

Regionalne EKO-inspiracje z Fundacją Politechniki Łódzkiej: Edukacja, Innowacje, Działanie

Publikacja edukacyjna dla uczniów szkół ponadpodstawowych województwa łódzkiego przygotowana w ramach projektu dofinansowanego przez WFOŚiGW w Łodzi.

EKO-INSPIRACJE



Opracowanie:

mgr Joanna Junak, mgr Magdalena Siemińska

Redakcja

dr hab. inż. Małgorzata Szczesio, dr hab. inż. Katarzyna Grzelak-Błaszczyk, prof. PŁ, dr Dorota Gryglik, mgr Katarzyna Matuszewska-Skalczyńska

Wykorzystano materiały przygotowane przez:

dr hab. inż. Katarzyna Grzelak-Błaszczyk, mgr Aleksandra Sibińska, dr inż. Piotr Korbel, dr hab. inż. Agnieszka Brzezińska, dr Ewelina Kapuścińska, dr inż. Beata Mokrzycka-Wieteska, dr inż. Ewa Badowska, dr Dorota Gryglik, dr inż. Ilona Gałązka – Czarnecka, dr inż. Gabriela Kowalska, mgr inż. Aleksandra Popowska, mgr inż. Joanna Ziętała, dr hab. inż. Katarzyna Znajdek, prof. uczelni, mgr inż. Dariusz Hantsz

Zrealizowano w ramach:

„Regionalne EKO-inspiracje z Fundacją Politechniki Łódzkiej: Edukacja, Innowacje, Działanie” dofinansowane ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi w ramach umowy dotacji numer 568/EE/D/2025 z dnia 20.11.2025 r.

Wprowadzenie – edukacja, która zmienia sposób myślenia

Współczesne wyzwania środowiskowe, takie jak zmiany klimatu, degradacja zasobów naturalnych czy rosnąca skala zanieczyszczeń, wymagają nowego podejścia do edukacji. Wiedza przekazywana w oderwaniu od praktyki przestaje być wystarczająca. Kluczowe staje się kształtowanie umiejętności rozumienia złożonych procesów oraz odpowiedzialności za podejmowane decyzje. Projekt „Regionalne EKO-inspiracje z Fundacją Politechniki Łódzkiej: Edukacja, Innowacje, Działanie” współfinansowany przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi i Fundację Politechniki Łódzkiej stanowi odpowiedź na te potrzeby. Projekt został przygotowany z myślą o rozwijaniu kompetencji ekologicznych młodzieży poprzez połączenie wiedzy naukowej, doświadczeń laboratoryjnych oraz aktywnego uczestnictwa w zajęciach. Uczniowie poznawali zależności pomiędzy działalnością człowieka a stanem środowiska, analizowali współczesne wyzwania klimatyczne oraz poszukiwali praktycznych sposobów ograniczania negatywnego wpływu na otoczenie. Edukacja prowadzona w ramach projektu miała charakter interdyscyplinarny i łączyła elementy biologii, chemii, fizyki, inżynierii środowiska oraz nauk społecznych. Projekt został przygotowany z myślą o rozwijaniu kompetencji ekologicznych młodzieży poprzez połączenie wiedzy naukowej, doświadczeń laboratoryjnych oraz aktywnego uczestnictwa w zajęciach. Uczniowie poznawali zależności pomiędzy działalnością człowieka a stanem środowiska, analizowali współczesne wyzwania klimatyczne oraz poszukiwali praktycznych sposobów ograniczania negatywnego wpływu na otoczenie. Edukacja prowadzona w ramach projektu miała charakter interdyscyplinarny i łączyła elementy biologii, chemii, fizyki, inżynierii środowiska oraz nauk społecznych.

Znaczenie edukacji ekologicznej

Warsztaty pokazały, że skuteczna edukacja ekologiczna nie polega wyłącznie na przekazywaniu informacji. Największą wartość przynosi możliwość samodzielnego eksperymentowania, analizowania danych oraz formułowania własnych wniosków. Uczestnicy rozwijali umiejętność krytycznej oceny informacji, współpracy zespołowej oraz odpowiedzialnego podejmowania decyzji konsumenckich.

Uczniowie rozwijali kompetencje takie jak:

- krytyczna analiza informacji,
- rozumienie procesów środowiskowych,
- umiejętność pracy w zespole,
- odpowiedzialność za podejmowane wybory.

Istotnym rezultatem działań było uświadomienie uczestnikom, że środowisko naturalne nie jest zbiorem niezależnych elementów, lecz systemem powiązań, w którym każdy czynnik wpływa na pozostałe. Takie spojrzenie stanowi fundament współczesnej edukacji ekologicznej i odpowiada na realne potrzeby społeczne.

I. Eko-innowacje i odnawialne źródła energii – technologia w służbie środowiska

Problematyka energii stanowi jeden z kluczowych obszarów współczesnych wyzwań cywilizacyjnych. Rosnące zapotrzebowanie na energię oraz ograniczone zasoby paliw kopalnych powodują konieczność poszukiwania nowych rozwiązań.

Energia jest jednym z najważniejszych zasobów współczesnego świata. Towarzyszy nam każdego dnia – dzięki niej działają urządzenia elektroniczne, środki transportu, zakłady przemysłowe, szkoły i szpitale. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym rośnie jednak zapotrzebowanie na energię, co stawia przed społeczeństwami nowe wyzwania. Przez wiele dziesięcioleci podstawowym źródłem energii były paliwa kopalne, takie jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny. Ich wykorzystanie przyczyniło się do rozwoju gospodarczego, ale jednocześnie doprowadziło do wzrostu emisji gazów cieplarnianych, zanieczyszczenia środowiska oraz przyspieszenia zmian klimatu. W świecie stojącym przed takimi wyzwaniami energia staje się nie tylko zagadnieniem technicznym, lecz także społecznym i cywilizacyjnym.

Współczesna nauka i technologia poszukują rozwiązań, które pozwolą zaspokoić potrzeby energetyczne społeczeństwa przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko. Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, określanych skrótem OZE. Są to źródła, które odnawiają się w naturalnych procesach zachodzących w przyrodzie i których zasoby nie wyczerpują się w skali życia człowieka. Należą do nich energia słoneczna, energia wiatru, energia wód, energia geotermalna oraz energia pozyskiwana z biomasy.

Znaczenie odnawialnych źródeł energii stale rośnie. Według ekspertów to właśnie one będą odgrywać kluczową rolę w procesie transformacji energetycznej, czyli stopniowego przechodzenia od gospodarki opartej na paliwach kopalnych do gospodarki wykorzystującej czyste i zrównoważone źródła energii. Transformacja ta jest niezbędna nie tylko ze względu na ochronę klimatu, ale również dla zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego państw oraz ograniczenia zależności od importowanych surowców energetycznych.

Efektywność energetyczna – energia, której nie trzeba zużyć

Mówiąc o nowoczesnej energetyce, nie można ograniczać się wyłącznie do produkcji energii. Równie ważne jest jej racjonalne wykorzystywanie. Efektywność energetyczna oznacza osiąganie tych samych rezultatów przy mniejszym zużyciu energii. W praktyce może to oznaczać stosowanie energooszczędnych urządzeń, nowoczesnych technologii produkcyjnych, odpowiedniej izolacji budynków czy świadomego korzystania z energii w życiu codziennym.

Najtańszą i najbardziej ekologiczną energią jest bowiem ta, której nie trzeba wyprodukować. Każda zaoszczędzona kilowatogodzina oznacza mniejsze zużycie surowców, niższą emisję zanieczyszczeń oraz mniejsze koszty dla gospodarstw domowych i przedsiębiorstw. Dlatego

poprawa efektywności energetycznej uznawana jest za jeden z najważniejszych elementów polityki klimatycznej i energetycznej na świecie.



Rys. 1 - Źródła energii (opracowanie własne, mgr Aleksandra Sibińska).

Energia ze źródeł odnawialnych to energia wytwarzana z odnawialnych, niekopalnych źródeł energii, mających zdolność do samoregeneracji, które są uzupełniane w sposób naturalny w okresie ludzkiego życia.

Energia słoneczna – potencjał ukryty w promieniach Słońca

Spośród wszystkich odnawialnych źródeł energii szczególną uwagę zwraca energia słoneczna. Każdego dnia na powierzchnię Ziemi dociera ogromna ilość energii promieniowania słonecznego. Jej wykorzystanie jest możliwe dzięki technologiom fotowoltaicznym, które przekształcają energię światła bezpośrednio w energię elektryczną.

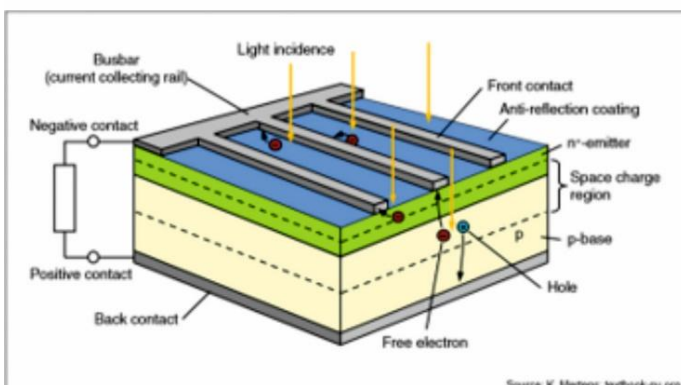
Działanie ogniw fotowoltaicznych opiera się na zjawiskach zachodzących w półprzewodnikach. Pod wpływem światła elektrony zostają wprawione w ruch, co prowadzi do powstania prądu elektrycznego. Choć zasada działania wydaje się skomplikowana, jej praktyczne zastosowanie

jest coraz powszechniejsze. Panele fotowoltaiczne można spotkać na dachach domów, budynków użyteczności publicznej, a nawet na rozległych farmach słonecznych.

Wydajność instalacji fotowoltaicznych zależy od wielu czynników. Istotne znaczenie ma natężenie promieniowania słonecznego, kąt padania promieni, temperatura pracy ogniw oraz stopień zacienienia modułów. Nawet niewielkie przeszkody, takie jak gałęzie drzew czy elementy konstrukcyjne budynków, mogą wpływać na ilość produkowanej energii. Pokazuje to, że skuteczność technologii zależy nie tylko od jakości urządzeń, ale również od właściwego projektowania i eksploatacji instalacji.

EFEKT FOTOWOLTAICZNY

polega na bezpośredniej konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną



ABSORPCJA

światło przenika do wnętrza struktury ogniwa

GENERACJA

zaabsorbowany foton generuje parę elektron-dziura

SEPARACJA

ładunki są rozdzielane i kierowane w stronę kontaktów: dziury przez bazę do kontaktu tylnego, elektrony przez emiter do kontaktów przednich.

Rys. 2 - Efekt fotowoltaiczny („Odnawialne źródła energii”, prof. Katarzyna Znajdek; Wybrane slajdy z prezentacji podczas warsztatów z uczniami w ramach projektu Eko-Inspiracje).

KOLEKTORY SŁONECZNE

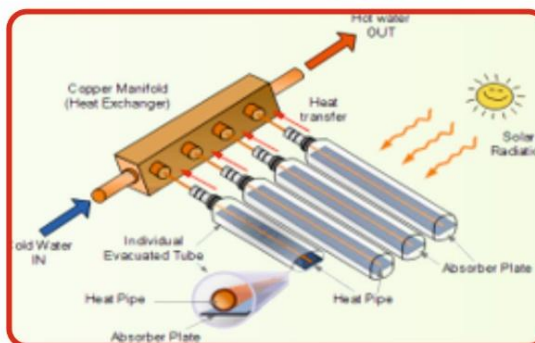
Kolektor płaski

Medium transferujące ciepło: **PŁYN**



Kolektor próżniowy

Medium transferujące ciepło: **POWIETRZE**



Rys. 3 - Kolektory słoneczne („Odnawialne źródła energii”, prof. Katarzyna Znajdek; Wybrane slajdy z prezentacji podczas warsztatów z uczniami w ramach projektu Eko-Inspiracje).

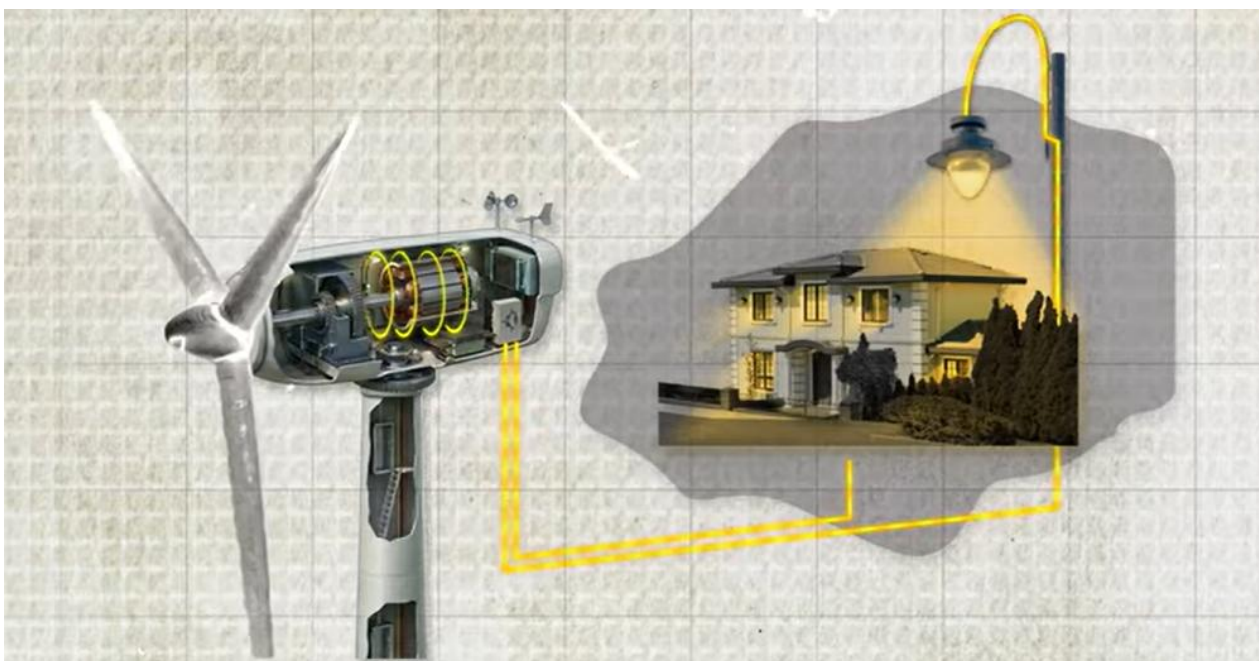
Energia wiatru, geotermia i biomasa

Energia słoneczna nie jest jedynym odnawialnym źródłem energii. Coraz większe znaczenie odgrywa również energetyka wiatrowa. Turbiny wiatrowe wykorzystują energię ruchu mas powietrza do produkcji energii elektrycznej. W wielu krajach stanowią one jeden z podstawowych filarów systemu energetycznego.

Interesującym źródłem energii jest również geotermia, wykorzystująca ciepło zgromadzone we wnętrzu Ziemi. Energia geotermalna może służyć zarówno do ogrzewania budynków, jak i produkcji energii elektrycznej. Jej zaletą jest stabilność dostaw, niezależna od warunków pogodowych.

Kolejnym rozwiązaniem jest biomasa, czyli materia organiczna pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego. Odpowiednio przetworzona może stanowić źródło energii cieplnej oraz

elektrycznej. W przeciwieństwie do paliw kopalnych biomasa należy do źródeł odnawialnych, pod warunkiem że jest pozyskiwana w sposób zrównoważony.

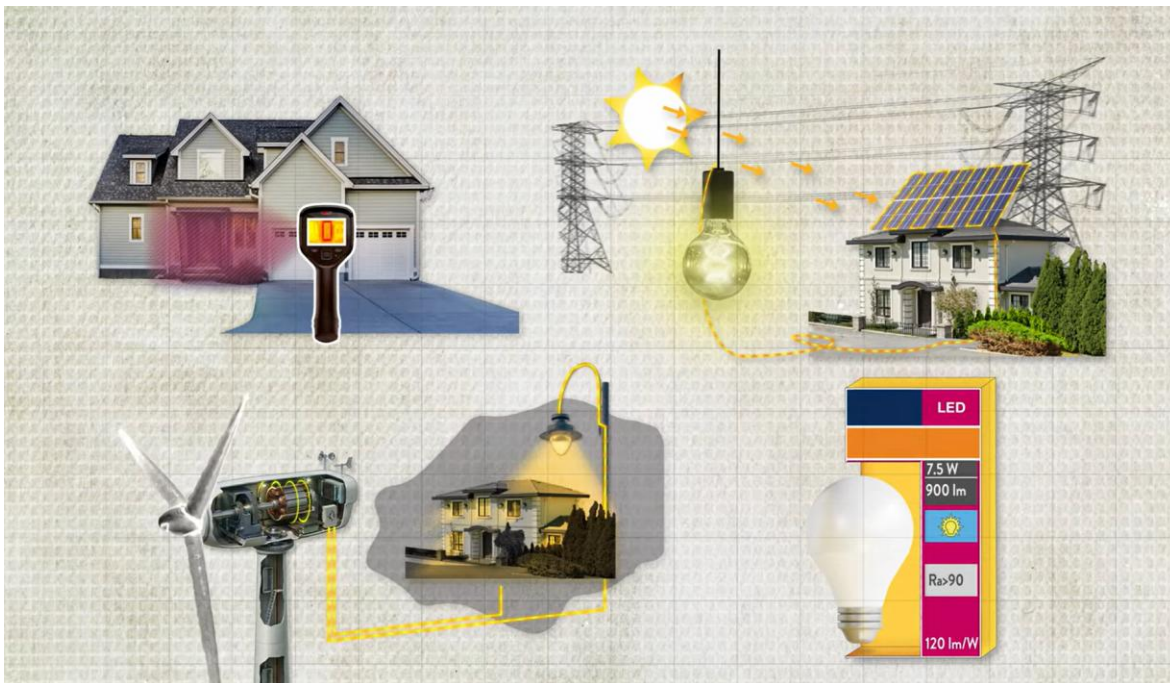


Rys. 4 - Fragment filmu edukacyjnego pt. „Zrównoważona energetyka”, Centrum Multimedialne PŁ.

Turbina wiatrowa zmienia energię kinetyczną poruszającej się masy powietrza (wiatru) na energię mechaniczną ruchu obrotowego wirnika. Następnie wirnik napędza generator, który zamienia energię mechaniczną w elektryczną.

Nauka przez doświadczenie

Zrozumienie zasad funkcjonowania nowoczesnej energetyki staje się łatwiejsze dzięki eksperymentom i obserwacjom. Proste doświadczenia pokazują, że energia może być wytwarzana w różnorodny sposób, a prawa fizyki i chemii można zaobserwować w praktyce. Budowa prostych ogniw galwanicznych pozwala zrozumieć zjawiska związane z przepływem prądu, napięciem elektrycznym i reakcjami elektrochemicznymi. Takie doświadczenia pokazują, że nauka nie jest jedynie zbiorem definicji i wzorów, lecz narzędziem służącym do wyjaśniania procesów zachodzących w otaczającym świecie.



Rys. 5 - Fragment filmu edukacyjnego pt. „Zrównoważona energetyka”, Centrum Multimedialne PŁ.

Energia a przyszłość młodego pokolenia

Przyszłość energetyki będzie w dużym stopniu zależeć od decyzji podejmowanych przez obecne pokolenie uczniów. To właśnie młodzi ludzie będą projektować nowe technologie, tworzyć innowacyjne rozwiązania oraz podejmować decyzje wpływające na kierunek rozwoju gospodarki. Świadomość energetyczna staje się więc nie tylko elementem edukacji ekologicznej, ale także ważną kompetencją obywatelską.

Zrozumienie zasad efektywności energetycznej i odnawialnych źródeł energii pozwala spojrzeć na energię nie jako na niewyczerpalny zasób, lecz jako dobro wymagające odpowiedzialnego gospodarowania. Każda świadoma decyzja – od wyłączenia niepotrzebnego oświetlenia po wybór technologii wykorzystujących energię odnawialną – może przyczynić się do ograniczania presji człowieka na środowisko.

Rozwój odnawialnych źródeł energii jest jednym z najważniejszych elementów budowania zrównoważonej przyszłości. Technologie te nie tylko pomagają ograniczać emisję gazów cieplarnianych, ale również wspierają rozwój nowoczesnej gospodarki, zwiększają bezpieczeństwo energetyczne i tworzą nowe możliwości dla kolejnych pokoleń.

I. Badanie jakości wody i gleby

Choć na pierwszy rzut oka wydają się czymś oczywistym i powszechnie dostępnym, woda i gleba należą do najcenniejszych zasobów naszej planety. To fundament życia na Ziemi. To właśnie od ich jakości zależy funkcjonowanie ekosystemów, produkcja żywności, zdrowie ludzi oraz rozwój gospodarczy. Współczesny świat coraz częściej staje jednak przed problemem pogarszającego się stanu środowiska, a jednym z najważniejszych wyzwań staje się ochrona zasobów wodnych i glebowych.

Woda – źródło życia i zasób, którego nie można zastąpić

Woda jest substancją niezbędną do życia wszystkich organizmów. Pokrywa około 70 % powierzchni Ziemi i występuje w trzech stanach skupienia: jako lód, ciecz i para wodna. Jest głównym składnikiem organizmów żywych oraz uniwersalnym rozpuszczalnikiem, dzięki któremu możliwe są procesy biologiczne zachodzące w komórkach.

Mimo że Ziemia nazywana jest często „błękitną planetą”, dostęp do czystej wody słodkiej jest ograniczony. Większość zasobów wodnych stanowią słone wody oceanów i mórz, a znaczna część wody słodkiej pozostaje uwięziona w lodowcach lub głęboko pod powierzchnią ziemi. W praktyce tylko niewielki procent światowych zasobów wodnych może być wykorzystywany przez człowieka.

Problem ten jest szczególnie istotny w Polsce. W międzynarodowych statystykach nasz kraj zaliczany jest do państw ubogich w zasoby wodne. W przeliczeniu na jednego mieszkańca Polska dysponuje kilkukrotnie mniejszymi zasobami wody słodkiej niż wiele innych państw europejskich, takich jak Austria, Szwecja czy Węgry. W okresach suszy sytuacja staje się jeszcze bardziej wymagająca, a niedobory wody wpływają zarówno na rolnictwo, gospodarkę, jak i funkcjonowanie ekosystemów.

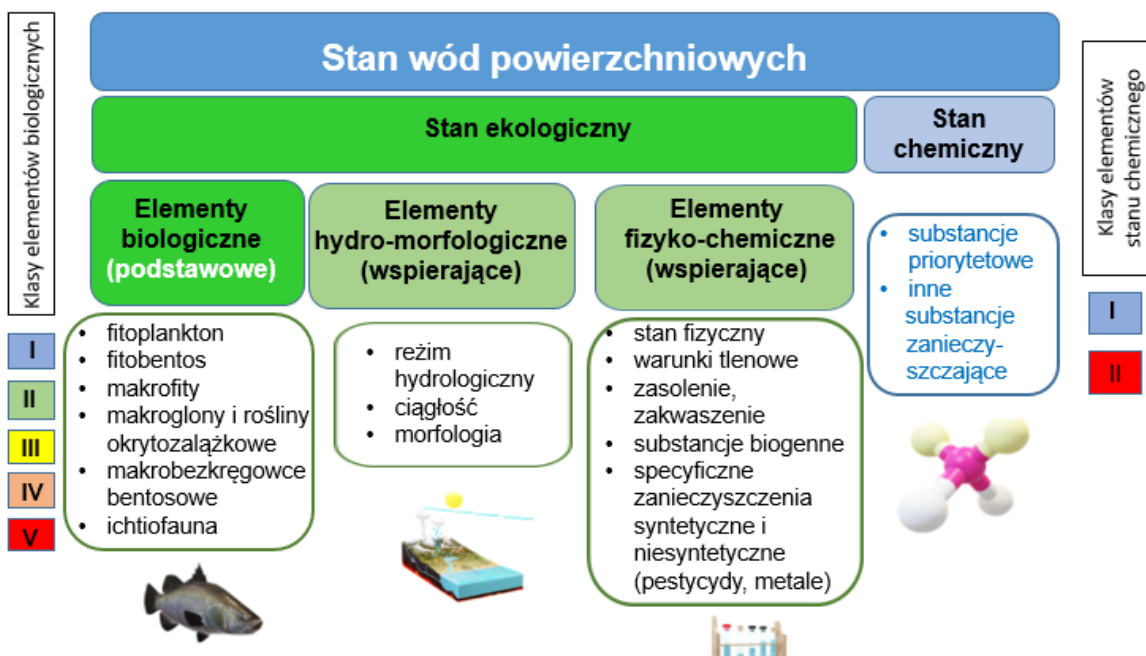
Dodatkowym problemem jest pogarszający się stan jakości wód. Zanieczyszczenia pochodzące z przemysłu, rolnictwa, transportu i gospodarstw domowych mogą powodować zmiany właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych wody. Obecność nadmiaru nawozów, środków ochrony roślin, metali ciężkich czy mikroplastiku wpływa nie tylko na organizmy wodne, ale również na bezpieczeństwo zdrowotne człowieka.

Dlaczego badamy jakość wody?

Ocena jakości wody jest jednym z podstawowych elementów monitoringu środowiska. Dzięki regularnym badaniom można określić stopień zanieczyszczenia oraz wykryć zagrożenia jeszcze zanim staną się one niebezpieczne dla ludzi i przyrody.

Podczas analiz naukowcy badają między innymi odczyn pH, przewodnictwo elektryczne, zawartość tlenu rozpuszczonego, stężenie związków azotu i fosforu czy obecność substancji toksycznych. Każdy z tych parametrów dostarcza informacji o stanie środowiska oraz zachodzących w nim procesach.

Monitoring jakości wód ma ogromne znaczenie dla planowania działań ochronnych, zarządzania zasobami naturalnymi oraz zapewnienia bezpieczeństwa mieszkańcom. Dzięki niemu możliwe jest podejmowanie skutecznych działań zapobiegających degradacji środowiska.



Rys. 6 - Elementy oceny stanu wód powierzchniowych w Polsce, źródło: opracowanie własne A. Brzezińska na podstawie Raportu GIOŚ z lat 2019-2024

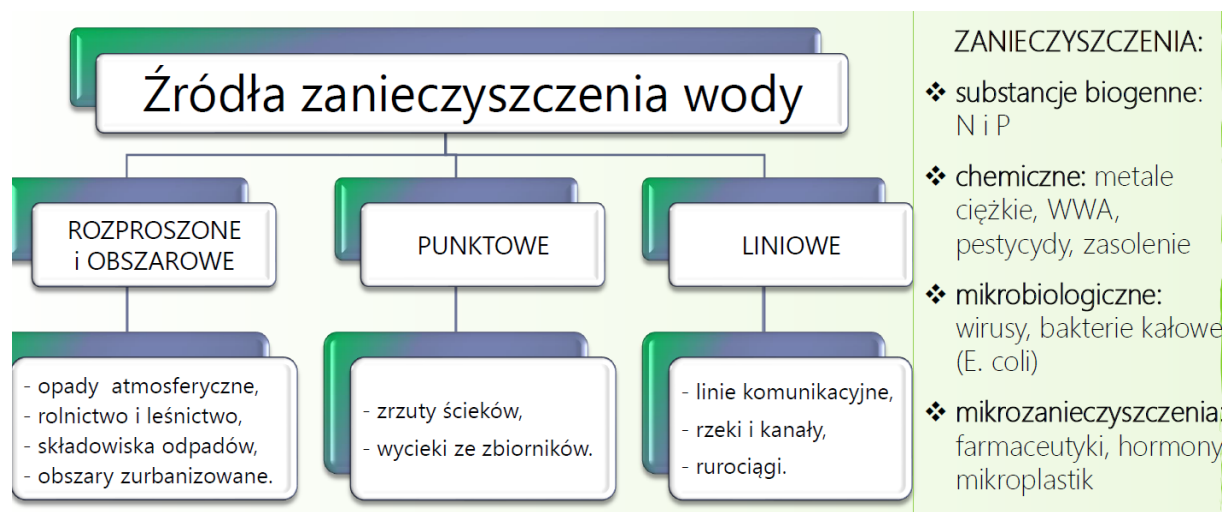
Ponad 90% zasobów wodnych w Polsce ma zły stan wód!

W międzynarodowych statystykach **Polska to kraj ubogi w zasoby wodne** tylko 60 mln m³, a w czasie suszy – 40 mln m³.

Dla porównania:

- Francja – 206 mln m³
- Niemcy – 188 mln m³

POLSKA posiada kilkakrotnie mniejsze zasoby wody słodkiej w przeliczeniu na 1 mieszkańca niż Austria, Belgia, Słowacja, Węgry czy Szwecja.



Rys. 7 - Typy źródeł zanieczyszczeń wody; opracowanie własne E. Kapuścińska, B. Mokrzycka-Wieteska

Przykładowe wyniki badań wybranych wskaźników w wodach powierzchniowych

Wskaźnik/ parametr	Jednostka	Przeciętny zakres
Odczyn - pH	-	7,1 – 8,3
Temperatura	°C	7,3 – 14,1
Przewodnictwo elektrolityczne właściwe	μS/cm	58 - 3089
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	2,9 – 11,2
Twardość	mg CaCO ₃ /l	83,7 – 1470,6
Azotany	mg N-NO ₃ /l	0,53 – 5,22
Fosforany	mg P-PO ₄ /l	0,007 – 0,177

Rys. 8 - Przykładowe wartości wybranych wskaźników jakości wód powierzchniowych; opracowanie własne A. Brzezińska na podstawie danych WIOŚ

Metodologia badawcza

ŚCIEŻKA BADAŃ WODY



Rys. 9 - Schemat badań prowadzonych przez uczniów w ramach warsztatów dotyczących oceny stanu jakości wody powierzchniowej

Oznaczenia były prowadzone w terenie przy pomocy mierników wielofunkcyjnych (temperatura, pH, przewodność elektrolityczna właściwa, zawartość substancji rozpuszczonych) oraz pasków wskaźnikowych (twardość ogólna, stężenie azotanów, stężenie fosforanów).

Przewodność elektrolityczna właściwa wody, czyli przewodnictwo elektryczne (Electrical conductivity) to miara zdolności wody do przewodzenia prądu elektrycznego dzięki obecności jonów. W czystej wodzie jest bardzo niska, ale rośnie wraz z ilością rozpuszczonych soli i zanieczyszczeń.

Najczęściej stosuje się:

- **$\mu\text{S}/\text{cm}$ (mikrosimens na centymetr)** – w chemii i hydrologii
- **mS/cm (milisimens na centymetr)** – dla bardziej zasolonych roztworów

Typowe wartości dla wody

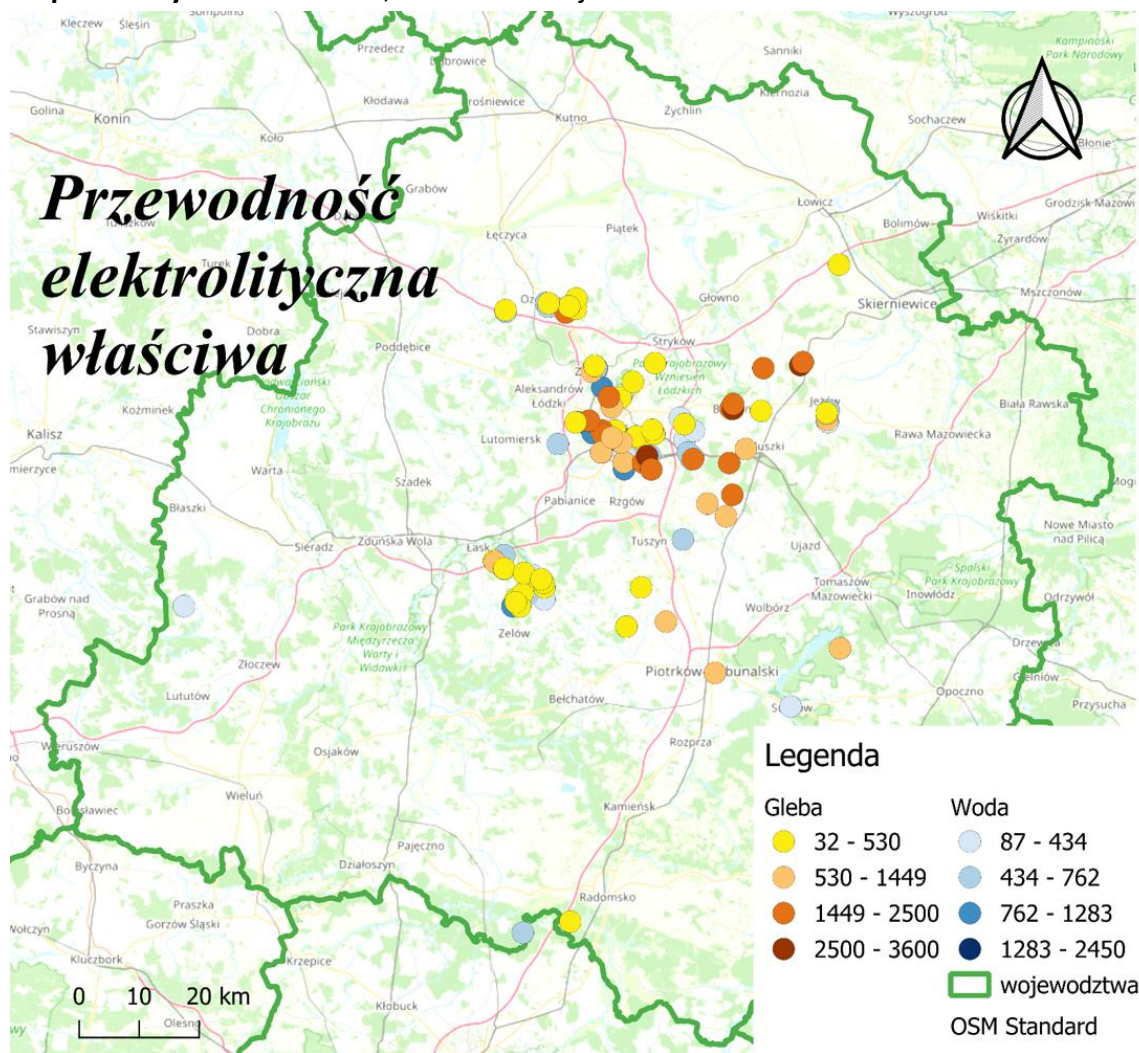
- **Woda ultraczysta (laboratoryjna):**
~0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (w 25°C)
→ praktycznie brak jonów
- **Woda destylowana:**
~1–10 $\mu\text{S}/\text{cm}$
→ szybko „łapie” CO_2 z powietrza, więc przewodność rośnie
- **Woda wodociągowa (kranowa):**
~50–500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
→ zależy od regionu i mineralizacji

- **Wody mineralne:**
~200–2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- **Woda morska:**
~50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\approx 50 \text{ mS}/\text{cm}$)
→ bardzo duża zawartość soli

Od czego zależy przewodność wody?

1. **Zawartość jonów** (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} itd.) – najważniejszy czynnik
2. **Temperatura** – im wyższa, tym większa przewodność (ok. $+2\%/^{\circ}\text{C}$)
3. **CO_2 rozpuszczony w wodzie** – tworzy jony węglanowe
4. **Zanieczyszczenia chemiczne**

Czysta woda sama w sobie prawie nie przewodzi prądu – przewodność pochodzi głównie od rozpuszczonych elektrolitów, a nie od samej H_2O .



Rys. 10 - Przykładowa mapa punktów poboru próbek wody powierzchniowej z danymi dotyczącymi oznaczeń przewodności elektrolitycznej właściwej; opracowanie własne M. Szczesio

Mapa przedstawia przewodność elektrolityczną właściwą dla gleby i wody Województwa łódzkiego. Dane zostały dostarczone przez młodzież licealną wykonującą badania środowiskowe w ramach projektu „Regionalne EKO-Inspiracje z Fundacją PŁ: Edukacja, Innowacje, Działanie” w okolicy własnej szkoły. Mapa została wykonana za pomocą oprogramowania QGIS ver. 3.44.10 (<https://qgis.org>), jako warstwy podkładowej użyto OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>). W ramach projektu zbadano 54 próbki wody oraz 78 próbek gleby.

Przewodność elektrolityczna właściwa gleby zależy od ilości rozpuszczonych w niej soli mineralnych oraz poziomu zasolenia. W ramach badań pobierano różnego rodzaju glebę (rolniczą, z lasu, parku oraz z terenów miejskich). Zakres przewodności jest od 32 do 3600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. W przeważającej ilości próbek wartość należy do niskich i optymalnych. Kilka próbek z terenów miejskich ma parametr wyższy niż 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, czyli powyżej korzystnej wartości dla większości roślin. Żadna z przebadanych próbek nie wykazała wartości powyżej 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, czyli silnego zasolenia.

Przewodność elektrolityczna właściwa wody zależy od stężenia rozpuszczonych soli mineralnych, temperatury. Jest to ważny wskaźnik wskazujący zanieczyszczenie rzek. W przypadku pobranych próbek wody wartości jest zakresu 87-2450 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Wartość przewodności 47 przebadanych próbek świadczy o dobrej jakości wód, natomiast 7 próbek przekracza tę wartość.

Miejsca o podwyższonej wartości należałoby monitorować oraz wykonać dodatkowe badania fizykochemiczne.

Literatura:

Monika Gajec, Anna Król, Ewa Kukulska-Zajac, Justyna Mostowska-Stąsiek, Pobieranie próbek gleby w kontekście prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi, NAFTA-GAZ, ROK LXXIV, Nr 3 / 2018

Stanisław Marek Samborski, Michał Stępień, Yunus Emre Şekerli, A case study of the temporal stability of soil electrical conductivity for a sandy field and the usefulness of its measurement for the preparation of agronomic category maps, SOIL SCIENCE ANNUAL 2025, 76(3), 208825

Gleba – niewidoczny fundament ekosystemów

Choć często skupiamy uwagę na wodzie, równie ważnym elementem środowiska jest gleba. To właśnie ona stanowi biologicznie czynną powierzchnię Ziemi i podstawowe ogniwo większości lądowych łańcuchów pokarmowych. W glebie zakorzenione są rośliny, które stanowią źródło pożywienia dla zwierząt i ludzi.

Gleba nie jest jedynie mieszaniną piasku, minerałów i materii organicznej. To niezwykle złożony układ składający się z części stałej, wody, powietrza oraz ogromnej liczby organizmów żywych. W jednym gramie żyznej gleby mogą znajdować się miliony bakterii, grzybów i innych mikroorganizmów odpowiedzialnych za rozkład materii organicznej oraz obieg składników pokarmowych.

Powstawanie gleby jest procesem bardzo powolnym. Utworzenie zaledwie kilku centymetrów żyznej warstwy może trwać setki lat. Z tego powodu gleba jest zasobem, który należy chronić równie starannie jak wodę.

Zagrożenia dla gleb

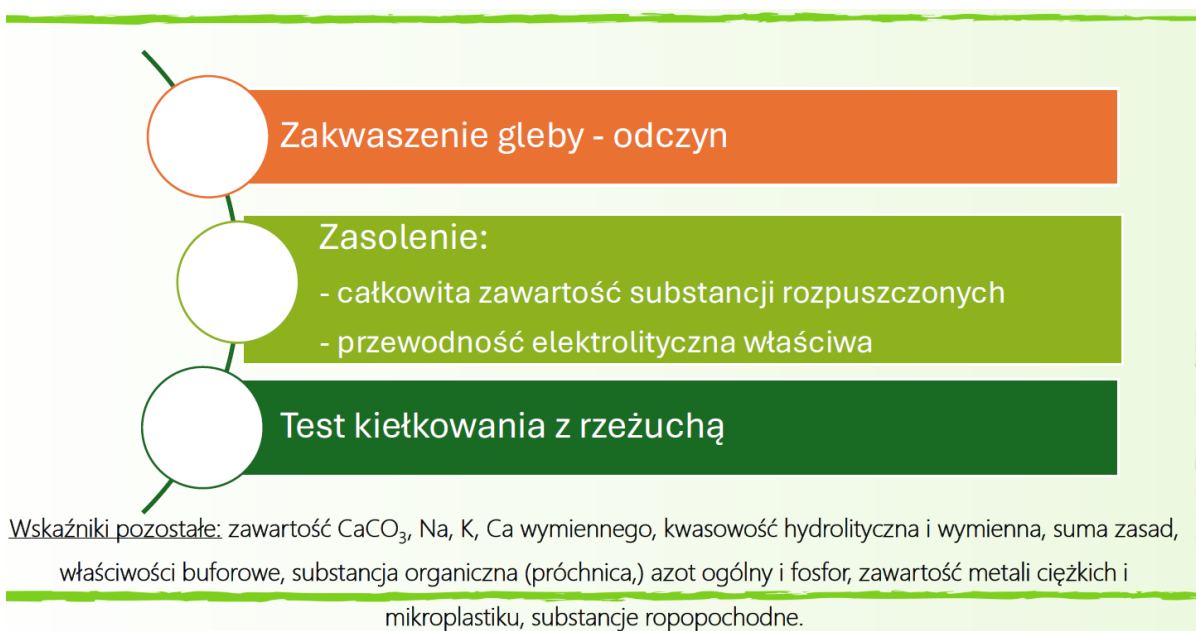
Współczesne rolnictwo, urbanizacja oraz działalność przemysłowa mogą prowadzić do degradacji gleb. Jednym z najpoważniejszych problemów jest erozja, czyli stopniowe niszczenie powierzchni gleby przez wodę i wiatr. Zagrożeniem są również zanieczyszczenia chemiczne, nadmierne stosowanie nawozów i środków ochrony roślin oraz niekontrolowane składowanie odpadów.

Coraz większym problemem staje się także zakwaszenie i zasolenie gleb. Zmiany te wpływają na rozwój roślin, ograniczają aktywność organizmów glebowych oraz prowadzą do obniżenia żyzności. W rezultacie maleje zdolność gleby do produkcji żywności i magazynowania wody.

Naukowcy zwracają uwagę, że degradacja gleb jest jednym z najważniejszych wyzwań środowiskowych XXI wieku. Bez zdrowych gleb trudno mówić o bezpieczeństwie żywnościowym, ochronie bioróżnorodności czy przeciwdziałaniu zmianom klimatu.



Rys. 11 - Skład gleby; opracowanie własne B. Mokrzycka-Wieteska i E. Badowska na podstawie: Baran S., 2000, Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Przewodnik do ćwiczeń, Lublin oraz Łopata K., Rudnik E., Nowak E., 1997, Tajemnice gleby. Chroń swoje środowisko, Warszawa.



Rys. 12 - Ocena degradacji gleby – zakres badań prowadzonych przez uczniów; opracowanie własne D. Gryglik, E. Badowska

Około 60% użytków rolnych w Polsce jest mniej lub bardziej zakwaszona i wymaga realizacji wapnowania. Nadmierne zakwaszenie gleby to poważny czynnik jej degradacji. Do przyczyn antropogenicznych zakwaszenia gleb należą przede wszystkim:

- zanieczyszczenia atmosferyczne (SO₂, CO₂, NO_x),
- nawozy sztuczne „kwaśne”.

Konsekwencją zakwaszenia gleb jest pogorszenie jej struktury i przepuszczalności, zwiększenie rozpuszczalności składników mineralnych, w tym metali ciężkich oraz toksyczność ich oddziaływania na organizmy żywe (rośliny → zwierzęta, człowiek). Poniżej przedstawiono wybrane rośliny wskaźnikowe gleb zasadowych i kwaśnych.



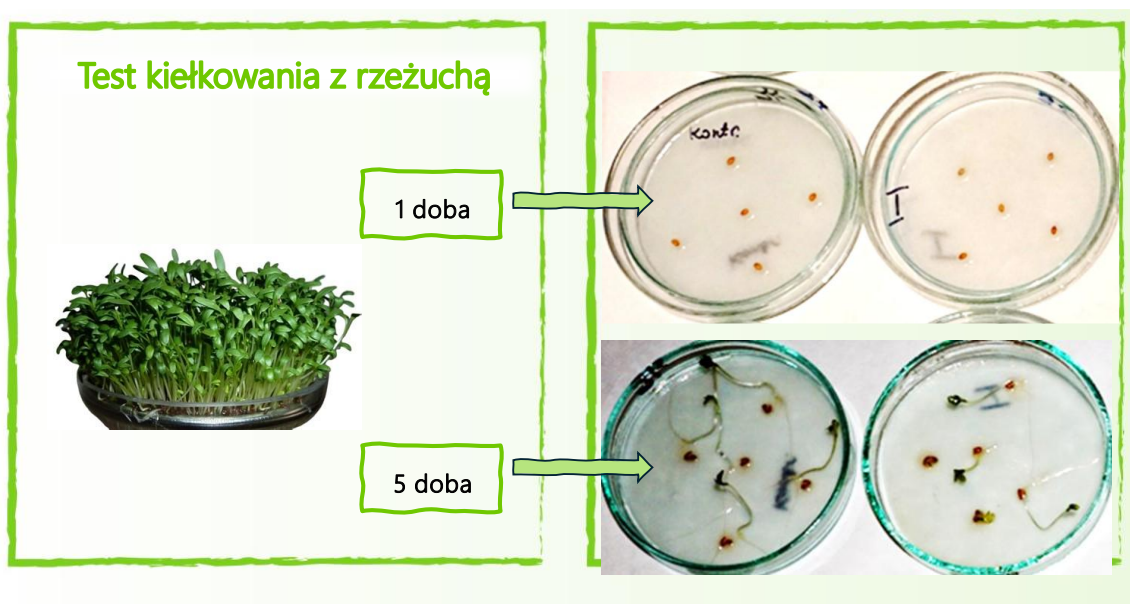
Rys. 13 - Przykładowe rośliny wskaźnikowe gleb zasadowych i kwaśnych; opracowanie własne E. Badowska i B. Mokrzycka-Wieteska B.; źródło zdjęć: https://www.drogadonatury.pl/encyklopedia_ziol/fiolek-trojbarwny-bratek-polny-viola-tricolor/; <https://encyklopedialesna.com/haslo/wrzos/>; <https://encyklopedialesna.com/haslo/dziurawiec/>; <https://encyklopedialesna.com/haslo/przylaszczka/>

Zasolenie gleby definiowane jest jako proces gromadzenia się soli w profilu glebowym. Czynniki wywołujące zasolenie można podzielić na naturalne – klimatyczne oraz sztuczne - niewłaściwe nawożenie i nawadnianie. Poniżej przedstawiono typowe objawy zasolenia u roślin.



Rys. 14 - Zasolenie jako wskaźnik degradacji gleby; źródło: opracowanie własne E. Kapuścińska i D. Grylik; źródło zdjęcia: <https://cordis.europa.eu/article/id/428879-research-offers-new-insights-into-the-salinity-tolerance-mechanisms-of-plants/pl>

W celu oszacowania wpływu zanieczyszczeń gleby na rośliny, wykonuje się testy kiełkowania roślin i na ich podstawie stwierdza się wpływ obojętny, inhibicję bądź stymulację. Test biologiczny określa toksyczność gleby względem roślin w najbardziej newralgicznym okresie ich wzrostu - kiełkowania. Do badań można użyć nasion różnych roślin, np. rzodkiewki, rzepaku, ogórka, bobiku, rzeżuchy itp. W prowadzonych przez uczniów badaniach, rośliną testową była rzeżucha (pieprzycą siewną). Poniżej przedstawiono testy kiełkowania z pieprzycą siewną na szalkach Petriego.



Rys. 15 - Test kiełkowania z pieprzycą siewną (potocznie – rzeżuchą) na szalkach Petriego; źródło: opracowanie własne B. Mokrzycka-Wieteska

Na poniższym rysunku przedstawiono etapy badań gleby aż do uzyskania wyciągu wodnego, prowadzone przez uczniów w ramach warsztatów „EKO-INSPIRACJE”.



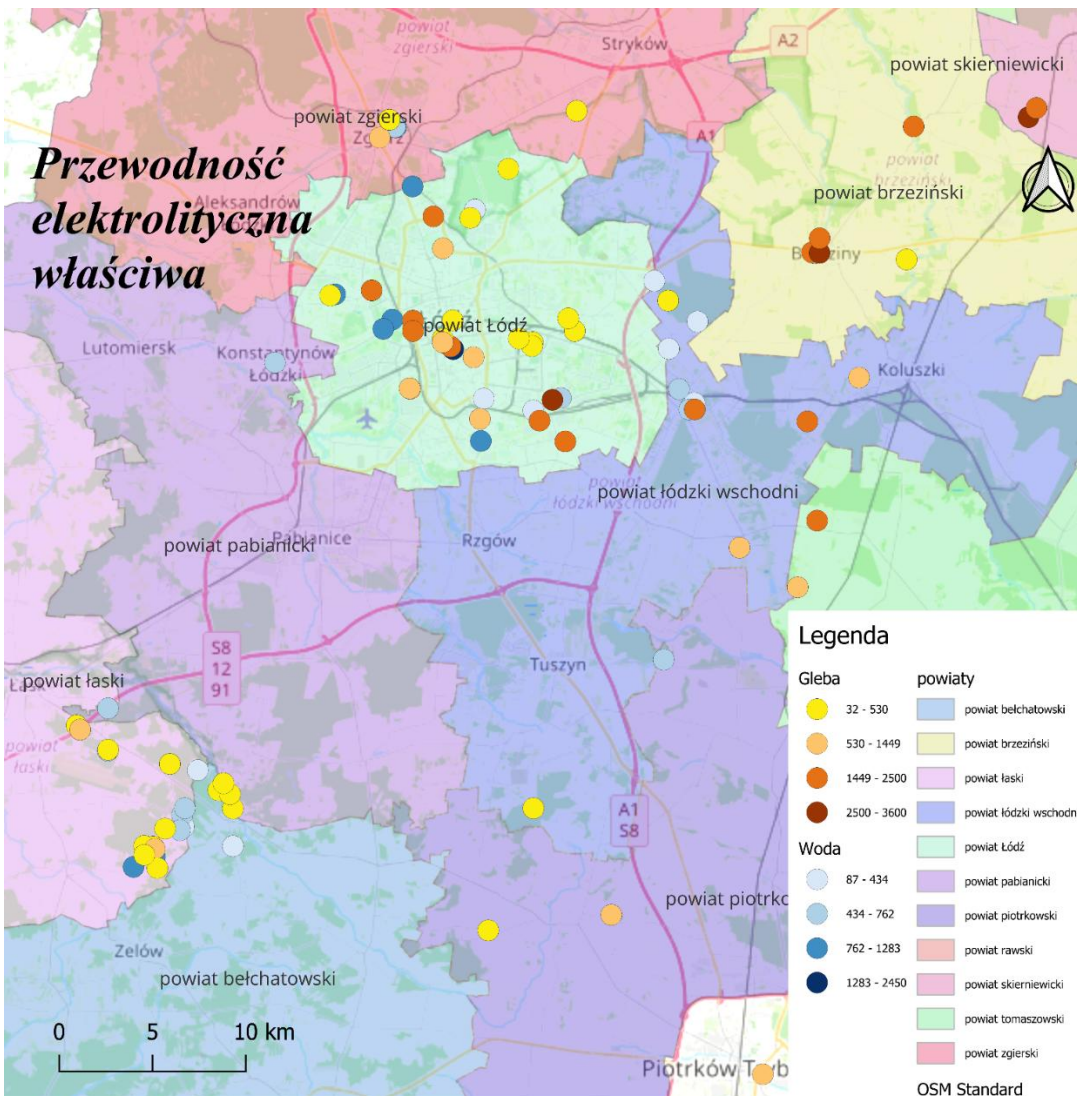
Rys. 16 - Schemat badań prowadzonych przez uczniów w ramach warsztatów dotyczących oceny stanu jakości gleb

Wyciąg wodny wykorzystano do wykonania oznaczeń służących do określenia zakwaszenia gleby – odczyn, zasolenia gleby - przewodnictwo elektrolityczne właściwe i całkowita zawartość substancji rozpuszczonych, a także inhibicji na rośliny – test kiełkowania.

BADANIE WYCIĄGU WODNEGO Z GLEBY - pomiary



Rys. 17 - Przykładowe oznaczenia w wyciągu wodnym – pomiar odczynu różnymi metodami; źródło: opracowanie własne E. Badowska



Rys. 18 - Przykładowa mapa punktów poboru próbek gleby z danymi dotyczącymi oznaczeń przewodności elektrolitycznej właściwej; opracowanie własne M. Szczesio

Woda, gleba i zdrowie człowieka

Stan środowiska ma bezpośredni wpływ na jakość życia ludzi. Zanieczyszczona woda może prowadzić do rozprzestrzeniania się chorób oraz kumulacji szkodliwych substancji w organizmach. Z kolei zdegradowane gleby wpływają na jakość żywności i ograniczają możliwości produkcyjne rolnictwa.

Coraz częściej mówi się również o wzajemnych zależnościach pomiędzy wodą, glebą i klimatem. Zdrowe gleby magazynują wodę i ograniczają skutki suszy, natomiast odpowiednia gospodarka wodna pomaga chronić gleby przed degradacją. Ochrona tych zasobów wymaga więc kompleksowego podejścia oraz współpracy naukowców, samorządów, przedsiębiorców i mieszkańców.

Odpowiedzialność za przyszłość

Problemy związane z jakością wody i gleby nie dotyczą wyłącznie naukowców czy instytucji zajmujących się ochroną środowiska. Każdy człowiek ma wpływ na stan otaczającej przyrody poprzez codzienne decyzje i zachowania. Oszczędzanie wody, odpowiedzialne gospodarowanie odpadami, ograniczanie stosowania szkodliwych substancji czy wspieranie zrównoważonego rolnictwa to działania, które mogą przyczynić się do ochrony zasobów naturalnych.

Zrozumienie znaczenia wody i gleby jest jednym z kluczowych elementów edukacji ekologicznej. To właśnie od jakości tych zasobów zależy funkcjonowanie ekosystemów, bezpieczeństwo żywnościowe oraz jakość życia obecnych i przyszłych pokoleń. Dlatego ich ochrona powinna być traktowana nie jako obowiązek, lecz jako wspólna odpowiedzialność za przyszłość naszej planety.

II. Ochrona bioróżnorodności

„Nadszedł czas, aby zrozumieć, że przyroda bez człowieka będzie istniała, ale człowiek bez przyrody nie” (Arystoteles)

To zdanie coraz częściej pojawia się w dyskusjach dotyczących ochrony środowiska. Przez długi czas człowiek postrzegał przyrodę głównie jako źródło surowców, żywności i przestrzeni do rozwoju cywilizacji. Dopiero w ostatnich dziesięcioleciach zaczęliśmy dostrzegać, jak bardzo nasze życie zależy od sprawnie funkcjonujących ekosystemów. Powietrze, którym oddychamy, woda, którą pijemy, żywność, którą spożywamy, a nawet wiele leków ratujących życie – wszystko to jest efektem procesów zachodzących w świecie przyrody. Podstawą tych procesów jest właśnie bioróżnorodność.

Czym jest bioróżnorodność?

Bioróżnorodność, nazywana również różnorodnością biologiczną, oznacza zróżnicowanie wszystkich organizmów żywych występujących na Ziemi – od mikroskopijnych bakterii po ogromne drzewa i największe zwierzęta. Definicja przyjęta podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych w Rio de Janeiro w 1992 roku podkreśla, że obejmuje ona wszystkie ekosystemy lądowe, słodkowodne i morskie oraz zależności zachodzące pomiędzy organizmami.

Różnorodność biologiczna występuje na wielu poziomach. Obejmuje różnorodność genetyczną, czyli zróżnicowanie genów w obrębie jednego gatunku, różnorodność gatunkową dotyczącą liczby gatunków organizmów oraz różnorodność ekosystemową, związaną z bogactwem siedlisk i krajobrazów. Każdy z tych poziomów jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania przyrody.

Świat organizmów żywych jest niezwykle bogaty. Naukowcy opisali dotychczas około miliona gatunków owadów, ponad czterdzieści tysięcy gatunków ryb, kilkanaście tysięcy gatunków płazów i gadów oraz tysiące gatunków ssaków i ptaków. Jednocześnie szacuje się, że znaczna część organizmów żyjących na Ziemi nadal pozostaje nieodkryta.

Różnorodność biogeograficzna:

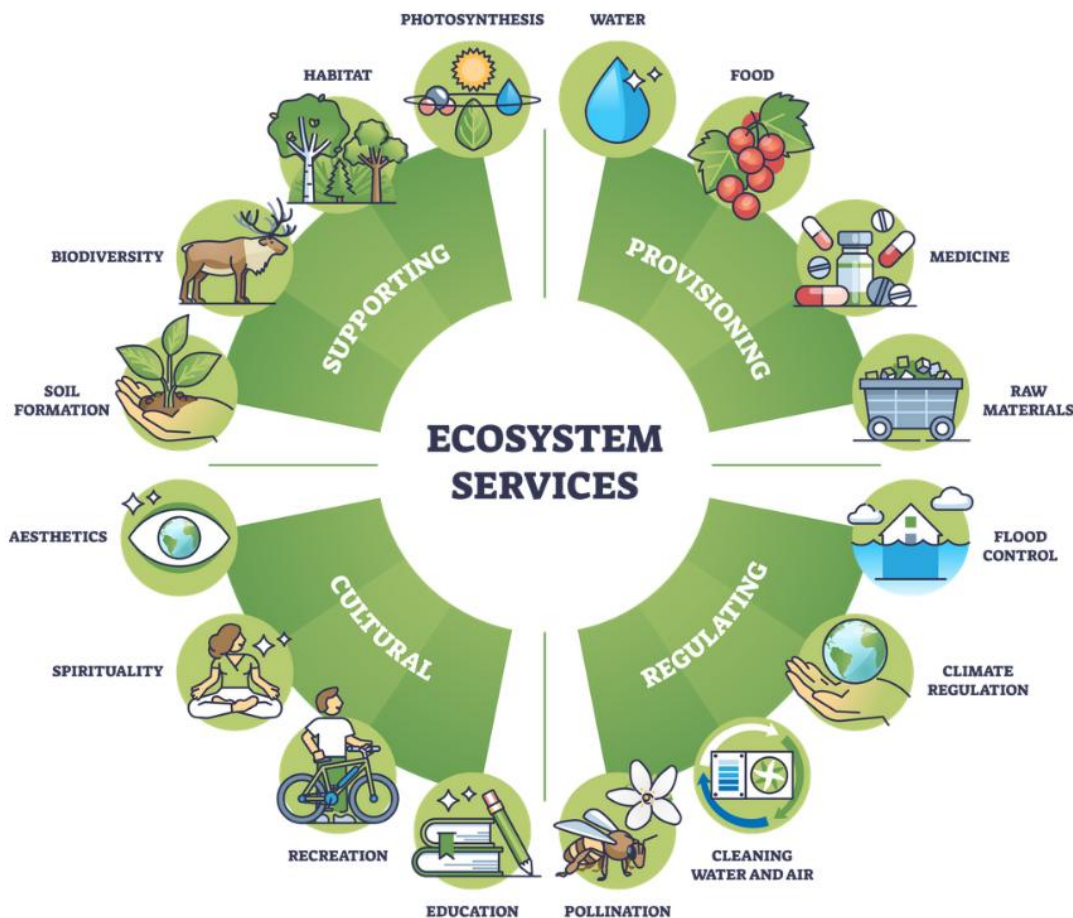
- różnorodność krajobrazowa,
- różnorodność ekosystemowa,
- różnorodność gatunkowa,
- różnorodność genetyczna.

Dlaczego bioróżnorodność jest tak ważna?

Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że los pojedynczego gatunku nie ma większego znaczenia dla człowieka. W rzeczywistości każdy organizm pełni określoną funkcję w środowisku. Razem tworzą one skomplikowaną sieć zależności, która zapewnia stabilność ekosystemów.

Duża różnorodność biologiczna sprawia, że przyroda jest bardziej odporna na choroby, susze, pożary czy gwałtowne zmiany klimatu. Im więcej gatunków uczestniczy w funkcjonowaniu ekosystemu, tym większa jest jego zdolność do regeneracji po wystąpieniu zakłóceń.

Bioróżnorodność jest również podstawą tak zwanych usług ekosystemowych, czyli korzyści, jakie człowiek czerpie z przyrody. Są one często niezauważalne, ponieważ traktujemy je jako coś oczywistego. Tymczasem każdego dnia korzystamy z pracy milionów organizmów żywych.



Rys. 19 - Usługi ekosystemowe; <https://bouldercolorado.gov/protecting-public-health>

Zapylacze, takie jak pszczoły, trzmiele czy motyle, odpowiadają za rozmnażanie wielu gatunków roślin. Szacuje się, że około 75% światowych upraw żywnościowych w pewnym stopniu zależy od zapylania przez zwierzęta. Bez nich produkcja wielu owoców, warzyw i roślin przemysłowych byłaby niemożliwa lub znacznie mniej wydajna.

Równie ważną rolę odgrywają organizmy oczyszczające wodę i glebę, magazynujące dwutlenek węgla czy regulujące klimat. Warto również pamiętać, że przyroda jest źródłem inspiracji dla współczesnej medycyny. Szacuje się, że około 70% leków przeciwnowotworowych powstało dzięki związkom chemicznym odkrytym w organizmach żywych lub zostało nimi zainspirowanych.

Kryzys bioróżnorodności – ciche zagrożenie XXI wieku

Choć przez miliony lat życie na Ziemi rozwijało się i ewoluowało, obecnie obserwujemy gwałtowne tempo zanikania gatunków. Według raportów międzynarodowych organizacji zajmujących się ochroną przyrody średnia liczebność monitorowanych populacji dzikich zwierząt zmniejszyła się od 1970 roku o ponad 70%.

Naukowcy alarmują, że tempo wymierania gatunków jest obecnie od kilkudziesięciu do nawet kilkuset razy wyższe niż naturalne tempo obserwowane w ciągu ostatnich milionów lat. Szacuje się, że każdego roku z powierzchni Ziemi znika od kilku do kilkudziesięciu tysięcy gatunków roślin i zwierząt.

Problem ten określany jest często mianem „szóstego wielkiego wymierania”. W przeciwieństwie do poprzednich katastrof biologicznych nie jest on jednak spowodowany upadkiem meteorytu czy gwałtownymi zmianami geologicznymi. Główną przyczyną jest działalność człowieka.

Przybliżona liczba opisanych gatunków zwierząt (wg *IUCN Red List of Threatened Species* i *Global Biodiversity Information Facility*)

- **Ssaki 5,5 - 6,7 tys.**
- **Płazy 15 tys.**
- **Ptaki 10 - 11 tys.**
- **Ryby 40 tys.**
- **Gady 10 - 12 tys.**
- **Owady 1 mln.**

W latach 1970 - 2020 średnia liczebność monitorowanych populacji dzikich zwierząt spadła o 73% (Raport Living Planet Index 2024).

Szacuje się, że każdego roku wymiera od 5 000 do 50 000 gatunków roślin i zwierząt. (Raport Living Planet Index 2024).

Tempo wymierania gatunków jest obecnie od dziesiątek do setek razy wyższe niż średnia z ostatnich 10 milionów lat.

Raport Międzyrządowej Platformy do spraw Różnorodności Biologicznej i Funkcjonowania Ekosystemów (IPBES - Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)

Co zagraża bioróżnorodności?

Największym zagrożeniem pozostaje niszczenie siedlisk przyrodniczych. Wycinka lasów, osuszanie mokradeł, rozbudowa miast i infrastruktury transportowej powodują, że wiele gatunków traci miejsca niezbędne do życia i rozmnażania.

Poważnym problemem jest również fragmentacja środowiska. Nawet jeśli część siedlisk zostaje zachowana, często są one od siebie odizolowane drogami, zabudową lub terenami przemysłowymi. Utrudnia to migrację zwierząt oraz wymianę materiału genetycznego pomiędzy populacjami.

Kolejnym zagrożeniem są monokultury rolne zajmujące ogromne powierzchnie. Choć zwiększają wydajność produkcji żywności, znacząco ograniczają różnorodność gatunkową krajobrazu. W takich warunkach wiele organizmów nie znajduje odpowiednich warunków do życia.

Negatywny wpływ wywierają również zanieczyszczenia środowiska, nadmierna eksploatacja zasobów naturalnych oraz introdukcja gatunków obcych. Gatunki inwazyjne mogą wypierać organizmy rodzime, zaburzając równowagę całych ekosystemów.

Coraz większym wyzwaniem stają się także zmiany klimatu. Wzrost temperatury, susze, ekstremalne zjawiska pogodowe i przesuwanie się stref klimatycznych powodują, że wiele gatunków nie nadąża z przystosowaniem się do nowych warunków.

Ochrona przyrody zaczyna się blisko nas

Choć problemy związane z utratą bioróżnorodności mają charakter globalny, wiele działań ochronnych można podejmować na poziomie lokalnym. Nie zawsze wymagają one dużych nakładów finansowych czy specjalistycznej wiedzy.

Coraz więcej osób rezygnuje z idealnie przystrzyżonych trawników na rzecz łąk kwietnych. Takie miejsca dostarczają pokarmu owadom zapylającym i zwiększają różnorodność biologiczną nawet w przestrzeni miejskiej.

Duże znaczenie ma również sadzenie rodzimych gatunków roślin. Są one najlepiej przystosowane do lokalnych warunków i stanowią naturalne źródło pokarmu dla wielu

owadów oraz ptaków. Pomocne mogą być także proste konstrukcje, takie jak hotele dla owadów, które zapewniają schronienie zapylaczom.

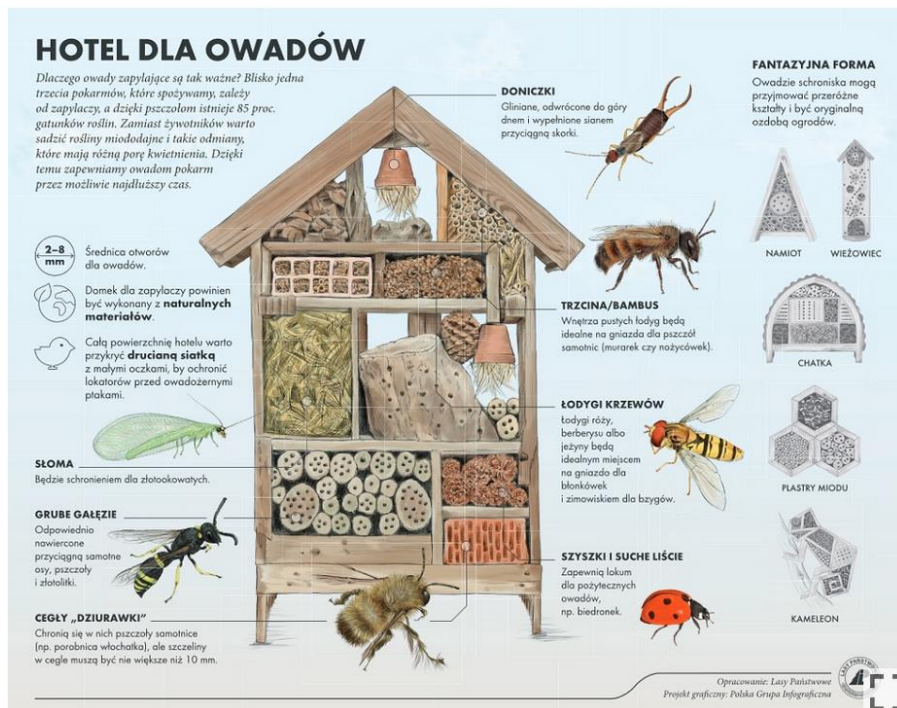
W ochronie przyrody ważne są także codzienne wybory konsumenckie. Kupowanie lokalnej i sezonowej żywności wspiera bardziej zrównoważone formy produkcji rolnej. Ograniczanie zużycia plastiku pomaga chronić ekosystemy wodne, a odpowiedzialne korzystanie z obszarów chronionych wspiera zachowanie cennych siedlisk.

Nie musimy robić wszystkiego – ale każdy może zrobić coś

Wielkie problemy środowiskowe często wydają się odległe i trudne do rozwiązania. Łatwo wtedy pomyśleć, że działania pojedynczej osoby nie mają znaczenia. Historia ochrony przyrody pokazuje jednak, że zmiany społeczne zaczynają się właśnie od indywidualnych decyzji podejmowanych przez miliony ludzi.

Ochrona bioróżnorodności nie polega wyłącznie na ratowaniu zagrożonych gatunków. To inwestycja w bezpieczeństwo żywnościowe, zdrowie, gospodarkę i jakość życia przyszłych pokoleń. Im lepiej zrozumiemy zależności łączące człowieka z przyrodą, tym większa będzie nasza zdolność do podejmowania odpowiedzialnych decyzji.

Nie odziedziczyliśmy Ziemi po naszych przodkach. Pożyczyliśmy ją od tych, którzy przyjdą po nas. Dlatego troska o różnorodność biologiczną jest nie tylko obowiązkiem wobec przyrody, ale także wyrazem odpowiedzialności za przyszłość człowieka.



Rys. 20 - Hotel dla owadów; źródło <https://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/infografiki/hotel-dla-owadow>

III. Recykling, gospodarka odpadami i mikroplastik – niewidzialny problem współczesnego świata

Problem odpadów, a szczególnie mikroplastiku, stanowi jedno z najpoważniejszych wyzwań środowiskowych. Każdego dnia korzystamy z dziesiątek przedmiotów wykonanych z tworzyw sztucznych. Butelki na napoje, opakowania żywności, torby zakupowe, ubrania sportowe, sprzęt elektroniczny czy wyposażenie samochodów stały się nieodłącznym elementem współczesnego życia. Tworzywa sztuczne są lekkie, trwałe, tanie i łatwe w produkcji, dlatego w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat całkowicie zmieniły sposób funkcjonowania społeczeństw. Jednocześnie stały się źródłem jednego z największych problemów środowiskowych XXI wieku.

Światowa produkcja tworzyw sztucznych przekracza obecnie 400 milionów ton rocznie i stale rośnie. Znaczna część tej produkcji przeznaczona jest na opakowania jednorazowego użytku, które często stają się odpadem już po kilku minutach od zakupu produktu. Problem nie polega jednak wyłącznie na ogromnej ilości odpadów. Coraz większe obawy naukowców budzi zjawisko powstawania mikroplastiku i nanoplastiku – niewielkich cząstek tworzyw sztucznych, które rozprzestrzeniają się w środowisku i trafiają do organizmów żywych.

Od odpadu do mikroplastiku

Przez wiele lat sądzono, że plastik jest materiałem niemal niezniszczalnym. W rzeczywistości tworzywa sztuczne nie znikają ze środowiska, lecz stopniowo rozpadają się na coraz mniejsze fragmenty. Pod wpływem promieniowania słonecznego, zmian temperatury, działania wody oraz uszkodzeń mechanicznych duże elementy plastikowe kruszą się i przekształcają w mikroskopijne cząstki.

Mikroplastiki to fragmenty tworzyw sztucznych o wielkości od około 1 mikrometra do 5 milimetrów. Jeszcze mniejsze są nanoplastyki, których rozmiary są mniejsze niż 1 mikrometr. Dla porównania – ludzki włos ma średnicę około 70 mikrometrów, co oznacza, że wiele cząstek mikroplastiku jest niewidocznych gołym okiem.

Naukowcy wyróżniają dwa podstawowe rodzaje mikroplastiku. Mikroplastik pierwotny jest produkowany celowo i wykorzystywany między innymi w niektórych kosmetykach, środkach czyszczących czy procesach przemysłowych. Mikroplastik wtórny powstaje natomiast podczas rozpadu większych elementów wykonanych z tworzyw sztucznych, takich jak butelki, folie, opakowania, odzież syntetyczna czy elementy wyposażenia codziennego użytku.

Plastik wokół nas – skala problemu

Jeszcze kilkadziesiąt lat temu odpady plastikowe były stosunkowo rzadkim zjawiskiem. Dziś można je znaleźć praktycznie wszędzie – od głębin oceanicznych po szczyty najwyższych gór. Mikroplastik wykrywany jest w wodach powierzchniowych, wodzie pitnej, glebach, osadach rzecznych, powietrzu, żywności, a nawet w organizmach ludzi.

Badania prowadzone w ostatnich latach wykazały obecność mikroplastiku w płucach, krwi, łożysku, mleku matki oraz innych tkankach ludzkiego organizmu. Oznacza to, że człowiek jest narażony na kontakt z tymi cząstkami praktycznie przez całe życie.

Najważniejszą drogą narażenia pozostaje żywność i woda. Mikroplastik może przedostawać się do produktów spożywczych podczas produkcji, transportu i przechowywania. Znajdowany jest między innymi w rybach, owocach morza, soli kuchennej, wodzie butelkowanej oraz wielu produktach przetworzonych.

Czy opakowania żywności są całkowicie bezpieczne?

Większość opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością spełnia rygorystyczne normy bezpieczeństwa. Coraz więcej badań wskazuje jednak, że podczas codziennego użytkowania mogą one uwalniać niewielkie ilości mikro- i nanoplastiku.

Szczególne znaczenie mają warunki użytkowania. Wysoka temperatura przyspiesza proces starzenia się tworzyw sztucznych oraz zwiększa ryzyko odrywania się drobnych cząstek. Dotyczy to między innymi podgrzewania żywności w plastikowych pojemnikach, zalewania wrzątkiem produktów znajdujących się w opakowaniach z tworzyw sztucznych czy wielokrotnego używania tych samych pojemników.

Na proces degradacji wpływa również promieniowanie ultrafioletowe. Długotrwałe wystawianie butelek lub pojemników na działanie światła słonecznego powoduje osłabienie struktury materiału, zwiększa jego kruchość i sprzyja powstawaniu mikropęknięć. Podobny efekt wywołują uszkodzenia mechaniczne, takie jak zgniatanie, ściskanie czy wielokrotne otwieranie i zamykanie opakowań.

Warto podkreślić, że obecnie naukowcy nadal badają rzeczywistą skalę zagrożeń związanych z migracją mikroplastiku do żywności. Choć wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi, coraz więcej instytucji naukowych i organizacji międzynarodowych prowadzi intensywne badania nad tym problemem.

Mikroplastik a zdrowie człowieka

Jednym z najważniejszych pytań współczesnej nauki jest wpływ mikroplastiku na organizmy żywe. Wiadomo już, że bardzo małe cząstki mogą przenikać przez bariery

biologiczne organizmu i docierać do różnych tkanek. W warunkach laboratoryjnych wykazano, że mogą one wywoływać stres oksydacyjny, czyli zaburzenia równowagi chemicznej komórek prowadzące do ich uszkodzenia.

Szczególne uwagę badaczy zwracają nanoplastyki. Ze względu na swoje niewielkie rozmiary mogą łatwiej przenikać przez błony komórkowe i uczestniczyć w procesach biologicznych. Dodatkowo powierzchnia cząstek mikroplastiku może adsorbować inne substancje obecne w środowisku, w tym metale ciężkie czy związki chemiczne o potencjalnie szkodliwym działaniu.

Najbardziej narażone na skutki ekspozycji mogą być niemowlęta, małe dzieci oraz kobiety w ciąży. Organizmy rozwijające się są bardziej wrażliwe na działanie czynników środowiskowych, dlatego konieczne są dalsze badania pozwalające lepiej zrozumieć potencjalne konsekwencje zdrowotne.

Recykling – ważny, ale niewystarczający

Przez wiele lat recykling był postrzegany jako główne rozwiązanie problemu odpadów. Rzeczywiście odgrywa on niezwykle ważną rolę, ponieważ pozwala ograniczyć zużycie surowców naturalnych oraz zmniejszyć ilość odpadów trafiających na składowiska.

Nie oznacza to jednak, że recykling samodzielnie rozwiąże problem zanieczyszczenia środowiska plastikiem. Znaczna część odpadów nie trafia do systemów odzysku lub nie nadaje się do ponownego przetworzenia. Wiele produktów jednorazowych powstaje szybciej, niż jesteśmy w stanie je odzyskać i wykorzystać ponownie.

Dlatego coraz większe znaczenie zyskuje koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym. Jej celem jest takie projektowanie produktów, aby mogły być wielokrotnie wykorzystywane, naprawiane, odzyskiwane i przetwarzane. W takim modelu odpady stają się surowcami, a ilość materiałów trafiających do środowiska jest ograniczana do minimum.

Jak każdy z nas może ograniczyć problem?

Rozwiązanie problemu mikroplastiku wymaga działań na poziomie globalnym, ale równie ważne są codzienne decyzje podejmowane przez konsumentów. Ograniczanie liczby jednorazowych opakowań, korzystanie z butelek wielokrotnego użytku, wybieranie produktów o mniejszej ilości opakowań czy właściwa segregacja odpadów pozwalają zmniejszyć presję na środowisko.

Warto również zwracać uwagę na sposób użytkowania opakowań. Eksperti zalecają unikanie podgrzewania żywności w pojemnikach plastikowych, szczególnie jeśli nie są one przeznaczone do tego celu. Bezpieczniejszą alternatywą mogą być naczynia szklane, ceramiczne lub stalowe.

Coraz większe znaczenie ma także świadoma konsumpcja. Najbardziej ekologicznym odpadem jest bowiem ten, który nigdy nie powstał. Ograniczanie niepotrzebnych zakupów, wybieranie produktów trwałych oraz naprawa przedmiotów zamiast ich wyrzucania stanowią jedne z najskuteczniejszych działań na rzecz ochrony środowiska.

Od gospodarki odpadami do odpowiedzialności za przyszłość

Problem mikroplastiku pokazuje, że współczesne wyzwania środowiskowe są znacznie bardziej złożone, niż mogłoby się wydawać. Nie dotyczą jedynie składowisk odpadów czy zanieczyszczonych rzek, lecz całego systemu produkcji, konsumpcji i gospodarowania zasobami.

Współczesna gospodarka stoi przed koniecznością przejścia od modelu „wyprodukuj – wykorzystaj – wyrzuć” do modelu opartego na odpowiedzialnym korzystaniu z surowców. Recykling pozostaje ważnym elementem tego procesu, ale równie istotne są innowacje technologiczne, edukacja ekologiczna oraz zmiana codziennych nawyków.

Mikroplastik jest problemem niewidocznym gołym okiem, ale jego skutki mogą być odczuwalne przez całe społeczeństwa. Dlatego właśnie wiedza o odpadach, recyklingu i gospodarce o obiegu zamkniętym staje się jednym z kluczowych elementów edukacji ekologicznej XXI wieku. To od decyzji podejmowanych dzisiaj zależy, w jakim środowisku będą żyły przyszłe pokolenia.

Definicja i klasyfikacja mikroplastiku

SEKCJA: PODSTAWY NAUKOWE

Skala i terminologia

MIKROPLASTYKI (MP)
Cząstki tworzyw sztucznych o rozmiarach od **1 µm do 5 mm**.

NANOPLASTYKI (NP)
Cząstki **< 1 µm**, wykazujące wyższą aktywność biologiczną i zdolność penetracji tkanek.

[NOAA, 2024; Ziani et al. 2023; Rehman et al. 2026]

Morfologia i kształty

Zróznicowanie morfologiczne wpływa na kinetykę uwalniania i interakcje z żywnością:

Fragmenty	Włókna
Folie	Kule
Pianki	Mikrokapsułki

Dominujące polimery (FCM)

Materiały najczęściej stosowane w kontakcie z żywnością:

- PE (Polietylen) – butelki, folie
- PP (Polipropylen) – pojemniki, nakrętki
- PET (Politereftalan etylenu) – napoje
- PS (Polistyren) – opakowania instant
- PVC (Polichlorek winylu) – uszczelki, folie

[Ziani et al. 2023, Int. J. Environ. Res.]

Rys. 21 – Definicja i klasyfikacja mikroplastiku, źródła wskazane na rycinie

Mikroplastiki to cząstki tworzyw sztucznych o rozmiarach od 1 µm do 5 mm, natomiast nanoplastyki to cząstki mniejsze niż 1 µm, które wykazują wyższą aktywność biologiczną oraz zdolność penetracji tkanek. Wyróżniamy mikroplastik pierwotny, czyli celowo wytwarzany w małej skali, na przykład mikrogranulki w kosmetykach, oraz wtórny, powstający w wyniku rozpadu większych elementów, takich jak opakowania, butelki czy folie.

Mikroplastik występuje w różnych formach morfologicznych, takich jak fragmenty, włókna, folie, kule, pianki czy mikrokapsułki, co ma bezpośredni wpływ na jego kinetykę uwalniania i interakcje z żywnością. W kontekście materiałów kontaktujących się z żywnością dominują takie polimery jak PE – polietylen stosowany w butelkach i foliach, PP – polipropylen używany w pojemnikach i nakrętkach, PET – stosowany w opakowaniach napojów, PS – wykorzystywany w produktach instant oraz PVC – obecny w uszczelkach i foliach.

Skala problemu globalnego

SEKCJA: WPROWADZENIE I KONTEKST



Rys. 22 – Skala problemu globalnego, źródła wskazane na rycinie

Roczna produkcja tworzyw sztucznych wynosi około 415 milionów ton, a ponad jedna trzecia tej produkcji jest przeznaczona na opakowania, w tym systemy jednorazowe. W gospodarce odpadami tylko 21% plastiku trafia do recyklingu lub spalania, natomiast aż 79% akumuluje się w środowisku.

Nagromadzone odpady ulegają ciągłemu rozpadowi na mikro- i nanoplastyki. Szacuje się, że około 1000 ton mikroplastiku rocznie pochodzi z opakowań i trafia do środowiska. Mikroplastik obecny jest w wodzie powierzchniowej, wodzie pitnej, glebie, powietrzu, żywności przetworzonej, a nawet w tkankach człowieka.

Mechanizmy uwalniania mikroplastiku

SEKCJA: MECHANIZMY UWALNIANIA



Rys. 23 – Mechanizmy uwalniania mikroplastiku, źródła wskazane na rycinie

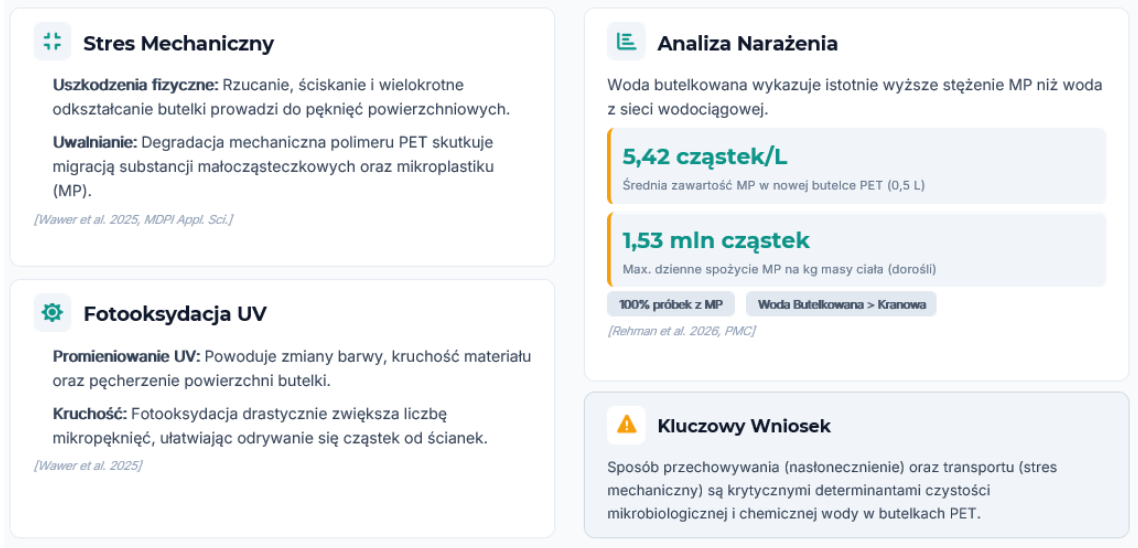
Pierwszym mechanizmem jest degradacja termiczna. Podwyższona temperatura, szczególnie powyżej 70°C , gwałtownie przyspiesza degradację polimerów, takich jak PP i PS. Proces ten prowadzi do zmian strukturalnych oraz rozrywania łańcuchów polimerowych, a liczba uwalnianych cząstek rośnie wraz z temperaturą i czasem kontaktu.

Drugim mechanizmem jest zużycie fizyczne. Tarcie, zgniatanie i wielokrotne użytkowanie prowadzą do uszkodzeń mechanicznych. W przypadku PET ścisnienie butelki zwiększa ilość mikroplastiku w wodzie, a cięcie na powierzchniach PP generuje nawet o 14–71% więcej cząstek niż na polietylenie.

Trzeci mechanizm to wpływ środowiska i promieniowania UV. Naświetlanie UV inicjuje foto-oksydację, zwiększa kruchość materiału i prowadzi do powstawania mikropęknięć, które ułatwiają odrywanie się cząstek. Szybkość emisji zależy od gęstości polimeru i grubości opakowania.

Butelki PET – wyniki badań

SEKCJA: ANALIZA EKSPOZYCJI I DEGRADACJI



Rys. 24 – Butelki PET – wyniki badań, źródła wskazane na rycinie

Uszkodzenia mechaniczne, takie jak rzucanie, ściskanie i odkształcanie butelki, prowadzą do powstawania mikropęknięć powierzchniowych. Degradacja mechaniczna powoduje migrację zarówno mikroplastiku, jak i związków małowcząsteczkowych.

Promieniowanie UV powoduje zmiany barwy materiału, jego kruchość oraz pęcherzenie powierzchni. Fotooksydacja zwiększa liczbę mikropęknięć i ułatwia uwalnianie cząstek.

W analizie narażenia stwierdzono, że woda butelkowana zawiera więcej mikroplastiku niż woda kranowa. Średnia zawartość wynosi około 5,42 cząstek na litr. Jednocześnie szacuje się maksymalne dzienne spożycie nawet na poziomie 1,53 miliona cząstek na kilogram masy ciała. Co ważne – 100% próbek zawiera mikroplastik.

Trzeci mechanizm to wpływ środowiska i promieniowania UV. Naświetlanie UV inicjuje foto-oksydację, zwiększa kruchość materiału i prowadzi do powstawania mikropęknięć, które ułatwiają odrywanie się cząstek. Szybkość emisji zależy od gęstości polimeru i grubości opakowania.

Lunchboxy – wpływ temperatury i mikrofalowania

SEKCJA: MECHANIZMY UWALNIANIA

❄️ Temperatura pokojowa

Uwalnianie mikroplastiku (MP) z pojemników polipropylenowych (PP) jest **minimalne**.
Kluczowe determinanty: czas kontaktu z cieczą oraz pierwotny stan powierzchni polimeru.

[Hussain et al. 2023, Environ. Sci. Technol.]

🔌 Mikrofalowanie (Microwaving)

Pojemniki oznaczone jako **"microwave safe"** uwalniają ogromne ilości MP i NP.
Emisja do **4,2 mln** mikroplastików i miliardów nanoplastyków podczas jednej sesji.
Wielokrotne użycie i różne scenariusze (czas/moc) potęgują efekt degradacji.

[Nebraska University Study, 2023; Hussain et al. 2023]

🌡️ Wpływ wrzącej wody

Zanurzenie w wodzie o temp. 100°C drastycznie zwiększa migrację cząstek.
Wykryto **1,07–2,24 mln** cząstek submikronowych i nanometrowych na litr.

[Liu et al. 2022, Sci. Total Environ.]

✅ Wnioski i Rekomendacje

Podgrzewanie żywności w plastiku stanowi najwyższe ryzyko ekspozycji. Zaleca się stosowanie **szkła lub ceramiki** jako materiałów obojętnych.

Polimery PP i PE są najbardziej podatne na stres cieplny w warunkach domowych.

[Rehman et al. 2026, PMC]

Rys. 25 – Lunchboxy – wpływ temperatury i mikrofalowania, źródła wskazane na rycinie

W temperaturze pokojowej uwalnianie mikroplastiku z pojemników PP jest minimalne i zależy głównie od czasu kontaktu oraz stanu powierzchni.

Natomiast wrząca woda, czyli około 100°C, powoduje gwałtowny wzrost uwalniania – od 1,07 do 2,24 miliona cząstek na litr, głównie w zakresie submikronowym i nanometrycznym.

Najbardziej intensywne uwalnianie zachodzi podczas mikrofalowania. Nawet pojemniki oznaczone jako „microwave safe” uwalniają do 4,2 miliona mikroplastików oraz miliardy nanoplastyków podczas jednej sesji. Wielokrotne użycie i dłuższy czas ekspozycji dodatkowo potęgują efekt degradacji.

Torebki herbaty – ogromna ilość cząstek

SEKCJA: MECHANIZMY UWALNIANIA

Ile mikroplastiku zjadamy z herbatą w torebkach?

Badanie przeprowadzone na Université McGill (Hernandez et al. 2019) wykazało, że zaparzenie jednej plastikowej torebki w 95°C uwalnia ekstremalne ilości cząstek:

~11,6 mld

cząstek mikroplastiku (MP)

~3,1 mld

cząstek nanoplastiku (NP)



GLÓWNE MECHANIZMY UWALNIANIA

Rozkład termiczny: Wysoka temperatura (95°C) osłabia wiązania polimerowe nylonu i PET.

Złuszczenie fizyczne: Mikro-pęknięcia powierzchniowe i mechaniczne odrywanie fragmentów.

Absorpcja wody: Pęcznienie materiału ułatwia migrację cząstek submikronowych do roztworu.

Rekomendacja dla konsumenta

Wybieraj herbatę sypaną parzoną w metalowym sitku lub tradycyjne torebki papierowe (bez plastikowych nici i laminatu PE).

Źródła: Hernandez L.M. et al. (2019). Environ. Sci. Technol.; Rehman Z.U. et al. (2026). PMC

Rys. 25 – Torebki herbaty – ogromna ilość cząstek, źródła wskazane na rycinie, Grafika wygenerowana przez Skywork AI

Jedna plastikowa torebka herbaty zaparzana w temperaturze około 95°C uwalnia około 11,6 miliarda cząstek mikroplastiku oraz 3,1 miliarda nanoplastyków.

Mechanizm obejmuje rozkład termiczny polimeru, złuszczenie powierzchni oraz absorpcję wody. Pęcznienie materiału ułatwia migrację cząstek submikronowych. W efekcie całe to zanieczyszczenie trafia bezpośrednio do naparu.

Opakowania po makaronie instant

SEKCJA: ANALIZA PRZYPADKU (CASE STUDY)



Rys. 26 – Opakowania po makaronie instant, źródła wskazane na rycinie

Opakowania wykonane z polistyrenu są podatne na degradację w wysokiej temperaturze i środowisku kwaśnym. Dodatkowo pokrywki z laminatów PE/PP uwalniają cząstki podczas kontaktu z wrzątkiem.

Kontakt z gorącym tłuszczem i kwasami przyspiesza migrację. Regularne spożycie takich produktów może prowadzić do ekspozycji rzędu 12–203 cząstek mikroplastiku tygodniowo oraz jeszcze większej liczby nanoplastyków.

Opakowania po owsiance instant

SEKCJA: MECHANIZMY UWALNIANIA



Struktura i Typ Materiału

Wielowarstwowe laminaty: **Polietylen (PE) / Papier / Aluminium**.

Jednorodne opakowania z czystego **Polipropylenu (PP)**.

Scenariusz kontaktu: Zalewanie wrzątkiem (80–100°C) bezpośrednio w opakowaniu.

Źródło: Liu et al. 2022, Sci. Total Environ.



Zmienność Między Producentami

Badania wykazują istotne różnice w ilości uwalnianego mikroplastiku (MP) w zależności od marki produktu:

Różne składy laminatów wpływają na stabilność termiczną.

Zmienność grubości warstwy wewnętrznej determinuje poziom emisji.

Jakość zgrzewów i wykończenia powierzchni ma kluczowe znaczenie.

Źródło: Čurlej et al. 2023



Analiza Uwalniania Częstek

Wewnętrzna folia PE/PP w warunkach wysokiej temperatury uwalnia cząstki **submikronowe i nanoplastyczne**. Deterioracja materiału następuje już przy pierwszym kontakcie z gorącą wodą.

Wysoka temperatura przyspiesza kinetykę migracji polimerów do owsianki.

Źródło: Čurlej et al. 2023, JMBFS



Kluczowe Ryzyko

O poziomie narażenia decyduje **wewnętrzna warstwa kontaktowa**. Mimo że polietylen (PE) jest rzadziej badany niż polipropylen (PP), oba polimery stanowią źródło zanieczyszczeń w produktach instant.

Rekomendacja: Przesypywanie produktu do naczyń ceramicznych przed zalaniem wodą.

Źródło: Rehman et al. 2026

Rys. 27 – Opakowania po owsiance instant, źródła wskazane na rycinie

Opakowania mają strukturę laminatów PE/papier/aluminium lub są wykonane z PP. Kontakt z wodą o temperaturze 80–100°C powoduje uwalnianie cząstek już przy pierwszym użyciu.

Ważna jest zmienność między producentami – różny skład laminatu, grubość warstwy oraz jakość zgrzewów wpływają na poziom emisji. Kluczowe znaczenie ma warstwa wewnętrzna mająca kontakt z żywnością.

Woreczki ryżu do gotowania

SEKCJA: MECHANIZMY UWALNIANIA

Scenariusz ryzyka

Worek (PE/PP) gotowany razem z ryżem: **95–100°C** przez **10–20 minut**.

Długi kontakt termiczny sprzyja intensywnej migracji MP i NP.

Hussain et al. 2023

Efekt synergistyczny: Wysoka temperatura + agitacja mechaniczna (wrzenie) przyspieszają degradację polimeru.

Liu et al. 2022

Skala narażenia

Ryż stanowi podstawę diety w wielu kulturach – ryzyko ma charakter stały i skumulowany.

39 000 – 52 000

Cząstek MP spożywanych rocznie z diety

Rehman et al. 2026

Zmienność materiałowa

Ilość uwolnionego mikroplastiku zależy od grubości folii i jakości polimeru.

Znaczne różnice w wynikach między produktami różnych producentów.

Rekomendacje

Zaleca się gotowanie ryżu sypanego bezpośrednio w wodzie lub w woreczkach papierowych.

! Najnowsze wytyczne FDA (2024) sugerują unikanie gotowania żywności w kontakcie z foliami plastikowymi w temp. wrzenia.

FDA, 2024

Rys. 28 – Woreczki ryżu do gotowania, źródła wskazane na rycinie

Woreczki z PE/PP gotowane są w temperaturze 95–100°C przez 10–20 minut. Długi kontakt termiczny oraz mieszanie podczas wrzenia prowadzą do intensywnej degradacji.

Ilość uwalnianego mikroplastiku zależy od jakości materiału i jego grubości. Roczne spożycie może wynosić od 39 000 do 52 000 cząstek mikroplastiku.

Porównanie ilości uwalnianych cząstek mikroplastiku

SEKCJA: DANE LITERATUROWE I ANALIZA

Typ opakowania / Produkt	Temperatura / Warunki	Liczba cząstek	Źródło literaturowe
 Torebka herbaty (nylon/PET)	95°C (parzenie)	~11,6 mld MP / torebkę	Hernandez et al. 2019
 Butelka niemowlęca (PP)	70–100°C	do 16,2 mln MP / L	Rehman et al. 2026
 Woda butelkowana (PET)	Temp. pokojowa	śr. 5,42 MP / L	Rehman et al. 2026
 Pojemnik PP (lunchbox)	100°C (gorąca woda)	1,07 – 2,24 mln MP / L	Liu et al. 2022
 Mikrofalowanie (pojemnik PP)	~600W, 3 minuty	do 4,2 mln MP / sesję	Nebraska Univ. 2023
 Jednorazowe kubki plastikowe	Gorące napoje	Tysiące – miliony MP	Akbulut et al. 2024
 Dania gotowe (PS/PP)	Wysokie temperatury	12 – 203 MP / tydzień	Rehman et al. 2026

Rys. 29 – Porównanie ilości uwalnianych cząstek mikroplastiku, źródła wskazane na rycinie

Najwyższe wartości obserwujemy dla torebek herbaty – około 11,6 miliarda cząstek na torebkę.

Butelki niemowlęce mogą uwalniać do 16,2 miliona cząstek na litr, a lunchboxy przy 100°C – ponad 2 miliony cząstek na litr. Mikrofalowanie daje do 4,2 miliona cząstek na sesję. Natomiast woda butelkowana zawiera średnio 5,42 cząstek na litr. Pokazuje to ogromne różnice w zależności od warunków.

Drogi narażenia człowieka

SEKCJA: NARAŻENIE I BIOAKUMULACJA

Ekspozycja Drogi Pokarmowej

Główna i dominująca ścieżka narażenia populacji na MP.

39 000 – 52 000 cząstek/rok

Średnie roczne spożycie u dorosłych [Rehman et al. 2026]

Konsumenci wody butelkowanej: do 90 000 MP/rok.

Niemowlęta (butelki plastikowe): do 4,55 mln cząstek/dobę.

Bioakumulacja Systemowa

Krew i Płuca: Wykryto 170 cząstek/100 mL w tkance płucnej [Rehman et al. 2026].

Łóżysko i Mleko: Obecność w 67% próbek łożyska; mleko matki (3,8–37,1 cząstek/g).

Krew **Płuca** **Łóżysko** **Mleko matki** **Serce**

Droga Wziewna i Skórna

Droga wziewna: Cząstki zawieszone w powietrzu (kurz domowy, ulice); szczególne znaczenie frakcji < 10 µm.

Droga skórna: Znaczenie ograniczone dla mikroplastiku; istotne ryzyko dla nanoplastyków (NP).

Dowody Kliniczne

Wykryto MP w tętnicach szyjnych i sercu człowieka.

Korelacja z ryzykiem zdarzeń sercowo-naczyniowych (udar, zawał).

"Obecność MP w tkankach naczyniowych wiąże się z gorszymi rokowaniami u pacjentów" [Camilleri et al. 2023, NEJM]

Rys. 30 – Drogi narażenia człowieka, źródła wskazane na rycinie

Główna droga narażenia to dieta – od 39 000 do 52 000 cząstek rocznie, a u osób pijących wodę butelkowaną do 90 000.

Mikroplastik wykryto w płucach – około 170 cząstek na 100 mL tkanki, w łożysku – w 67% próbek oraz w mleku matki. Dodatkowo narażenie może zachodzić drogą wziewną i skórą.

Skutki zdrowotne na poziomie komórkowym

SEKCJA: TOKSYKOLOGIA I ZDROWIE

Mechanizmy Toksyczności

Stres oksydacyjny: Nadprodukcja reaktywnych form tlenu (ROS) prowadząca do uszkodzeń struktur komórkowych. (Rehman et al. 2026)

Dysfunkcja organelli: Zaburzenia pracy mitochondriów i lizosomów wpływające na metabolizm energetyczny.

Apoptoza: Indukowanie programowanej śmierci komórek nabłonkowych jelita.

Bariery i Mikrobiom

Penetracja tkanek: Cząstki $\leq 130 \mu\text{m}$ przenikają przez nabłonek jelitowy. (Rehman et al. 2026)

Nanoplastyki (<math><1 \mu\text{m}</math>): Zdolność do pokonywania bariery krew-mózg oraz bariery łożyskowej.

Dysbioza jelitowa: Spadek liczby pożytecznych bakterii na rzecz patogenów oportunistycznych. (Rehman et al. 2026)

Efekt Nośnika

"Koi trojański": MP przenoszą do organizmu BPA, ftalany i metale ciężkie. (Ziani et al. 2023)

Zaburzenia endokrynne: Działanie estrogenne i dysregulacja osi hormonalnej. (Rehman et al. 2026)

Neurobehawiorystyka: Badania *in vivo* wykazują deficyty metaboliczne i rozrodcze.

Ważna uwaga: Obecnie brak bezpośrednich dowodów przyczynowych u ludzi przy środowiskowych poziomach ekspozycji. Większość danych pochodzi z badań *in vitro* oraz modeli zwierzęcych. (Ziani et al. 2023)

Rys. 31 – Skutki zdrowotne na poziomie komórkowym, źródła wskazane na rycinie

Mikroplastik indukuje stres oksydacyjny i powstawanie reaktywnych form tlenu. Powoduje zaburzenia funkcji mitochondriów oraz apoptozę komórek.

Cząstki o rozmiarze $\leq 130 \mu\text{m}$ mogą przenikać przez jelita, natomiast nanoplastyki pokonują barierę krew-mózg. Dodatkowo działają jako nośnik substancji toksycznych, takich jak BPA i metale ciężkie.

Grupy szczególnie narażone

SEKCJA: BIOLOGIA I NARAŻENIE POPULACJI

Niemowlęta i małe dzieci

Wyższy stosunek dawki MP do masy ciała w porównaniu do osób dorosłych.

Niedojrzałe układy detoksykacyjne i bariery biologiczne zwiększają ryzyko systemowe.

Obecność MP w mleku matki: **3,8–37,1** cząstek/g (Rehman et al. 2026).

 MP w kale niemowląt: **14,3–131,1** cząstek/g. Jest to **15x więcej** niż u dorosłych (Rehman et al. 2026).

Kobiety ciężarne i płody

Wykrywalność MP w tkance łożyskowej: **67%** badanych próbek (Rehman et al. 2026).

Badania na zwierzętach wskazują na efekty transgeneracyjne po prenatalnej ekspozycji.

Możliwość przenikania nanoplastyków przez barierę krew-łożysko.

Grupy wysokiego ryzyka

Osoby starsze: osłabienie mechanizmów detoksykacyjnych i większa podatność na stres oksydacyjny.

Styl życia: wysoka konsumpcja wody butelkowanej i dań instant (Liu et al. 2022).

Rys. 32 – Grupy narażone szczególnie, źródła wskazane na rycinie

Grupy szczególnie narażone na działanie mikroplastiku.

Pierwszą taką grupą są **niemowlęta i małe dzieci**. W ich przypadku obserwuje się znacznie wyższy stosunek dawki mikroplastiku do masy ciała niż u dorosłych. Wynika to m.in. z niedojrzałości układów detoksykacyjnych oraz barier biologicznych, co zwiększa ryzyko efektów systemowych. Wykazano również obecność mikroplastiku w mleku matki w zakresie od **3,8 do 37,1 cząstek na gram**. Dodatkowo w kale niemowląt stwierdzono od **14,3 do 131,1 cząstek na gram**, co jest nawet **15 razy więcej niż u dorosłych**.

Drugą grupą są **kobiety ciężarne i płody**. Mikroplastik wykryto w **67% próbek łożyska**, co wskazuje na jego zdolność przenikania przez barierę łożyskową. Badania na zwierzętach sugerują również możliwość występowania efektów transgeneracyjnych w wyniku ekspozycji prenatalnej. Szczególnie istotna jest zdolność nanoplastyków do przekraczania bariery krew-łożysko.

Kolejną kategorią są **grupy wysokiego ryzyka**, do których zaliczamy osoby starsze oraz osoby o określonym stylu życia. U osób starszych obserwuje się osłabienie mechanizmów detoksykacyjnych oraz większą podatność na stres oksydacyjny. Natomiast styl życia, w tym wysoka konsumpcja wody butelkowanej i żywności typu instant, znacząco zwiększa ekspozycję na mikroplastik.

Na koniec warto podkreślić, że zarówno WHO, jak i EFSA prowadzą obecnie intensywny monitoring tego zjawiska. Jednocześnie brak jest jeszcze ustalonych limitów regulacyjnych dla mikroplastiku w żywności, co pokazuje, że temat pozostaje w fazie aktywnych badań i analiz.

Metody analityczne – detekcja mikroplastiku

SEKCJA: METODY BADAWCZE

Metoda	Zakres	Co mierzy	Zalety / Wady
μ-FTIR (Rehman et al. 2026)	>20 μm	Skład polimeru, liczba cząstek	Identyfikacja chemiczna; ograniczenie rozmiaru dyfrakcją
μ-Raman (Rehman et al. 2026)	>1 μm	Skład polimeru, kształt	Wysoka czułość (małe cząstki); proces czasochłonny
Py-GC/MS (Rehman et al. 2026)	Wszystkie	Masa polimeru	Bardzo czuła analiza ilościowa; niszczy badaną próbkę
DLS (Hussain et al. 2023)	1 nm – 10 μm	Rozmiar i rozkład cząstek	Szybka, nieinwazyjna, idealna dla NP i małych MP
SEM (Rehman et al. 2026)	< 1 μm	Morfologia powierzchni	Ekstremalnie wysoka rozdzielczość; wysoki koszt analizy

Zasada pomiaru DLS

Cząstki w roztworze rozpraszają światło lasera. **Ruch Browna** powoduje fluktuacje intensywności światła, co pozwala obliczyć hydrodynamiczny promień cząstki w oparciu o **prawo Stokesa-Einsteina**.

Kluczowe parametry

Z-average: Średnica hydrodynamiczna (średnia natężeniowa)
PDI: Wskaźnik polidispersyjności (jednorodność próbki)
Rozkład: Wykres intensywności w funkcji rozmiaru (nm)

Rys. 33 – Metody analityczne – detekcja mikroplastiku, źródła wskazane na rycinie

Na tym slajdzie porównano najważniejsze metody analizy mikroplastiku.

Metoda μ-FTIR pozwala analizować cząstki większe niż 20 μm i umożliwia identyfikację składu polimeru oraz liczby cząstek, jednak jej ograniczeniem jest rozdzielczość wynikająca z dyfrakcji.

Metoda μ-Raman ma wyższą czułość i pozwala analizować cząstki już od około 1 μm, dzięki czemu możliwe jest określenie zarówno składu, jak i kształtu cząstek, ale jest ona czasochłonna.

Z kolei Py-GC/MS pozwala analizować wszystkie frakcje, niezależnie od rozmiaru, i umożliwia dokładną analizę ilościową masy polimeru, jednak wymaga zniszczenia próbki.

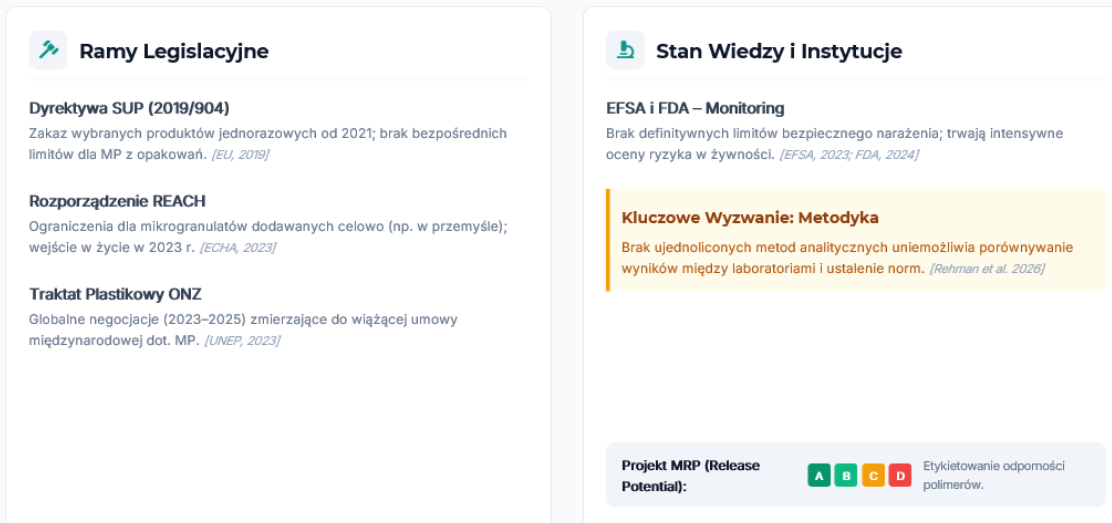
Metoda DLS obejmuje zakres od 1 nm do 10 μm i pozwala określić rozmiar oraz rozkład cząstek. Jest metodą szybką i nieinwazyjną, szczególnie przydatną do analizy nanoplastyków i bardzo małych mikroplastyków.

SEM umożliwia analizę morfologii powierzchni przy bardzo wysokiej rozdzielczości, nawet dla cząstek poniżej 1 μm, jednak jest kosztowny i czasochłonny.

Zasada działania DLS opiera się na rozpraszaniu światła laserowego przez cząstki w roztworze. Ich ruch Browna powoduje zmiany intensywności światła, co pozwala – na podstawie prawa Stokesa-Einsteina – wyznaczyć promień hydrodynamiczny cząstek.

Regulacje prawne i stan wiedzy

SEKCJA: RAMY PRAWNE I PERSPEKTYWY



Rys. 34 – Regulacje prawne i stan wiedzy , źródła wskazane na rycinie

W kontekście regulacji prawnych warto podkreślić, że obecnie brak jest bezpośrednich limitów dla mikroplastiku w żywności.

Dyrektywa SUP z 2019 roku wprowadziła ograniczenia dotyczące wybranych produktów jednorazowych, jednak nie obejmuje bezpośrednio mikroplastiku uwalnianego z opakowań.

Rozporządzenie REACH z 2023 roku dotyczy mikrogranulatów dodawanych celowo, np. w kosmetykach, ale nie odnosi się do wtórnego mikroplastiku.

Na poziomie globalnym prowadzone są negocjacje w ramach traktatu ONZ dotyczącego plastiku w latach 2023–2025.

Instytucje takie jak EFSA i FDA prowadzą monitoring i ocenę ryzyka, jednak nadal nie ustalono bezpiecznych limitów ekspozycji.

Kluczowym problemem jest brak ujednoczonych metod analitycznych, co utrudnia porównywanie wyników między laboratoriami.

Proponowany jest również koncept MRP – Microplastic Release Potential – który zakłada klasyfikację materiałów pod względem potencjału uwalniania cząstek.






Strategie minimalizacji narażenia

SEKCJA: REKOMENDACJE I ROZWIĄZANIA

Dla konsumentów

-  **Unikaj podgrzewania żywności w plastiku – stosuj szkło lub ceramikę.**
(Rehman et al. 2026)
-  **Wybieraj herbatę sypaną lub papierowe torebki wolne od plastiku.**
(Hernandez et al. 2019)
-  **Chroń butelki PET przed słońcem i długim przechowywaniem.**
(Wawer et al. 2025)
-  **Gotuj ryż luzem, rezygnując z plastikowych woreczków do gotowania.**
(FDA, 2024)

Dla przemysłu

-  **Projektowanie „Safe by design” – zwiększanie krystaliczności polimerów.**
(Rehman et al. 2026)
-  **Stosowanie powłok inertnych na powierzchniach kontaktowych.**
(Liu et al. 2022)
-  **Certyfikacja MRP (Microplastic Release Potential) dla produktów.**
(Rehman et al. 2026)
-  **Wdrażanie alternatyw: stal nierdzewna i papier bez laminatów.**
(Wawer et al. 2025)
-  **Kluczem jest redukcja u źródła poprzez innowacje materiałowe i edukację konsumencką.**

Rys. 35 – Strategie minimalizacji narażenia, źródła wskazane na rycinie

Strategie ograniczenia ekspozycji można podzielić na działania konsumenckie i przemysłowe.

Z punktu widzenia konsumenta kluczowe jest unikanie podgrzewania żywności w plastiku oraz stosowanie materiałów obojętnych, takich jak szkło czy ceramika.

Rekomenduje się również wybór herbaty sypanej lub w papierowych torebkach, a także unikanie długiego przechowywania i naświetlania butelek PET.

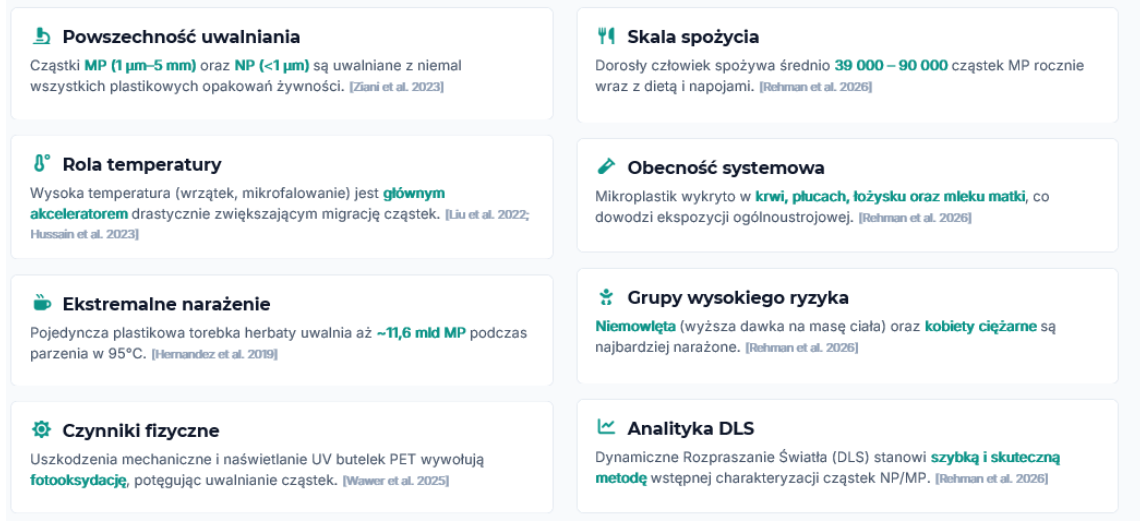
W przypadku ryżu zaleca się gotowanie luzem zamiast w plastikowych woreczkach.

Z punktu widzenia przemysłu ważne jest projektowanie materiałów „safe by design”, czyli bardziej odpornych na degradację, stosowanie powłok inertnych oraz rozwój systemów certyfikacji MRP.

Dodatkowo wdrażane są alternatywy materiałowe, takie jak stal nierdzewna czy papier bez laminatów. Kluczowe znaczenie ma redukcja u źródła poprzez innowacje i edukację.

Podsumowanie kluczowych wniosków

SEKCJA: SYNTeza USTALEŃ I WNIOski KOŃCOWE



Rys. 36 – Podsumowanie kluczowych wniosków, źródła wskazane na rycinie

Podsumowując, mikroplastiki o rozmiarze od 1 µm do 5 mm oraz nanoplastyki poniżej 1 µm są uwalniane z większości opakowań.

Wysoka temperatura, czyli wrzątek lub mikrofalowanie, jest głównym czynnikiem przyspieszającym migrację cząstek.

Ekstremalne wartości obserwowane są w przypadku torebek herbaty, gdzie jedna torebka może uwolnić około 11,6 miliarda cząstek.

Czynniki fizyczne, takie jak uszkodzenia i promieniowanie UV, również znacząco zwiększają emisję mikroplastiku.

Człowiek spożywa średnio od 39 000 do nawet 90 000 cząstek rocznie. Mikroplastik wykryto w krwi, płucach, łożysku i mleku matki.

Najbardziej narażone są niemowlęta i kobiety w ciąży.

Z punktu widzenia analityki, metoda DLS stanowi szybkie narzędzie do charakterystyki cząstek.

IV. Zrównoważona konsumpcja i produkcja żywności

Co jest na naszym talerzu? Żywność, klimat i ślad węglowy codziennych wyborów

Większość z nas zastanawia się nad tym, czy jedzenie jest smaczne, zdrowe i sycące. Znacznie rzadziej myślimy o tym, jaki wpływ na środowisko ma jego produkcja. Tymczasem każda kanapka, kubek jogurtu, porcja makaronu czy kawa wypita rano pozostawiają po sobie ślad środowiskowy. Współczesna nauka coraz częściej zwraca uwagę, że system produkcji żywności jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na zmiany klimatu, zużycie zasobów naturalnych oraz stan ekosystemów.

Według szacunków Organizacji Narodów Zjednoczonych produkcja żywności odpowiada za około jedną trzecią globalnej emisji gazów cieplarnianych. Oznacza to, że sposób, w jaki produkujemy, transportujemy, przetwarzamy i konsumujemy żywność, ma ogromne znaczenie dla przyszłości naszej planety. Co ciekawe, wpływ ten nie zależy wyłącznie od producentów czy przemysłu spożywczego. W dużej mierze kształtowany jest przez codzienne decyzje podejmowane przez miliony konsumentów.

Czym jest ślad węglowy żywności?

Jednym z narzędzi pozwalających ocenić wpływ produktów na środowisko jest ślad węglowy. Termin ten oznacza całkowitą ilość gazów cieplarnianych emitowanych podczas całego cyklu życia produktu – od pozyskania surowców, przez produkcję i transport, aż po jego wykorzystanie i utylizację. W przypadku żywności ślad węglowy obejmuje między innymi emisje związane z uprawą roślin, hodowlą zwierząt, produkcją nawozów, transportem, przechowywaniem, przetwarzaniem oraz gospodarowaniem odpadami. Dzięki temu możliwe jest porównywanie różnych produktów i ocenianie ich wpływu na klimat. W praktyce okazuje się, że dwa produkty o podobnej wartości odżywczej mogą znacząco różnić się pod względem emisji gazów cieplarnianych. Przykładowo produkcja kilograma wołowiny generuje wielokrotnie więcej emisji niż produkcja kilograma roślin strączkowych, takich jak fasola, groch czy soczewica. Wynika to przede wszystkim z dużego zużycia pasz, wody, powierzchni gruntów oraz emisji metanu powstającego podczas trawienia u przeżuwaczy.

Dlaczego dieta ma znaczenie dla planety?

Sektor żywnościowy odpowiada za około 30% globalnej emisji gazów cieplarnianych. Oznacza to, że to, co łąduje na naszym talerzu, ma realny wpływ na zmiany klimatyczne.

Dobra wiadomość: zmiana nawyków żywieniowych to jedna z najprostszych i najskuteczniejszych metod redukcji własnego śladu węglowego.



Czym jest ślad węglowy żywności?

To suma emisji gazów cieplarnianych na każdym etapie: od uprawy lub hodowli, przez przetwarzanie i opakowanie, po transport.

Wyraża się go w kilogramach ekwiwalentu CO₂ (kg CO₂e) na kilogram produktu lub na porcję posiłku.

- **Produkcja mięsa wołowego emituje ok. 27 kg CO₂e/kg**
- **Produkcja soczewicy emituje ok. 0,9 kg CO₂e/kg**
- **Lokalne i sezonowe produkty mają niższy ślad transportowy**

Rys. 37 – Ślad węglowy żywności, opracowanie własne I. Gałzka-Czarnecka

Dlaczego produkcja żywności wpływa na klimat?

Rolnictwo jest jednym z najstarszych i najważniejszych sektorów gospodarki. Jednocześnie należy do obszarów silnie oddziałujących na środowisko. Uprawa roślin wymaga wykorzystania gleby, wody, energii i nawozów. Hodowla zwierząt wiąże się natomiast z produkcją pasz, zajmowaniem rozległych terenów oraz emisją gazów cieplarnianych.

Szczególą rolę odgrywa metan – gaz cieplarniany, którego potencjał ogrzewania atmosfery jest wielokrotnie większy niż dwutlenku węgla. Znaczne ilości metanu powstają podczas hodowli bydła. Z tego powodu produkty pochodzące od przeżuwaczy, zwłaszcza wołowina i nabiał, należą do produktów o najwyższym śladzie węglowym.

Nie oznacza to jednak, że cały problem sprowadza się wyłącznie do mięsa. Istotne znaczenie mają również transport, sposób przechowywania produktów, wykorzystanie energii podczas przetwarzania oraz skala marnowania żywności. Współczesny system żywnościowy jest niezwykle złożony, a jego wpływ na środowisko zależy od wielu wzajemnie powiązanych czynników.

Czy wszystkie diety są równie przyjazne środowisku?

W ostatnich latach coraz częściej analizuje się wpływ różnych modeli żywienia na klimat i środowisko. Wyniki badań pokazują, że sposób komponowania codziennego jadłospisu może mieć znaczenie porównywalne z niektórymi decyzjami dotyczącymi transportu czy

zużycia energii. Każdego dnia podejmujemy dziesiątki decyzji żywieniowych — a każda z nich ma swój ukryty koszt środowiskowy.

Dieta śródziemnomorska – zdrowie i równowaga

Za jeden z najbardziej zrównoważonych modeli żywienia uznawana jest dieta śródziemnomorska. Opiera się ona przede wszystkim na warzywach, owocach, produktach pełnoziarnistych, roślinach strączkowych, orzechach oraz oliwie z oliwek. Ryby i owoce morza spożywane są regularnie, natomiast czerwone mięso pojawia się sporadycznie.

Model ten od lat uznawany jest za korzystny zarówno dla zdrowia człowieka, jak i dla środowiska. Ograniczenie spożycia mięsa przy jednoczesnym zwiększeniu udziału produktów roślinnych pozwala zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych oraz zużycie zasobów naturalnych.

Dieta Śródziemnomorska

ŚREDNI-NISKI ŚLAD WĘGLOWY

Dieta śródziemnomorska to jeden z najlepiej przebadanych i najzdrowszych modeli żywienia na świecie. Wywodzi się z tradycji kulinarnych krajów basenu Morza Śródziemnego: Grecji, Włoch, Hiszpanii i Maroka.

Podstawowe zasady

- Podstawa: warzywa, owoce, rośliny strączkowe, pełnoziarniste zboża
- Tłuszcze: oliwa z oliwek extra virgin jako główne źródło
- Białko: ryby (2–3 razy w tygodniu), jaja, ser feta, jogurt grecki
- Przykładowe posiłki: sałatka grecka, ryba pieczona z warzywami, hummus, pełnoziarnisty makaron z sosem pomidorowym i bazylią
- Do picia: woda, herbaty ziołowe, umiarkowanie czerwone wino

Ślad węglowy — ŚREDNI do NISKIEGO 🌿

Ryby mają niższy ślad niż mięso czerwone, choć połowy przemysłowe mogą generować ślad węglowy.

Lokalność i sezonowość produktów w basenie Morza Śródziemnego dodatkowo obniżają ślad transportowy.

Szacowany ślad to ok. 1,5–2 kg CO₂ dziennie.

■ Talerz z WYSOKIM śladem

Duża porcja jagnięciny (200 g) — jagnięcina ma jeden z wyższych śladów wśród mięs, białe pieczywo, ser feta w dużej ilości, importowane oliwki poza sezonem.

■ Talerz z NISKIM śladem

Kasza gryczana z sezonowymi warzywami (cukinia, pomidory, papryka), grillowana makrela (ryba lokalna), polana łyżką oliwy z oliwek, świeże zioła.

Rys. 38 – Dieta śródziemnomorska, opracowanie własne I. Gałzka-Czarnecka

Wegetarianizm i weganizm – mniejszy ślad środowiskowy

Wiele badań wskazuje, że diety oparte głównie na produktach roślinnych charakteryzują się niższym śladem węglowym niż diety zawierające duże ilości mięsa. Wynika to z faktu, że produkcja roślin wymaga zwykle mniejszej ilości energii, wody i powierzchni niż produkcja żywności pochodzenia zwierzęcego.

Wegetarianizm wyklucza mięso i ryby, pozostawiając w diecie produkty takie jak jaja czy nabiał. Weganizm idzie o krok dalej i eliminuje wszystkie produkty pochodzenia zwierzęcego.

Warto jednak pamiętać, że wpływ diety na środowisko zależy nie tylko od rodzaju produktów, ale również od ich pochodzenia. Egzotyczne produkty transportowane samolotami przez tysiące kilometrów mogą generować znaczne emisje, nawet jeśli są pochodzenia roślinnego. Dlatego coraz częściej podkreśla się znaczenie lokalności i sezonowości żywności.

Dieta Wege (Wegańska)

NAJNIŻSZY ŚLAD WĘGLOWY

Weganizm całkowicie wyklucza produkty pochodzenia zwierzęcego, nie tylko mięso i ryby, ale też nabiał, jaja, miód, żelatynę i inne składniki odzwierzęce.

Podstawowe zasady

- **Białko:** soczewica, ciecierzycza, fasola, tofu, tempeh
- **Nabiał:** napoje roślinne (owsiane, sojowe, migdałowe), jogurt kokosowy, twaróg z nerkowców
- **„Jaja”:** siemię lniane, aquafaba (woda z ciecierzycy), tofu jedwabiste
- **Tłuszcze:** oleje roślinne, awokado, orzechy, nasiona

Ślad węglowy — NAJNIŻSZY 🌱

Produkcja roślinna generuje mniej gazów cieplarnianych niż hodowla zwierząt.

Przykładowo: soczewica emituje ok. 0,9 kg CO₂/kg, podczas gdy wołowina nawet 27 kg CO₂/kg.

Badania Oxford University wskazują, że przejście na dietę wegańską może zmniejszyć ślad węglowy żywności nawet o 73%.

Dodatkowy bonus: diety roślinne wymagają znacznie mniej wody i ziemi uprawnej.

■ Talerz z WYSOKIM śladem (vegan)

Importowane egzotyczne owoce poza sezonem (mango, papaja z lotniczego transportu), awokado z Meksyku, migdały z Kalifornii, borówki zamrożone transportowane z USA — ślad transportowy rośnie dramatycznie.

■ Talerz z NISKIM śladem

Curry z lokalnej ciecierzycy z sezonowymi warzywami (marchew, pietruszka, kapusta), brązowy ryż, świeże zioła z ogródka lub polskie — minimalna emisja, maksymalna lokalność.

Rys. 39 – Dieta wege, opracowanie własne I. Gałązka-Czarnecka

Wegetarianizm to szerokie pojęcie obejmujące kilka wariantów diety wykluczającej mięso i ryby. Najczęstszy to **lakto-owo-wegetarianizm** — dopuszcza jaja i nabiał, wyklucza wszelkie mięso. Istnieją też warianty: lakto-wegetarianizm (bez jaj, z nabiałem) i owo-wegetarianizm (z jajami, bez nabiału).

Dieta Wegetariańska

ŚREDNI-NISKI ŚLAD WĘGLOWY

Wegetarianizm jest jednym z najdłużej praktykowanych modeli żywienia na świecie, głęboko zakorzenionym w wielu kulturach i religiach (hinduizm, buddyzm, adwentyści).

Podstawowe zasady

- Dopuszczone: jaja, mleko, ser, jogurt, śmietana, masło
- Wykluczone: wołowina, wieprzowina, drób, ryby i in.
- Podstawa białka: jaja, nabiał, rośliny strączkowe, tofu, orzechy
- Przykłady: jajecznica z warzywami, placki z twarogu, pizza z serem, lasagna z warzywami, jogurt z owocami i granolą

Ślad węglowy — ŚREDNI do NISKIEGO 🌱

Produkcja nabiału i jaj nie jest bezemisyjna, krowy mleczne emitują metan, a intensywne produkcje jaj wymagają dużych nakładów energii.

Szacowany ślad to ok. 1,7 kg CO₂ dziennie, mniej niż dieta tradycyjna (ok. 2,5 kg), ale więcej niż wegańska (ok. 0,7 kg).

Kluczowe znaczenie ma jakość i źródło produktów, jaja z wolnego wybiegu lokalnych gospodarstw mają niższy ślad niż produkcja przemysłowa.

■ Talerz z WYSOKIM śladem

Duża porcja sera żółtego (intensywna produkcja mleczna), gęsta śmietana, białe pieczywo przemysłowe, masło w dużej ilości — nabiał intensywny środowiskowo.

■ Talerz z NISKIM śladem

Omlet z sezonowymi warzywami (cukinia, szpinak, pomidory), pieczywo pełnoziarniste z lokalnej piekarni, pół awokado, łyżka oliwy — niska emisja, bogata wartość odżywcza.

Rys. 40 – Dieta wegetariańska, opracowanie własne I. Gałązka-Czarnecka

Dieta ketogeniczna i dieta zachodnia

W przypadku diet opartych na dużym udziale produktów zwierzęcych ślad środowiskowy jest zazwyczaj wyższy. Dotyczy to między innymi diety ketogenicznej, która zakłada znaczne ograniczenie węglowodanów przy jednoczesnym zwiększeniu spożycia tłuszczów i produktów pochodzenia zwierzęcego.

Jeszcze większe wyzwanie stanowi charakterystyczna dla wielu krajów dieta zachodnia, bogata w żywność wysokoprzetworzoną, czerwone mięso, słodzone napoje i produkty typu fast food. Oprócz negatywnego wpływu na zdrowie człowieka wiąże się ona również z wysokim zużyciem energii, surowców i opakowań.

Dieta Ketogeniczna (Keto)

Dieta ketogeniczna to sposób żywienia oparty na drastycznym ograniczeniu węglowodanów (zwykle poniżej 50 g dziennie) i zastąpieniu ich tłuszczami i białkiem.

Podstawowe zasady

- Tłuszcze (70–80% kalorii): mięso, boczek, smalec, masło, oleje, awokado, orzechy
- Białko (15–20% kalorii): jaja, ryby, drób, wołowina, ser żółty
- Węglowodany (5% kalorii): **warzywa niskowęglowodanowe**, np. szpinak, brokuły, kalafior
- Wykluczone: pieczywo, makaron, ryż, ziemniaki, cukier, większość owoców

Ślad węglowy — WYSOKI ⚠️

Dieta keto należy do diet **obciążających środowisko**.

Badania szacują jej ślad na ok. 3 kg CO₂ na 1000 kcal — nawet 3–4 razy więcej niż diety roślinne.

Hodowla bydła i owiec generuje duże ilości metanu, a produkcja nabiału wymaga intensywnego zużycia wody i energii.

■ Talerz z WYSOKIM śladem

Duży stek wołowy (200 g), smażony boczek, ser żółty gouda (50 g), awokado, masło do smażenia — wysoka emisja CO₂ z hodowli bydła i produkcji nabiału.

■ Talerz z NISKIM śladem

Tofu w sosie orzechowym (soja lokalna), brokuły gotowane na parze, oliwa z oliwek, garść orzechów włoskich — znacznie niższa emisja przy zachowaniu charakteru diety.

Rys. 41 – Dieta ketogeniczna, opracowanie własne I. Gałzka-Czarnecka

Dieta Fast Food

Dieta oparta na fast foodach to model żywienia zdominowany przez wysoko przetworzone produkty przemysłowe.

Podstawowe zasady

- Dominuje: wołowina, wieprzowina, przetworzony drób, oleje utwardzone
- Przykłady: hamburgery, cheesburgery, frytki, nuggetsy, hot-dogi, pizza, słodkie napoje gazowane, milkshake'i
- Dodatkowe składniki: opakowania jednorazowe, sosy przemysłowe, pieczywo z konserwantami
- Łańcuch dostaw: globalny, wieloetapowy, energochłonny

Ślad węglowy — BARDZO WYSOKI

Na wysoki ślad składa się: intensywna hodowla bydła (metan), przemysłowe przetwarzanie i konserwowanie składników (energia), globalny transport składników z różnych kontynentów, energochłonne przechowywanie i mrożenie, a także ogromna ilość odpadów opakowaniowych.

Szacunkowo burger wołowy w zestawie może odpowiadać nawet 3–5 kg CO₂ tyle, ile przejechanie ok. 20 km samochodem.

■ Talerz z WYSOKIM śladem

Klasyczny zestaw: podwójny burger wołowy, duże frytki (ziemniaki mrożone, transport z Holandii), słodki napój gazowany w plastikowym kubku — szczytowy przykład wysokoemisyjnego posiłku.

■ Talerz z NISKIM śladem (w ramach fast food)

Salatka z grillowanym kurczakiem z lokalnego dostawcy, woda zamiast napoju gazowanego, kanapka z pełnoziarnistego pieczywa z warzywami — ślad nadal nie jest niski, ale znacznie zredukowany.

Fast food to wyjątkowo trudna kategoria do "ekologizacji" — sam model biznesowy (skala, transport, przetwarzanie) jest sprzeczny z niskim śladem węglowym.

Rys. 42 – Dieta fast-food, opracowanie własne I. Gałzka-Czarnecka

Tradycyjna kuchnia polska to sposób gotowania i zestaw potraw wywodzący się z historii Polski, oparty na lokalnych składnikach, sezonowości oraz wpływach kuchni sąsiednich (niemieckiej, litewskiej, żydowskiej, rosyjskiej czy austriackiej).

Cechy kuchni polskiej

- **Sytość i kaloryczność** – dania są często „treściwe” i rozgrzewające
- **Duża rola mięsa** (wieprzowina, drób, wołowina)
- **Warzywa sezonowe i kiszonki** (kapusta, ogórki kiszane, buraki)
- **Zupy jako ważny element obiadu**
- **Tradycyjne metody konserwacji:** kiszenie, wędzenie, marynowanie.

Kuchnia Polska (Tradycyjna)

ŚREDNI-WYSOKI ŚLAD WĘGLOWY

Polska kuchnia przez wieki kształtowała się pod wpływem klimatu (długie zimy wymuszały przetwarzanie i kiszenie), dostępności produktów (wieprzowina, kapusta, ziemniaki, kasze) oraz wpływów sąsiadów.

To kuchnia kontrastów potrafi być zarówno bardzo mięsna i ciężkostrawna, jak i oparta na warzywach, kiszonkach i zbożach, a także daniach postnych i lekkostrawnych.

Podstawowe zasady

- **Mięso:** wieprzowina (schabowy, bigos, żeberka), drób (rosół, pieczony kurczak)
- **Warzywa:** ziemniaki, kapusta (kiszona i świeża), buraki, marchew, Pietruszka
- **Kasze:** gryczana, jaglana, pęczak — tradycyjnie bardzo popularne w Polsce
- **Przetwory:** kiszonki (ogórki, kapusta) — naturalne, o niskim śladzie węglowym!
- **Klasyki:** pierogi, bigos, żurek, barszcz, kotlec schabowy, gołąbki, kopytka

Ślad węglowy — ŚREDNI do WYSOKIEGO 🏠

Ślad węglowy kuchni polskiej jest bardzo zróżnicowany zależy od tego, które dania wybieramy.

Tradycyjny obiad oparty na wieprzowinie lub wołowinie ma wysoki ślad (ok. 2,5–4 kg CO₂).

Jednak polska kuchnia ma też swoje "zielone" oblicze: **pierogi z kapustą i grzybami, kasza gryczana z warzywami, barszcz, kiszonki, żur** — to dania o bardzo niskim śladzie węglowym, bazujące na lokalnych, sezonowych produktach uprawianych w polskim klimacie.

■ Talerz z WYSOKIM śladem

Kotlet schabowy (wieprzowina hodowlana), białe ziemniaki z masłem, sos śmietanowy — dużo tłuszczów zwierzęcych, intensywna hodowla trzody chlewnej generuje metan i CO₂.

■ Talerz z NISKIM śladem

Pierogi z kapustą i grzybami leśnymi, kasza gryczana z sezonowymi warzywami korzeniowymi, zupa jarzynowa na bulionie warzywnym — lokalne, sezonowe, niemal zerowy transport.

Rys. 43 – Kuchnia polska, opracowanie własne I. Gałązka-Czarnecka

Lokalność i sezonowość – dlaczego mają znaczenie?

Coraz częściej mówi się o tym, że warto wybierać produkty lokalne i sezonowe. Żywność produkowana blisko miejsca zamieszkania zwykle wymaga krótszego transportu, a więc mniejszego zużycia paliw kopalnych. Dodatkowo wspiera lokalnych producentów i rozwój regionalnej gospodarki.

Znaczenie ma również sezonowość. Warzywa i owoce uprawiane zgodnie z naturalnym cyklem przyrody zazwyczaj wymagają mniejszych nakładów energii niż produkty hodowane przez cały rok w ogrzewanych szklarniach. Truskawki kupione latem mają zwykle znacznie mniejszy ślad środowiskowy niż te sprowadzane zimą z odległych krajów.

Marnowanie żywności – ukryty problem współczesnego świata

Jednym z największych paradoksów współczesności jest fakt, że ogromne ilości żywności trafiają do kosza, podczas gdy miliony ludzi na świecie cierpią z powodu niedożywienia. Szacuje się, że nawet jedna trzecia wyprodukowanej żywności nie zostaje spożyta.

Marnowanie jedzenia oznacza nie tylko utratę samego produktu. Wraz z nim marnowane są również wszystkie zasoby wykorzystane do jego wytworzenia – woda, energia, nawozy, paliwo oraz praca ludzi. W efekcie wyrzucanie żywności przyczynia się do niepotrzebnych emisji gazów cieplarnianych i zwiększa presję na środowisko.

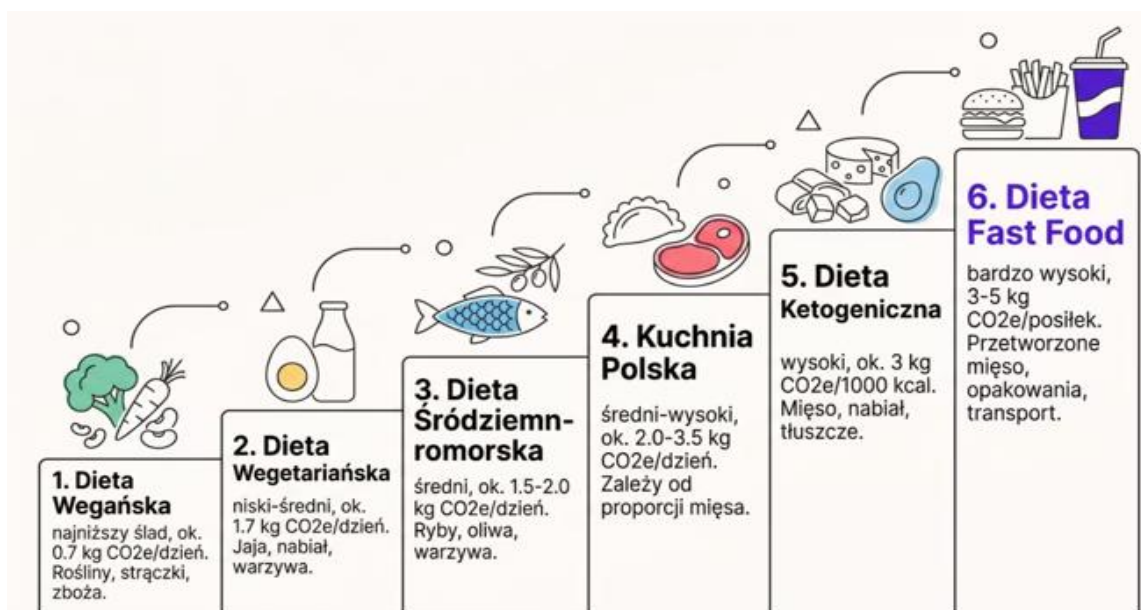
Ograniczenie marnowania żywności jest jednym z najprostszych działań, jakie może podjąć każdy człowiek. Planowanie zakupów, odpowiednie przechowywanie produktów oraz wykorzystywanie resztek pozwalają zmniejszyć zarówno ilość odpadów, jak i negatywny wpływ na klimat.

Przyszłość zaczyna się na talerzu

Zmiany klimatu często kojarzą się z wielkimi elektrowniami, przemysłem czy transportem. Tymczasem równie ważnym obszarem jest żywność. Każdego dnia podejmujemy decyzje, które wpływają nie tylko na nasze zdrowie, ale również na środowisko naturalne.

Nie oznacza to konieczności całkowitej rezygnacji z ulubionych produktów czy radykalnej zmiany stylu życia. Nawet niewielkie działania – częstsze wybieranie produktów roślinnych, kupowanie lokalnej żywności, ograniczanie marnowania jedzenia czy świadome planowanie posiłków – mogą przynieść wymierne korzyści środowiskowe.

Świadome odżywianie staje się dziś czymś więcej niż troską o własne zdrowie. To także element odpowiedzialności za klimat, zasoby naturalne i jakość życia przyszłych pokoleń. Każdy posiłek jest bowiem nie tylko wyborem kulinarnym, ale również decyzją mającą wpływ na świat, w którym żyjemy.



Rys. 44 – Rodzaje diet, opracowanie własne I. Gałązka-Czarnecka

Podsumowanie:

- diety roślinne charakteryzują się niższym wpływem środowiskowym,
- produkty zwierzęce generują wyższe emisje,
- lokalność i sezonowość mają istotne znaczenie. Jednocześnie uczniowie dostrzegli złożoność problemu – niektóre produkty, mimo niewielkiej ilości, mogą znacząco wpływać na całkowity ślad węglowy posiłku.

Zapamiętajmy, że zmiany proekologiczne mogą rozpoczynać się od codziennych decyzji podejmowanych indywidualnie przez każdego człowieka!

Kompetencje i postawy uczniów

Rezultatem projektu było nie tylko zwiększenie wiedzy, ale również rozwój kompetencji praktycznych. Młodzież uczyła się prowadzenia obserwacji, wykonywania pomiarów, interpretacji wyników oraz prezentowania wniosków. Wielu uczestników deklaroowało gotowość do oszczędzania energii i wody, ograniczania zakupów produktów jednorazowych, częstszego korzystania z transportu publicznego oraz bardziej świadomego planowania zakupów spożywczych. Rezultatem projektu było nie tylko zwiększenie wiedzy, ale również rozwój kompetencji praktycznych. Młodzież uczyła się prowadzenia obserwacji, wykonywania pomiarów, interpretacji wyników oraz prezentowania wniosków. Wielu uczestników deklaroowało gotowość do oszczędzania energii i wody, ograniczania zakupów produktów jednorazowych, częstszego korzystania z transportu publicznego oraz bardziej świadomego planowania zakupów spożywczych.

Podsumowanie i wnioski

Projekt współfinansowany przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Łodzi i Fundację Politechniki Łódzkiej potwierdził, że edukacja oparta na doświadczeniu skutecznie buduje świadomość ekologiczną młodzieży. Uczniowie mogli zobaczyć, że problemy środowiskowe nie są abstrakcyjnymi zagadnieniami, lecz wyzwaniem wpływającym na ich codzienne życie. Połączenie nauki, eksperymentów i dyskusji pozwoliło wykształcić postawy odpowiedzialności za środowisko oraz przekonanie, że każdy człowiek może uczestniczyć w procesie pozytywnych zmian. Regionalne EKO-inspiracje stały się przykładem nowoczesnej edukacji środowiskowej łączącej wiedzę, innowacje i działanie. Projekt potwierdził, że edukacja oparta na doświadczeniu skutecznie buduje świadomość ekologiczną młodzieży. Uczniowie mogli zobaczyć, że problemy środowiskowe nie są abstrakcyjnymi zagadnieniami, lecz wyzwaniem wpływającym na ich codzienne życie. Połączenie nauki, eksperymentów i dyskusji pozwoliło wykształcić postawy odpowiedzialności za środowisko oraz przekonanie, że każdy człowiek może uczestniczyć w procesie pozytywnych zmian. Regionalne EKO-inspiracje stały się przykładem nowoczesnej edukacji środowiskowej łączącej wiedzę, innowacje i działanie.

Bibliografia

1. Baran S., *Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Przewodnik do ćwiczeń*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin, 2000.
2. Brundtland G.H. (red.), *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, 1987.
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
4. European Commission, *EU Soil Strategy for 2030*, Brussels, 2021.
5. European Commission, *Circular Economy Action Plan*, Brussels, 2020.
6. European Environment Agency (EEA), *The European Environment – State and Outlook 2025 (SOER 2025)*, Copenhagen, 2025.
7. European Food Safety Authority (EFSA), *Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood*, EFSA Journal.
8. Gajec M., Król A., Kukulska-Zajac E., Mostowska-Stąsiek J., *Pobieranie próbek gleby w kontekście prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi*, Nafta-Gaz, 2018, nr 3.
9. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Raport o stanie środowiska w Polsce*, Warszawa.
10. Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska 2024*, Warszawa.
11. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2023. Synthesis Report*, Geneva, 2023.
12. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*, Bonn, 2019.
13. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2024*, Paris, 2024.
14. International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Energy Statistics 2024*, Abu Dhabi, 2024.
15. IUCN, *The IUCN Red List of Threatened Species*, wersja aktualna.
16. Jambeck J.R. i in., *Plastic waste inputs from land into the ocean*, Science, 2015, 347(6223), 768–771.
17. Łopata K., Rudnik E., Nowak E., *Tajemnice gleby. Chroń swoje środowisko*, Warszawa, 1997.
18. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Polityka ekologiczna państwa 2030*, Warszawa.
19. OECD, *Global Plastics Outlook*, Paris, 2022.

20. ONZ, *Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030*, Nowy Jork, 2015.
21. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), *Global Material Resources Outlook to 2060*, Paris.
22. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, *Bilans zasobów wód podziemnych w Polsce*.
23. Państwowy Monitoring Środowiska, *Monitoring jakości wód powierzchniowych*, GIOŚ.
24. PN-ISO 10381 – *Jakość gleby. Pobieranie próbek*.
25. PN-EN ISO 10523 – *Jakość wody – Oznaczanie pH*.
26. PN-EN 27888 – *Jakość wody – Oznaczanie przewodności elektrycznej*.
27. Samborski S.M., Stępień M., Şekerli Y.E., *A case study of the temporal stability of soil electrical conductivity for a sandy field and the usefulness of its measurement for the preparation of agronomic category maps*, Soil Science Annual, 2025.
28. UNEP, *From Pollution to Solution. A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*, Nairobi, 2021.
29. UNEP, *Global Resources Outlook 2024*, Nairobi, 2024.
30. UNESCO, *United Nations World Water Development Report 2024. Water for Prosperity and Peace*, Paris, 2024.
31. United Nations, *Convention on Biological Diversity*, Rio de Janeiro, 1992.
32. World Health Organization (WHO), *Microplastics in Drinking-water*, Geneva, 2019.
33. World Health Organization (WHO), *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th edition (updated).
34. World Resources Institute, *Creating a Sustainable Food Future*, Washington.
35. WWF, *Living Planet Report 2024*, Gland, Switzerland.
36. Zalasiewicz J., Waters C.N., Williams M., *The Anthropocene as a Geological Time Unit*, Cambridge University Press, 2019.
37. GUS, *Leśnictwo 2024*, Warszawa.
38. Instytut Ochrony Środowiska – PIB, *Raport o gospodarce o obiegu zamkniętym w Polsce*, Warszawa.
39. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, materiały edukacyjne dotyczące ochrony środowiska.
40. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, *Klasyfikacja uziarnienia gleb i podstawowe właściwości gleb*, wydania aktualne.
41. W opracowaniu wykorzystano również materiały dydaktyczne i prezentacje przygotowane przez pracowników Politechniki Łódzkiej na potrzeby realizacji projektu

„Regionalne EKO-inspiracje z Fundacją Politechniki Łódzkiej: Edukacja, Innowacje, Działanie”, w szczególności materiały autorstwa: dr hab. inż. Katarzyna Grzelak-Błaszczyk, mgr Aleksandra Sibińska, dr inż. Piotr Korbel, dr hab. inż. Agnieszka Brzezińska, dr Ewelina Kapuścińska, dr inż. Beata Mokrzycka-Wieteska, dr inż. Ewa Badowska, dr Dorota Gryglik, dr inż. Ilona Gałązka – Czarnecka, dr inż. Gabriela Kowalska, mgr inż. Aleksandra Popowska, mgr inż. Joanna Ziętała, dr hab. inż. Katarzyna Znajdek, prof. uczelni, mgr inż. Dariusz Hantsz