mazur A. 2009. Cechy przedstawicieli fauny dżdżownic (*Lumbricidae*) w odłogu piaszczystym rekultywowanym osadami ściekowymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 535. 243-251.
34. Kwasowski W., Markiewicz M. 2007. Zawartość metali ciężkich w glebach ogródków przydomowych w rejonie oddziaływania Zakładów Akumulatorowych "Piast" w Piastowie. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 531-539.
35. Kwasowski W., Chojnicki J., Falfus K. 2010. Fractions and mobility of zinc, copper, lead in the intensely cultivated luvisoils of the Błonie-Sochaczew plain. Roczniki Gleboznawcze. LXI. 3. 77-88.
36. Laflen1 J.M., Flanagan D.C. 2013. The development of U. S. soil erosion prediction and modeling. International Soil and Water Conservation Research. 1(2). 1-11. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30034-4.
37. Li H., Wei Song W. 2023. Spatial transformation of changes in global cultivated land. Science of the Total Environment. 859. 160194. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160194.
38. Łuczak K., Kusza G., Błaszczok M. 2024. Wpływ rolnictwa na środowisko w opinii właścicieli wybranych gospodarstw rolnych położonych na terenie powiatu raciborskiego. Pol. J. Sust. Dev. 28 (1). 125-136. DOI:10.15584/pjsd.2024.28.1.13.
39. Nazarkiewicz M., Kaniuczak J. 2012. Influence of liming on selected soil properties as well as yield and chemical composition of plants. [w:] Practical Applications of Environmental Research. Nauka dla Gospodarki: J. Kostecka i J. Kaniuczak (red.). Internetowa Promocja Nauki. UR Rzeszów. 77-94.
40. Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP z dnia 16 stycznie 2024 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych. Dz. U. RP. 24 stycznia 2024. Poz. 82.
41. Olsson L., Cotrufo F., Crews T., Franklin J., King A., Mirzabaev A., Scown M., Tengberg A., Villarino S. and Wang Y. 2023. The State of the World's Arable Land. Annual Review of Environment and Resources. 48(1). 452-466. DOI: 10.1146/annurev-environ-112320-113741.
42. Oszmańska M. 2005. Świadomość ekologiczna rolników. Progress in Plant Protection. 45(1). 351.
43. Riedo J., Wachter D., Gubler A., Wettstein F.E., Meuli R.G., Bucheli T.D. 2023. Pesticide residues in agricultural soils in light of their on-farm application history. Environmental Pollution. 331. 121892. doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121892.
44. Rolf D. 2005. Metagenomika gleby. Nature Reviews. Mikrobiologia. 3. 470-478.
45. Różański S., Kwasowski W., Castejón J. [i in.] 2018. Heavy metal content and mobility in urban soils of public playgrounds and sport facility areas, Poland. Chemosphere. 212. 456-466. DOI:10.1016/j.chemosphere.2018.08.109.
46. Sajjad M., Huang Q., Khan S., Khan M. A., Liu Y., Wang J., Lian F., Wang Q., Guo G. 2022. Microplastics in the soil environment: A critical review. Environmental Technology & Innovation. 27. 102408.

47. Sannino F., Gianfreda L. 2001. Pesticide influence on soil enzymatic activities. Chemosphere. 45. 417-425. https://doi.org/10.1016/s0045-6535(01)00045-5.
48. Schläfle S., Unrau H.J., Gauterin F. 2023. Influence of Longitudinal and Lateral Forces on the Emission of Tire–Road Particulate Matter and Its Size Distribution. Atmosphere. 14. 1780.
49. Shaheb M.R., Venkatesh R., Shearer S.A. 2021. A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. Journal of Biosystems Engineering. 46. 417-439. doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7.
50. Siuta J. 2000. Ochrona powierzchni ziemi - stan i niezbędne działania. Inżynieria Ekologiczna. 1. 158-183.
51. Strategiczny Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020-2025. GIOŚ. W-wa 2020.
52. Szafranek A. 2000. Właściwości oraz przydatność rolnicza gleb płowych i rdzawych Wysoczyzny Kałuszyńskiej . Wydawnictwo SGGW. Warszawa. 1-132.
53. Tan K.H. 2014. Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies. Second Edition . CRC Press. Taylor and Francis Group.
54. Turski R., Baran S. 1995. Degradacja ochrona i rekultywacja gleb. AR w Lublinie. ss. 164.
55. Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie. Dz. U. 75. 493.
56. Uzarowicz Ł. 2011. Technogenic soils developed on mine spoils containing iron sulfides in select abandoned industrial sites: Environmental hazards and reclamation possibilities. Polish Journal of Environmental Studies. 20. 771-782.
57. Uzarowicz Ł., Swęd M., Kwasowski W., Pędziwiatr A., Kaczmarek D., Koprowska D., Górka-Kostrubiec B., Pawłowicz E., Murach D. 2024. Initial pedogenic processes, mineral and chemical transformations and mobility of trace elements in Technosols on dumps of the former copper mines in Miedziana Góra and Miedzianka, the Świętokrzyskie Mts., south-central Poland. Catena. 245. 108293. DOI:10.1016/j.catena.2024.108293.
58. Wilken E. 1995. Assault of the Earth. Word Watch. 8 (2). 22-23.

Strony internetowe:
website 1: https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health
website 2: https://earth.org/challenges-farmers/
website 3: https://zpe.gov.pl/a/degradacja-gleb-na-swiecie-i-jej-skutki/DuguSPvVG
website 4: https://ejpsoil.eu/
website 5: https://ejpsoil.eu/soil-research/internal-external-projects
website 6: https://upwr.edu.pl/en/research/projects/european-funds/sompacs
website 7: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en

RECOGNITION AND COUNTERMEASURES AGAINST THREATS TO SOIL FUNCTIONS – SELECTED ASPECTS OF BASIC KNOWLEDGE FOR DECISION MAKERS

Summary

Good quality, fertile soils are a fundamental element of the natural environment, in the soil the process of matter circulation and energy flow begins and ends. It is a place where complex elements of animate nature (biodiversity) and inanimate nature provide numerous ecosystem services for the multi-element and multi-level biosphere - including humans. Healthy soil means healthy food and a healthy human. Soils, being also a means of infrastructure for agricultural

production, are of great socio-economic importance. The aim of the study was to show selected characteristics of soil and its role, as well as to determine the basic actions necessary to be taken in order to slow down threats to its complex functions.

Keywords: soil, education, degradation, retardation of the rate of resource transformation