

## ZMIANY W ŚRODOWISKU GLEBOWYM I ICH SKUTKI

**Streszczenie:** Gleby ulegają ciągłym zmianom związanym z przebiegiem procesów glebotwórczych oraz oddziaływaniem przedsięwzięć gospodarczych człowieka. Głównym problemem jest przypuszczalnie zabezpieczanie przeciwerozyjne gleb, choć na tle Europy Polska należy do krajów mniej zagrożonych tym zjawiskiem. Stosunkowo duże jest zagrożenie ruchami masowymi. Obserwuje się ubytek węgla organicznego w glebach spowodowany po części wzrostem głębokości uprawy, odwodnieniem, jak też prawdopodobnie podniesieniem się temperatury powietrza. Poza rejonami intensywnego oddziaływania przemysłu gleby można uznać za czyste, choć może budzić niepokój znaczny wzrost zużycia środków ochrony roślin. Obserwuje się silny trend w urbanizacji Polski: w ciągu dziesięciu lat powierzchnia terenów zurbanizowanych wzrosła z poziomu 4,66% do ponad 5,15%, co oznacza ubytek gleb uprawnych kosztem terenów potencjalnie separowanych około 40 ha na dobę. Zagęszczanie jest następstwem unowocześniania i wzrostu masy urządzeń uprawowych; rolnictwo, jako działanie najbardziej dotknięte tym problemem dysponuje środkami technicznymi na przeciwdziałanie jego skutkom. Znaczna część problemów związanych z tymi zagrożeniami może zostać złagodzona dzięki kompetentnie sporządzonym planom zagospodarowania przestrzennego i wdrożeniu metod ochrony przeciwerozyjnej. Pewne możliwości przeciwdziałania ubytkowi glebowego węgla organicznego są dostępne dla gospodarstwa rolnego i leśnego. Doprowadzenie do odpowiedniego stanu obszarów zanieczyszczonych wymaga podjęcia remediacji gleb.

**Słowa kluczowe:** gleby, zagrożenia, erozja, glebowy węgiel organiczny, zanieczyszczenie, zasklepanie

**Abstract:** Soils are constantly evolving due to the soil-forming processes and the impact of human economic activities. The main problem is likely to protect soil erosion, but comparing to Europe, Poland is a country less threatened by this phenomenon. Relatively large is the threat of mass movements. The loss of soil organic carbon is due in part to an increase in the depth of planting, dehydration, and also probably because of increase the air temperature. Beyond impact of intensive industry, soil can be considered clean, although a significant increase

---

<sup>1</sup> AGH-Akademia Górniczo-Hutnicza im. Staszica w Krakowie.

in the use of plant protection products may be worrying. There is a strong trend in urbanization: in ten years, an urban area in Poland increased from 4.66% to 5.15%, which means the loss of agricultural soils about 40 hectares a day. Densification is a consequence of the modernization and growth of the equipment for cultivation; agriculture, as the activity most affected by this problem has the technical means to counteract its effects. A large part of the problems associated with these risks can be mitigated through competently prepared spatial development plans and implementation methods for erosion protection. Some ways of preventing the depletion of soil organic carbon are available for agriculture or forestry. Bringing contaminated sites to an appropriate state requires a soil remediation.

**Keywords:** soils, hazards, erosion, soil organic carbon, pollution, sealing

## **Wprowadzenie**

Gleby są nieodnawialnym zasobem przyrody obejmującym wierzchnią warstwę skorupy ziemskiej usytuowaną między skałą macierzystą a powierzchnią, składającą się z cząstek mineralnych, materii organicznej, wody, powietrza i organizmów żywych. Ta sucha definicja, formalnie poprawna, nie nawiązuje do kilku ról wypełnianych przez gleby w środowisku. Zgodnie z dokumentami Unii Europejskiej jak też jej organów kompetentnych w zakresie ochrony gleb można wyodrębnić następujące funkcje właściwe dla środowiska glebowego:

1. Produkcja biomasy
2. Stabilizacja chemizmu i filtrowanie zanieczyszczeń (sorpcja)
3. Przekształcanie składników chemicznych i magazynowanie wody
4. Zapewnienie warunków do różnorodności biologicznej (różne gleby i siedliska)
5. Akumulacja węgla organicznego (SOC)
6. Ochrona dziedzictwa geologicznego i archeologicznego
7. Środowisko fizyczne i kulturowe dla działalności ludzi.

Wobec gospodarczej działalności człowieka poszczególne funkcje zyskują lub tracą lokalnie na znaczeniu. Każda z form działalności gospodarczej, a także niektóre czynniki fizjograficzne, niosą zagrożenia dla naturalnie ukształtowanych gleb. W szczególności wśród tych zagrożeń wymienia się:

1. Erozję
2. Ruchy masowe
3. Ubytek materii organicznej
4. Zanieczyszczenie i zasolenie
5. Zasklepianie
6. Zagęszczanie

## 1. Środowisko glebowe w Polsce

Współczesne poglądy wskazują sześć grup czynników kształtujących lokalne środowisko glebowe: klimat, organizmy żywe (flora, fauna, aktywność ludzi), morfologia terenu, litologia (tworzywo mineralne), położenie przestrzenne, czas. Łatwo zauważyć, że grupy czynników charakteryzuje, po części, zmienność w skali lokalnej co powoduje silne zróżnicowanie gleb, w tym ich przydatności do pełnienia różnych funkcji. W mniejszym lub większym stopniu odzwierciedla się to w strukturze użytkowania gruntów.

Obszar Polski, ponad 312 tys. km kwadratowych, w 60% (188 tys. km kwadratowych) zajmują użytki rolne. Znaczną większość w tej grupie stanowią grunty orne (ponad 138 tys. km kwadratowych), trwałe użytki zielone zajmują blisko 39 tys. km kwadratowych. Blisko 30% powierzchni kraju zajmują lasy i zadrzewienia (ponad 96 tys. km kwadratowych), głównie we władaniu lasów państwowych (Ochrona środowiska 2013). Od zakończenia wojny obserwuje się systematyczny wzrost powierzchni zajmowanej przez lasy: od początkowych około 20,8% powierzchni kraju w 1946 roku, do obecnych 29,9%. Łatwo na tej podstawie oszacować, że blisko 1/3 lasów stanowią drzewostany młode i średnich klas wieku, cechujące się stosunkowo dużym przyrostem. Tereny zabudowane i zurbanizowane zajmują według statystyk ponad 16 tys. km kwadratowych, z czego większość to tereny komunikacyjne (ponad 9 tys. km kwadratowych).

### 1.1. Jakość gleb i siedlisk w Polsce

Warunki przyrodnicze Polski z punktu widzenia produkcji rolniczej są o 30-40% gorsze niż w krajach Europy Zachodniej. W Polsce, z punktu widzenia produkcji biomasy, dominują gleby słabej jakości. W znacznym stopniu relatywnie niska jakość (bonitacja) gleb odzwierciedla się w zróżnicowaniu tak zwanego wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP) według IUNG.

Tabela 1. prezentuje średnie wartości tego wskaźnika dla województw. Maksymalna możliwa wartość wskaźnika wynosi 125, jest on przy tym sumą ocen indywidualnych wskaźników: jakości i przydatności rolniczej gleb (do 100 punktów), warunków agroklimatycznych (do 15 punktów), ukształtowania terenu (do 5 punktów) oraz warunków wodnych (do 5 punktów). Uśrednienie w obrębie województw prowadzi do względnie niskiej wartości wskaźnika i nie oddaje rzeczywistego zróżnicowania np. w woj. małopolskim powiat Proszowice charakteryzuje wskaźnik 100,57 punktów zaś powiat tatrzański zaledwie 32,98 punktów. Warto dodać, że najlepsza gmina w Polsce jest charakteryzowana wskaźnikiem około 108 punktów. Na wartość wskaźnika rzutuje głównie niska, na ogół, z niewielkimi wyjątkami, jakość gleb. Ponad 50% gruntów charakteryzuje wskaźnik poniżej 40 punktów.

Relatywnie gorsza, z punktu widzenia wytwarzania biomasy, jest jakość gleb trwałych użytków zielonych. Do grupy gleb bardzo dobrych i dobrych (klasa bonitacyjna I-III) należy 15% gruntów łąk i pastwisk (około 2% użytków bardzo dobrych), gleby średniej jakości (klasa IV) stanowią 42,4%, zaś słabe i bardzo słabe 42,6%.

Na terenach leśnych dominują, ze zrozumiałych względów, gleby słabsze. Nieco ponad 50% terenów leśnych zajmują siedliska borów i borów mieszanych (tabela 2), których naturalnym podłożem są gleby piaszczyste zaś gospodarczym typem drzewostanu sosna lub świerk. Siedliska lasowe i lasy mieszane stanowią około 35% lasów. Siedliska górskie stanowią około 8,7% powierzchni lasów. Poza najslabszymi siedliskami borowymi istnieje możliwość hodowli drzewostanów mieszanych, dających podstawę zwiększenia bioróżnorodności ekosystemu leśnego.

**Tabela 1. Wartości Wskaźnika Waloryzacji Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej według IUNG**

Województwo	WWRPP(IUNG)
warmińsko-mazurskie	66,0
wielkopolskie	64,8
dolnośląskie	74,9
śląskie	64,2
opolskie	81,6
małopolskie	69,3
podkarpackie	70,4
świętokrzyskie	69,3
mazowieckie	59,9
łódzkie	61,9
kujawsko-pomorskie	71,0
pomorskie	66,2
zachodnio-pomorskie	67,5
podlaskie	55,0
lubelskie	74,1
lubuskie	62,3
<b>Polska</b>	<b>66,6</b>

Źródło: Famielec et al. 2007.

**Tabela 2. Struktura typologiczna lasów polskich. Procentowy udział grup żyźności siedlisk w całości powierzchni leśnej**

Grupa typów siedliskowych	Udział procentowy w powierzchni leśnej
Bs, Bśw, Bw, Bb	21,5
BMśw, BMw, BMb	28,4
LMśw, LMw, LMb	22,4
Lśw, Lw, Lł, Ol, OIj	13,1
BMwyż, BG, BWG, BMG	1,3
LMwyż, Lwyż, LMG, LG	13,3

Źródło: Raport... 2013.

## 2. Przekształcenia użytkowania i właściwości gleb

Gleby od stuleci poddawane są presji gospodarczej działalności człowieka. Ciągłe zmiany ich właściwości występują także pod wpływem naturalnych czynników i procesów pogłębiających ich degradację lub poprawiających ich właściwości. Ogólnie biorąc zmiany właściwości gleb są procesem naturalnym, co odzwierciedla się między innymi w systematyce przyjmującej typologię jako obraz aktualnego stanu rozwojowego. Także gospodarowanie przyrodnicze, wymagające współdziałania z siłami natury, takie jak rolnictwo lub leśnictwo, wpływa na procesy kształtowania się gleb i ich trendy rozwojowe. Znacznie poważniejsze są, szybciej zachodzące, skutki przedsięwzięć infrastrukturalnych i przemysłowych. Można zatem umownie rozdzielić prognozę przekształceń gleb na dwie grupy przyczyn: leżące w naturalnych czynnikach ekologicznego rozwoju środowiska glebowego, towarzyszące także użytkowaniu przyrodniczemu, w którym podejmowane są działania mające na celu najlepsze dostosowanie gleb do wymogów produkcji biomasy, oraz grupę przyczyn, których oddziaływanie na gleby jest niezamierzone, wynikające z technologii i potrzeb rozwoju cywilizacyjnego.

### 2.1. Zagrożenia, zasięg, skutki i przeciwdziałanie

W Polsce, podobnie jak w innych krajach Europy obserwuje się praktycznie wszystkie rodzaje zagrożeń gleb. Ich natężenie i zasięg uwarunkowany jest przez czynniki klimatyczne, litologiczne i użytkowe. Pewne znaczenie w nadawaniu kierunku przekształceniom gleb miały zmiany własnościowe oraz gospodarcze, szczególnie zmiany trendów industrializacyjnych oraz obfite finansowanie przedsięwzięć infrastrukturalnych. Zaszły także głębokie zmiany w wyposażeniu technicznym rolnictwa i leśnictwa. Równocześnie znaczenia nabierają regulacje prawne Unii Europejskiej, w tym dyrektywy z zakresu ochrony środowiska, ochrony gleb i programy klimatyczne. Szczególna waga może być przywiązana do problematyki sekwestracji węgla w glebach.

### 2.1.1. Straty węgla glebowego

Znaczenie węgla organicznego gleb (SOC – Soil Organic Carbon) wykracza zdecydowanie poza tradycyjnie rozumiane funkcje produkcyjne. Oprócz dodatniego wpływu SOC na wiele właściwości gleb (struktura, przepuszczalność, zdolności sorpcyjne i filtracyjne, buforowość, zasób składników pokarmowych) pośrednio wiąże on znaczącą masę węgla, chroniąc go przed przedostawaniem się do atmosfery w formie CO<sub>2</sub>. Utrzymanie zdolności gleb do sekwestracji węgla jest jednym z ważniejszych zadań unijnej polityki środowiskowej.

Według szacunków, w glebach Świata znajduje się 1500 Pg C, co przekracza zasób zawarty w złożach węglowodorów. Zachowanie trwałości tego zasobu, a w miarę możliwości jego zwiększenie jest jednym z priorytetów polityki środowiskowej Unii Europejskiej. Głównymi czynnikami zagrażającymi trwałości puli SOC jest erozja, osuszanie gleb organicznych, wylesianie, zdejmowanie pokrywy glebowej jak też obserwowane trendy klimatyczne. Na wszystkich kontynentach obserwuje się zjawiska określane mianem pustoszenia, zaś roczna emisja dwutlenku węgla związana z osuszaniem gleb organicznych szacowana jest na blisko miliard ton. W Europie szacuje się zasób SOC na około 70 mld ton, co przekracza 50 letnią emisję gazów cieplarnianych. Jest to zasób stosunkowo wrażliwy na czynniki antropogeniczne: w Niemczech ocenia się, że 8% gleb torfowych, w wyniku osuszenia emituje 30% gazów cieplarnianych sektora rolnego (Van-Camp et al. 2004).

Istnieją pewne różnice między rodzajami użytków, w poziomie i przebiegu procesów akumulacji SOC. Najbardziej zbliżona do naturalnej jest akumulacja SOC w glebach leśnych. Ogólnie biorąc, zasób SOC w glebach leśnych zależy od typu siedliska (Wójcik 2013) oraz typu drzewostanu: od 75 t/ha SOC w glebach słabych siedlisk borowych, do ponad 120 t/ha SOC w siedliskach lasowych, przy czym największą akumulację w grupach troficznych wykazują siedliska wilgotne. Odrębną kategorię stanowią siedliska mokre i bagienne: akumulacja węgla w glebach tych siedlisk przekracza 500 do ponad 900 t/ha.

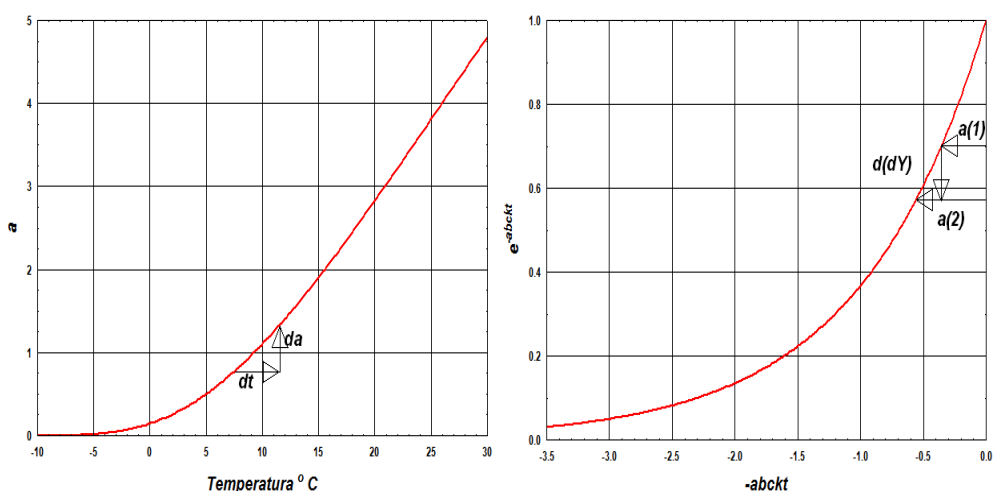
Znaczące zasoby węgla utrzymują trwałe użytki zielone, szczególnie na glebach organicznych. Zasoby gromadzone w gruntach ornych są nieco niższe z powodu zabiegów uprawowych oraz długiego okresu braku osłony gruntu, ograniczającej proces ubytku związków węgla.

Zjawisko i proces akumulacji związków węgla organicznego w glebach, jak również skutki jego zakłóceń, można objaśnić na gruncie modelu RothC, dość powszechnie stosowanego do opisu wahań SOC w różnych warunkach klimatycznych, glebowych i przy zróżnicowanych sposobach użytkowania powierzchni (Jones et al. 2005). Model obejmuje, pięć składowych (związków węgla) tworzących zasób SOC w warstwie glebowej. Każda ze składowych charakteryzuje się określoną podatnością na rozkład pod wpływem oddziaływania warunków meteorologicznych i organizmów glebowych: od łatwo rozkładających się składników deponowanych w wyniku uprawy roślin (ścioła oraz resztki

poźniwie, w tym części podziemne roślin), rozkładających się w ciągu około 36 dni, przez trudno rozkładające się części depozycji (około 3,3 roku, przy czym w uprawach rolnych blisko 60% tworzą składniki łatwo rozkładające się, w lasach jest to zaledwie 20% masy ścióły), do bardzo trwałych związków humusowych wymagających do rozkładu ponad 50 lat, oraz inertyjnej materii organicznej, która rozkłada się 50 tys. lat.

Analitycznym prototypem modelu jest równanie  $Y_k = Y_p \exp(-abckct)$ , gdzie:  $Y_k$  – oznacza zawartość komponentu na koniec okresu obserwacji,  $Y_p$  – jest wartością składnika na początku okresu obserwacji,  $a$  – jest parametrem zależnym od temperatury powietrza w okresie obserwacji,  $b$  – jest parametrem zależnym od bilansu wilgotności,  $c$  – jest parametrem zależnym od obecności osłony powierzchni gleby,  $k$  – jest stałą rozkładu dla określonego składnika SOC,  $t$  – jest parametrem czasu (długości odcinka obserwacji). Wykładnik funkcji jest w modelu zawsze ujemny.

**Rysunek 1. Model RothC**



Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z modelem RothC wzrost temperatury powietrza pociąga za sobą wzrost bezwzględnej wartości parametru  $a$  w wykładniku potęgi (lewy panel). Konsekwencją tej zmiany jest zmniejszenie wartości wykładnika i powiększenie się ubytku składnika SOC (prawy panel). Przy stałej wartości depozycji organicznej powoduje to obniżenie się przeciętnego poziomu zasobu SOC. Realny spadek masy SOC może być jeszcze większy, ponieważ wzrost temperatury pociąga za sobą wzrost ewaporacji i zwiększenie się deficytu wodnego, co stanowi (zgodnie z modelem RothC) kolejny impuls powiększający ubytek składników SOC.

Z budowy modelu wynika, że zasób składnika na koniec okresu jest zawsze mniejszy niż na jego początku. Różnica ta wynosi  $\Delta Y = Y_p [1 - \exp(-abckt)]$ . Jest to jednak tylko podstawowa część zasobu składnika wynikająca z transformacji jego puli początkowej. W końcu okresu prawdziwa wartość zasobu wynosi  $Y_{kd} = Y_k + \Delta Y_{dep}$ , to znaczy jest sumą puli pozostałej z rozkładu oraz  $\Delta Y_{dep}$  czyli przyrostu puli wynikający z bieżącej depozycji i jej transformacji do innych składników. Warunkiem *equilibrium* jest równowaga ilościowa wartości  $\Delta Y$  oraz  $\Delta Y_{dep}$ .

Przyczyną zmiany położenia *equilibrium* jest modyfikacja sposobu uprawy ziemi, zmiany wilgotnościowe gleb lub zmiany klimatyczne. Według obserwacji (Famielec et al., 2007) w stosunkowo niedługim okresie zanotowano w Polsce (województwa podlaskie i dolnośląskie) statystycznie istotne zmniejszenie się puli węgla w glebach ornych. Ubytek ten był proporcjonalny do początkowego stanu. W tym samym czasie zaobserwowano także podniesienie się średniej rocznej temperatury (w stosunku do obserwowanej w poprzednich wieloletniach). Zaobserwowane straty SOC można wytłumaczyć na gruncie wspomnianego modelu RothC. Zgodnie z jego założeniami zależny od temperatury parametr  $a$  przyjmuje wartość:  $a = 47,9 / [1 + \exp(106/(T+18,3))]$ . Zależności te oraz ich konsekwencje dla zasobu SOC prezentują wykresy na rysunku 1. Oznacza to, że podniesienie średniej temperatury wywołuje proporcjonalny wzrost ubytku składników substancji organicznej gleb. Jeżeli inne warunki (deficyt wilgotności, obecność osłony powierzchni gleb, sposób użytkowania) nie ulegną zmianie skutkuje to trwałym obniżeniem się poziomu równowagi zasobu SOC w glebach, przy czym wraz z temperaturą rośnie także deficyt wilgotności, pogłębiając spadkowy trend SOC. Przyjmując średnioroczną temperaturę w Polsce na 7-9 stopni Celsjusza można wyliczyć, że wartość parametru  $a$  przy wzroście temperatury o 1% wzrasta o około 14%. Postać modelu RothC implikuje w tych okolicznościach podwyższenie wartości  $\Delta Y$  także o około 14% (przy założeniu wartości iloczynu  $(-abckt)$  bliskiej zeru). Jest to przewidywane obniżenie poziomu *equilibrium* towarzyszące takiej zmianie.

Niezależnie od przyczyn naturalnych (zaliczając do nich podwyższanie się średniej temperatury) występują także przyczyny zmniejszenia się puli SOC wywołane działalnością człowieka. Jedną z nich jest odwodnienie gleb, zwłaszcza gleb organicznych. Szczególnie znaczące są następstwa osuszania siedlisk łąkowych, zwłaszcza na glebach organicznych (Jurczuk, 2012). Według obserwacji, w początkowych latach po odwodnieniu, emisja dwutlenku węgla z gleb organicznych wynosi średnio 30 t/ha/rok, z czasem spada do około 7,5 t/ha/rok. Według wyliczeń (Jurczuk 2012), emisja z powierzchni gleb organicznych wynosi około 6,7 mln ton ditlenku węgla, co stanowi 3,1% poziomu wynegocjowanego z UE.

Systematyczny wzrost powierzchni terenów leśnych jest czynnikiem zwiększającym pulę SOC. Jest to zasób względnie trwały, a w dłuższym okresie czasu w zasadzie bardzo stabilny, pomijając ewentualne zmiany termiczne. Problem, w pewnym stopniu, stanowią tereny poddane zrębowemu sposobowi za-

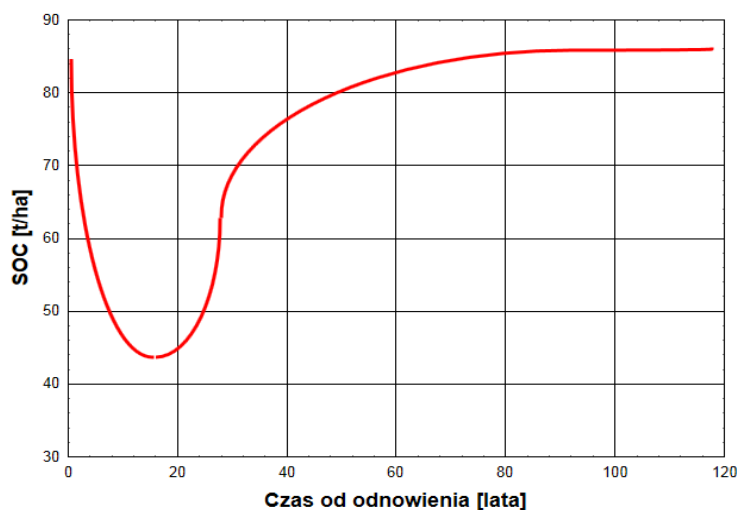


gospodarowania, z wykorzystaniem rębni zupełnej, polegającej na jednorazowym usunięciu drzewostanu z działki zrębowej, związanej w zasadzie z odnowieniem sztucznym i koniecznością mechanicznej uprawy gleby. Odstąpienie powierzchni gleb i przejściowy spadek depozycji organicznej, a także uprawa mechaniczna (orka) wywołują proces nazywany efektem Covingtona (rysunek 2). Polega on na głębokim spadku zasobów SOC, w następstwie powrót do pierwotnego, ponieważ naturalnego poziomu równowagi trwa 60-70 lat, co stanowi około połowy czasu cyklu życia drzewostanów.

Przeciwdziałanie utracie glebowej substancji organicznej jest jednym z głównych zadań strategii ochrony gleb w krajach Unii Europejskiej (Van\_Camp, 2004). Utrzymanie, a w miarę możliwości wzrost zasobów SOC, jest postrzegany jako istotny sposób przeciwdziałania wzrostowi koncentracji ditlenku węgla w atmosferze. Znanym sposobem zwiększenia puli SOC w glebach rolniczych jest wzrost depozycji organicznej, np. poprzez wyższe nawożenie, stosowanie kompostu i nawozów organicznych.

W Polsce realizowana jest racjonalna zasada zalesiania najłagodniejszych pod względem produkcyjnym gleb rolniczych (gleby reprezentujące tak zwany kompleks żyzny najłagodniejszy, gleby marginalne). Nieopłacalność produkcji rolnej, w połączeniu z korzystnym skutkiem zalesienia powinna być powodem wspierania tej koncepcji. Gleby leśne, z racji trwałej osłony oraz dużej depozycji organicznej, akumulują na ogół większą pulę SOC niż grunty orne. Należy do niej zaliczyć także zasób węgla zawarty w nadziemnych i podziemnych częściach drzewostanów.

**Rysunek 2. Efekt Covingtona (wykres poglądowy)**



Źródło: Opracowanie własne

Odnowienie za pomocą rębni zupełnej powoduje, oprócz zmniejszenia rozmiaru depozycji organicznej, długotrwałe odsłonięcie powierzchni gleby, pogłębienie deficytu wodnego (wzrost temperatury gleby i ewaporacji) oraz – w wyniku uprawy mechanicznej – natlenienie warstwy korzeniowej. Są to wszystko czynniki powodujące okresowy, głęboki spadek zasobów SOC. Dochodzenie do poziomu równowagi może trwać kilkadziesiąt lat. Złagodzenie lub uniknięcie tego efektu jest możliwe dzięki zastosowaniu w odnowieniu drzewostanów rębni złożonych: gniazdowych, częściowych lub przerębowych. Nie zawsze istnieje swoboda wyboru: czynnikami ograniczającymi są właściwości siedlisk i skład gatunkowy drzewostanów.

Gospodarstwo leśne także ma pewną perspektywę wzrostu puli SOC. Poza przebudową drzewostanów, konsekwentnym wprowadzaniem drzewostanów mieszanych, a także dzięki przedsięwzięciom z zakresu użytkowania lasu (pozostawianie resztek pozrębowych itp.), analizy wymaga też problem odnowienia rębniami zupełnymi. Zalecenia hodowlane narzucają obowiązek przebudowy jednogatunkowych drzewostanów sosnowych, choć możliwość całkowitego odejścia od rębni zupełnej jest bardzo ograniczona (ponad 60% drzewostanów sosnowych). Według statystyk przedstawionych w raportach o stanie lasów w Polsce (Raport, 2013) gospodarstwo leśne zaledwie około 17% pozyskiwanego drewna pobiera w wyniku cięć zupełnych. Nawet odliczając znaczącą rolę w pozyskiwaniu drewna cięć pielęgnacyjnych (około 50%), około 34% cięć użytkowania głównego (biorąc pod uwagę rozmiar pozyskania) to cięcia zupełne. Oznacza to istotne ograniczenie tego rodzaju zagospodarowania, jakkolwiek warunki ekologiczne temu nie zawsze sprzyjają. Leśnictwo w zasadzie zrezygnowało z koncepcji osuszania siedlisk bagiennych.

### **2.1.2. Zagrożenie erozją wodną i ruchy masowe**

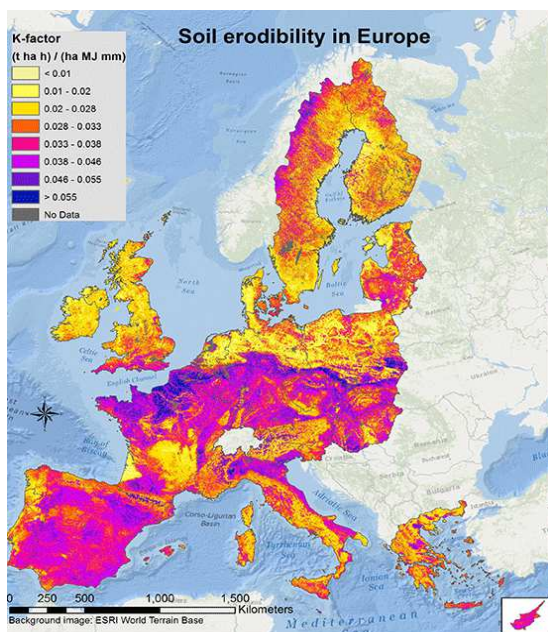
Erozja jest trwale związana z procesem formowania się gleb; jest zjawiskiem degradującym gleby, choć część wyerodowanej masy glebowej bierze udział w procesie glebotwórczym (gleby deluwialne i mady). W skali światowej erozja wodna i eoliczna jest uważana za główny czynnik degradujący (Kirkby et al. 2004, Van Rompaey et al. 2003).

Skutkami erozji są:

- trwałe zmniejszenie zdolności produkcyjnych gleb (zmniejszenie zawartości próchnicy i składników pokarmowych, degradacja i niszczenie profilu),
- spadek plonowania,
- zmniejszenie powierzchni użytków poprzez rozwój wąwozów,
- zwiększenie splotów powodziowych,
- zwiększenie zamulania zbiorników,
- pogorszenie gospodarki wodnej – przyspieszenie spływu i pogłębienie deficytu wodnego.

Intensywność erozji zależy od czynników klimatycznych, właściwości gleb, obecności pokrywy roślinnej. Kontynentami najsilniej zagrożonym erozją są (Józefaciukowie 1992) Afryka, obie Ameryki i Azja, gdzie roczne straty masy glebowej przekraczają  $500 \text{ t/km}^2/\text{rok}$  ( $5 \text{ t/ha/rok}$ ). Erozja w Australii jest szacowana na około  $280 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Na tym tle Europę można uznać za obszar o mniejszym stopniu zagrożenia (około  $90 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ ), aczkolwiek, ze względu na straty, które powoduje (spływanie gleb, ubytek substancji organicznej, zanieczyszczanie wód oraz zamulanie zbiorników wodnych) erozja znajduje się na liście głównych zagrożeń europejskich zasobów glebowych.

### Rysunek 3. Zróżnicowanie wartości współczynnika K w Europie



Współczynnik K jest parametrem modeli USLE i RUSLE używanych do szacowania podatności gleb na erozję wodną. Polska i północna część Europy należy do krajów względnie słabiej zagrożonych erozją

Źródło: Panagos et al. 2014.

Terenami najsilniej dotkniętym erozją w Europie są: kraje Półwyspu Iberyjskiego, północna Francja, Niemcy i kraje alpejskie oraz Bałkany. Polska, na tle Świata i Europy zalicza się do krajów o słabszym zagrożeniu erozją; roczny średni ubytek masy glebowej w wyniku procesów erozyjnych jest szacowany na około  $76 \text{ t/ha/rok}$ . Pomimo tego zjawisko erozji znajduje się w czołówce problemów wymagających w Polsce systemowego podejścia.

Opublikowana ostatnio mapa współczynnika erodowalności K gleb Unii Europejskiej wskazuje, że część Polski leży na krawędzi pasa silnego zagrożenia erozją. Erodowalność jest przyjmowana jako wartość stała dla danej gleby, zależna od uziarnienia i zawartości próchnicy. Na tle Europy erodowalność gleb

Polski, głównie piasków, jest stosunkowo niska. Wyższa wartość tego parametru jest właściwa dla utworów lessowych i lessopodobnych. Zagrożenie erozyjne zwiększa urozmaiconą rzeźbę terenu, sprzyjającą skoncentrowanemu spływowi wód i odpajaniu ziarn glebowych. Główne obszary tego zagrożenia to południowy pas obszarów górskich i podgórszych, od Dolnego Śląska po Podkarpackie. Obszary silnego zagrożenia to także rejony występowania utworów lessowych i lessopodobnych: część województwa małopolskiego (okolice Krakowa, Proszowice, Miechów), świętokrzyskiego (Sandomierz, Opatów), lubelskiego (Wyżyna Lubelska). Łącznie, szacuje się (Ochrona środowiska 2013), że około 4% terytorium Polski zagrożone jest silną erozją, około 11% erozją średnią i około 14% słabą.

**Tabela 3. Statystyka udziału gruntów o różnym stopniu zagrożenie erozją w Polsce**

Erozja	Ogółem powierzchnia zagrożona		Według stopnia zagrożenia		
	[ km <sup>2</sup> ]	[ %]	słaba	średnia	silna
Wodna powierzchniowa	89074,9	28,5	13,8	11,0	<b>3,7</b>
Wąwozowa	54748,5	17,5	10,5	4,3	<b>2,8</b>
Eoliczna	86332,0	27,6	17,3	9,3	<b>1,0</b>

Źródło: Ochrona środowiska, 2013.

Program ograniczenia oraz zapobiegania erozji powinien obejmować szereg działań zalecanych od lat i zależnych od okoliczności morfologicznych i litologicznych (Józefaciukowie 1992):

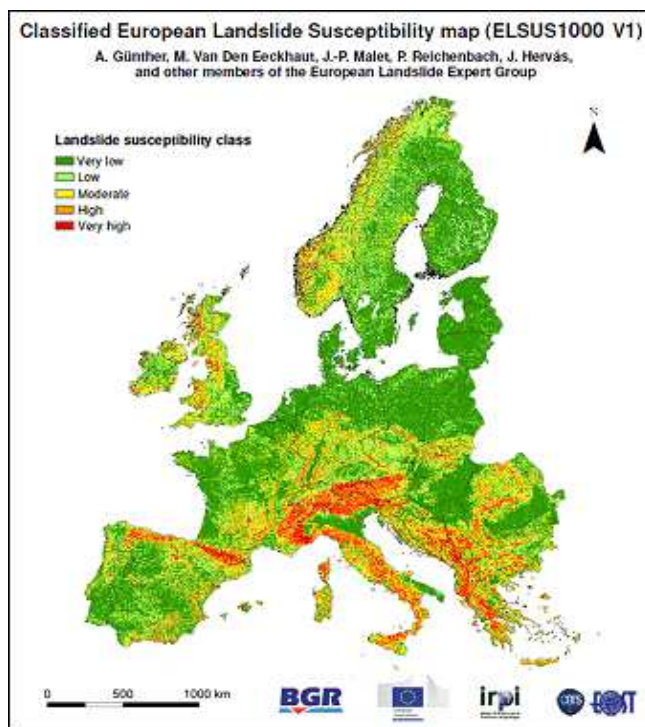
- kierunek upraw prostopadły do spływu wód,
- unikanie monokultur i stosowanie płodozmianu,
- unikanie orki i wypasu zwierząt na stromych zboczach,
- zaprzestanie wyrębu drzew i krzewów na stromych zboczach,
- zalesianie i zadrzewianie, głównie zboczy,
- zakładanie ochronnych pasów zieleni,
- budowanie progów na potokach, w celu zmniejszenia prędkości spływu wody,
- wyeliminowanie ciężkiego sprzętu i maszyn rolniczych.

Osuwiska polegają na nagłym przemieszczeniu się mas ziemnych, powierzchniowej zwietrzliny i mas skalnych podłoża spowodowane siłami przyrody lub działalnością człowieka (podkopanie stoku lub jego znaczne obciążenie). Miejsca występowania osuwisk to naturalne stoki i zbocza dolin i zbiorników wodnych, obszary źródłowe rzek (gdzie erozja wsteczna zwiększa spadek terenu), skarpy wykopów i nasypów oraz wyrobisk. W naturalny sposób

osuwiska są związane z terenami urozmaiconymi morfologicznie. Osuwiska, z uwagi na ich rozmiar i potencjalne skutki, tworzą relatywnie duże zagrożenie nie tylko dla gleb, ale także dla bezpieczeństwa ludzi. W historii znane są liczne przypadki osuwisk powodujących niszczenie obszarów zabudowy i infrastruktury, połączone z ofiarami w ludziach. Monitoringowi miejsc potencjalnych osuwisk nadaje się duże znaczenie. Według Autorów mapy ELSUS 1000 (Günther et al. 2014) w krajach Unii Europejskiej jest udokumentowanych ponad 102 tys. obszarów podatnych na ruchy masowe, głównie w rejonach górskich i podgórskich. Można przypuszczać, że generalizacja (rozdzielczość mapy wynosi 1 km) spowodowała zaniżenie liczby tych rejonów.

Ruchy masowe (spełzywanie, soliflukcja, obrywanie itp.) jest przyczyną znacznych strat finansowych głównie w wyniku uszkodzeń i konieczności naprawy lub zabezpieczenia budynków, budowli komunikacyjnych, linii przesyłowych oraz innych obiektów infrastrukturalnych. Znaczenie osuwisk (poza względami bezpieczeństwa) dla przyrodniczego użytkowania terenu jest umiarkowane. Przyjmując jednak szeroką definicję funkcji środowiska glebowego, mieszczą się one w zakresie niniejszego opracowania.

#### Rysunek 4. Mapa terenów zagrożonych osuwiskami w Europie



Dokumentacja wyróżnia 102 tys. obszarów osuwiskowych. Polska dokumentacja w obrębie fliszu karpackiego uwzględnia ponad 60 tys. terenów zagrożonych osuwiskami

Źródło: Günther et al. 2014.

Ruchy masowe w Polsce powodują lokalnie degradację gleb, aż do całkowitego ich zniszczenia. Występują one przede wszystkim na obszarze Karpat – tam zlokalizowano 95% wszystkich zarejestrowanych osuwisk. W niektórych fragmentach stwierdzano, że 30-70% stoków jest zajętych przez osuwiska. W większości przypadków powstają one z przyczyn naturalnych – tylko około 7% z ogólnej liczby osuwisk było skutkiem nieprawidłowych działań człowieka (Rączkowski 2007). Powolny ruch mas ziemnych czyli spelzywanie prowadzi do pewnych zmian gleb ze względu na przemieszczanie powierzchniowej warstwy tzn. poziomu próchnicznego czego konsekwencją będzie zmniejszenie jego miąższości w górnych partiach zboczy i narastanie w częściach dolnych. Proces ten przebiega ciągle, jednak powoli i jego następstwa nie są bardzo wyraźne. Osuwiska w zasadzie są również zjawiskami zachodzącymi ciągle, jednak zauważanymi przede wszystkim wtedy, gdy dochodzi do nagłych ruchów.

W Polsce w strefie fliszu karpackiego znajduje się ponad 60 tysięcy rejonów osuwiskowych. Uwaga społeczna koncentruje się głównie na stratach majątkowych, wynikających ze zniszczeń budynków posadowionych w strefach osuwiskowych. Rocznie rejestruje się kilkadziesiąt przypadków uszkodzenia dróg i infrastruktury w wyniku osuwisk. Podejmowane są projekty geodezyjnego dokumentowania i obserwacji terenów osuwiskowych w Małopolsce.

Najszerszym projektem przeciwdziałania osuwiskom jest SOPO: System Osłony Przeciwośuwiskowej, realizowany od kilku lat przez Państwowy Instytut Geologiczny. Jego zasięg obejmuje cały kraj (ze szczególnym uwzględnieniem terenów górskich i podgórskich) i polega na dokumentowaniu terenów osuwiskowych przy współpracy z samorządami i na podstawie innej dokumentacji. Projekt SOPO spowodował udokumentowanie wielu rejonów osuwiskowych w strefie karpackiej i pozakarpackiej Polski. Pomimo wzrastającej świadomości społecznej obserwuje się w dalszym ciągu lokowanie budynków w miejscach podatnych na osuwanie.

Podstawowe formy zapobiegania i przeciwdziałania skutkom osuwisk leżą w dziedzinie planowania przestrzennego. Są to:

- udokumentowanie położenia obszarów o budowie geologicznej sprzyjającej powstawaniu osuwisk,
- wprowadzenie administracyjnego zakazu wykonywania jakichkolwiek prac ziemnych oraz budowlanych w tych obszarach,
- stabilizacja istniejących osuwisk.

### **2.1.3. Zagęszczanie gleb**

Zagęszczanie gleb polega na zwiększaniu ich gęstości objętościowej. Podstawową przyczyną zagęszczania jest powszechne stosowanie zmechanizowanych urządzeń uprawowych. Następstwem nadmiernego wzrostu gęstości gleb jest zmniejszenie ich porowatości, zmniejszenie objętości porów powietrznych,

spadek tempa rozkładu związków organicznych. Dalszą konsekwencją zagęszczenia jest utrudnienie penetracji systemów korzeniowych, co zmniejsza miąższość warstwy rizosfery. Ponieważ dotyczy ono głównie gospodarstwa rolnego, dlatego też walka z tym zjawiskiem jest składnikiem działań melioracyjnych rolnictwa. Na zagęszczanie podatne są głównie gleby zwięźlejsze: gliniaste i ilaste. Ich udział w strukturze użytków rolnych jest dość znaczny, powierzchnia tych gleb jest szacowana na ponad 2,6 mln ha (Famielec et al. 2007).

#### **2.1.4. Zasklepienie (separacja, izolowanie) powierzchni gleb**

Zasklepienie (soil sealing) polega na przykrywaniu otwartej powierzchni gleb materiałami nieprzepuszczalnymi, w związku z tworzeniem infrastruktury i urbanizacją. Zasklepienie gleby, z oczywistych przyczyn traci swe funkcje rolnicze lub leśne, jak też zostają wyłączone z procesu sekwestracji węgla. Separacja powoduje też zmianę warunków glebowych w otoczeniu, poprzez skierowanie dodatkowego strumienia wód opadowych, zakłócając filtrującą i akumulacyjną rolę sąsiadujących gleb. Na ogół, zasklepienie jest działaniem nieodwracalnym z powodu trwałości projektów urbanizacyjnych i infrastrukturalnych.

Skutkami zasklepienia jest szereg niekorzystnych zjawisk wpływających na środowisko:

- zasklepienie gleby może wiązać się ze znacznym obciążeniem zasobów wodnych i prowadzić do zmian w stanie środowiska dorzeczy,
- zasklepienie gleby ma wpływ na różnorodność biologiczną zarówno pod, jak i nad ziemią,
- zajmowanie gruntów oraz zasklepienie gleby często dotyczy najżyźniejszych gleb, wpływając na bezpieczeństwo żywnościowe UE,
- utrata zdolności sekwestracji węgla,
- spadek parowania terenowego,
- zmniejszenie powierzchni „zielonych”,
- zasklepienie gleby zrywa powiązanie chemicznych i biologicznych cykliów organizmów lądowych, które zostają uwięzione w glebie.

Na podstawie danych opublikowanych przez Europejską Agencję Środowiska (Strategia 2006) według danych Corine Land Cover dla lat 1990, 2000 i 2006, podano szacunki, według których odnotowane zajęcie gruntów między 1990 a 2000 r. wyniosło w UE około 1000 km<sup>2</sup> rocznie lub 275 hektarów dziennie, podczas gdy obszary zabudowane zwiększyły się o niemal 6%. W okresie od 2000 do 2006 r. tempo zajmowania gruntów spadło nieznacznie do 920 km<sup>2</sup> rocznie (252 hektary dziennie), zaś całkowity obszar zabudowany powiększył się o kolejne 3%. W tym samym okresie liczba ludności zwiększyła się jedynie o 5% (paradoksem jest, że zajmowanie gruntów nie jest związane ze wzrostem liczby ludności (ang. *decoupled land take*)), choć tempo tego wzrostu różni się znacznie w ramach zarówno Europy, jak i regionów.



W 2006 r. całkowitą powierzchnię o zasklepionej glebie szacowano na około 100 000 km<sup>2</sup> lub 2,3% terytorium UE, ze średnim wskaźnikiem na poziomie 200 m<sup>2</sup> na jednego mieszkańca. Wśród państw członkowskich z wysokimi wskaźnikami zasklepienia gleby (powyżej 5% terytorium kraju) są Malta, Holandia, Belgia, Niemcy i Luksemburg. Ponadto wysokie wskaźniki zasklepienia gleby odnotowuje się na obszarze całej UE, we wszystkich większych aglomeracjach, a w największym stopniu na wybrzeżu śródziemnomorskim. Na tym obszarze jedynie w latach 90. XX wieku doszło do 10% wzrostu zasklepienia gleby.

Polska, od momentu włączenia do Unii Europejskiej, nadrabia zapóźnienie w infrastrukturze, uprzemysłowieniu i urbanizacji, powstałe z powodów historycznych, w stosunku do krajów zachodniej Europy. Sprzyja temu zasób surowców mineralnych Polski: według (Bilans... 2014), w Polsce udokumentowano ponad 13 tys. złóż surowców mineralnych. Dobrą ilustracją aktualnego zróżnicowania urbanizacji Polski w stosunku do krajów zachodnioeuropejskich jest satelitarne zobrazowanie nocne. Wyspy Brytyjskie, kraje Beneluxu, terytorium Niemiec i Włoch charakteryzuje zdecydowanie większa intensywność oświetlenia znamionujące położenie większych obiektów przemysłowych i miast.

**Rysunek 5. Fragment zobrazowania nocnego Europy. „Zanieczyszczenie światłem” wskazuje pośrednio tereny o największym stopniu urbanizacji i zasklepienia gleb**



Źródło: NASA.



Statystyki rozwoju powierzchniowego urbanizacji i infrastruktury w Polsce charakteryzuje w ostatnich latach duży przyrost. Powierzchnia gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w Polsce w roku 2004 wynosiła 1 458 tys. ha. Statystyki roku 2013 informują (Ochrona środowiska 2013), że w ciągu około 10 lat powierzchnia ta wzrosła do 1 613 tys. ha, co stanowi ponad 10% wzrostu w stosunku do początku dekady (tabela 4.). W skali kraju oznacza to przyrost udziału tych terenów z 4,66% do 5,15%. Brak jest odpowiedniego punktu odniesienia w starej części UE. Możliwe jest jedynie porównanie w zakresie udziału istotnej części urbanizacji jaką są tereny zabudowane, bez obiektów przemysłowych i infrastrukturalnych. Pod tym względem przoduje w Unii Belgia (7,1% powierzchni) i Holandia (4,2% powierzchni). Większe powierzchniowo Niemcy cechuje wskaźnik w wysokości 2,6%. Polskę w 2012 roku cechował wskaźnik 1,5%. Można przypuszczać, że obiekty przemysłowe i infrastrukturalne w krajach zachodnich zajmują proporcjonalnie jeszcze większą powierzchnię. Oznacza to istotne prawdopodobieństwo utrzymywania się dynamiki wzrostu powierzchni terenów zasklepionych w Polsce przez najbliższe dekady.

W okresie 10 lat powierzchnia gleb zasklepionych w Polsce wzrosła o ponad 1500 km<sup>2</sup>. Roczny przyrost powierzchni gruntów zurbanizowanych, wynoszący średnio w dziesięcioleciu około 150 km<sup>2</sup> oznacza dobowy przyrost tego rodzaju obszarów o 41 ha, wobec 252 ha średnio dziennie w Unii Europejskiej. W tych okolicznościach ograniczanie zasklepienia gleb wydaje się być jednym z ważniejszych zadań w zakresie ochrony gleb. Województwa o udziale gruntów zurbanizowanych przekraczającym średnią krajową, to: śląskie (12,18%), dolnośląskie (6,85%), opolskie (6,05%), małopolskie (5,93%), mazowieckie (5,44%), łódzkie (5,37%) oraz wielkopolskie (5,16%). Największy przyrost powierzchni zurbanizowanych nastąpił w województwie śląskim. Województwo mazowieckie przeszło w tym czasie do grupy województw, których udział powierzchni zurbanizowanych przekracza średni wskaźnik krajowy.

**Tabela 4. Statystyka udziału terenów zurbanizowanych w powierzchni kraju w roku 2004 i 2013**

Województwa	Powierzchnia ogółem	Powierzchnia zabudowana i zurbanizowana 2004	Powierzchnia zabudowana i zurbanizowana w odniesieniu do powierzchni ogółem [%] 2004	2013 [ha]	2013 [%]
	[ha]	[ha]			
Polska	31268502	1458022	4,66	1612791	5.16
Dolnośląskie	1994776	130545	6,54	136671	6.85
Kujawsko-pomorskie	1796972	79443	4,42	86133	4.79

Województwa	Powierzchnia ogółem	Powierzchnia zabudowana i zurbanizowana 2004	Powierzchnia zabudowana i zurbanizowana w odniesieniu do powierzchni ogółem [%] 2004	2013 [ha]	2013 [%]
	[ha]	[ha]			
Lubelskie	2511448	88432	<u>3,52</u>	93728	3.73
Lubuskie	1398920	64294	4,60	63062	4.51
Łódzkie	1821911	87142	4,78	97754	5.37
Małopolskie	1518974	79744	5,25	90084	5.93
Mazowieckie	3556677	158842	4,47	193623	5.44
Opolskie	941247	49460	5,25	56971	6.05
Podkarpackie	1784404	72595	4,07	79821	4.47
Podlaskie	2018620	73287	3,63	74306	3.68
Pomorskie	1829288	79962	4,37	94734	5.18
Śląskie	1233064	121105	<u>9,82</u>	150162	<u>12.18</u>
Świętokrzyskie	1170790	46165	3,94	53461	4.57
Warmińsko-mazurskie	2419180	85651	3,54	88964	3.68
Wielkopolskie	2982559	144553	4,85	153800	5.16
Zachodniopomorskie	2289672	96801	4,23	99517	4.35

Źródło: Ochrona środowiska 2013.

Czynnikiem potęgującym ten trend jest migracja mieszkańców wsi do miast, związana z przekształceniami w rolnictwie. Obserwowana moda ruchów w odwrotnym kierunku, właściwa dla najbardziej zamożnych grup społecznych, ma rozmiar symboliczny, przy czym migrujący raczej przenoszą swoje przyzwyczajenia na wieś, usiłując utrzymać wysoki standard i związaną z nim infrastrukturę.

Przeciwdziałanie procesowi zasklepania gleb może mieć wyłącznie charakter prawno-administracyjny. Główne instrumenty w tym zakresie powinny należeć do zasad planowania przestrzennego. Rozważanymi w tym przypadku narzędziami są:

- limity zajmowania terenów dla jednostek administracyjnych,
- jasne zasady ochrony gleb uprawnych,
- wprowadzenie wyceny wartości gleb w planowaniu przestrzennym,
- kompensacja (użycie zdjętej gleby, odsłanianie, opłata za zasklepanie, ekorachunki i handel certyfikatami).

Do działań o charakterze technicznym należy zaliczyć:

- zastosowanie materiałów przepuszczalnych, na terenach osiedlowych i zamieszkałych,
- systemy zbierania wody.

Słabością kraju jest jednak powszechny brak planów zagospodarowania przestrzennego, sprzyjający podejmowaniu przypadkowych decyzji lokalizacyjnych jak też odejściu od całościowego spojrzenia na problem zabudowy powierzchni w skali co najmniej regionalnej.

#### **2.1.5. Zanieczyszczenie gleb**

Gleby mają naturalną właściwość sorbowania substancji stałych, ciekłych i gazowych, akumulowanych, ulegających transformacji, wymywaniu, uwalnianiu z gleb w formie gazowej lub też pobieraniu przez rośliny. Przy mnogości potencjalnych substancji sorbowanych w glebach, niektóre, z uwagi na częstotliwość występowania i potencjalne zagrożenie dla funkcji gleb, upraw i czystości pól, są limitowane w postaci standardów. Standardy limitują górny poziom koncentracji niektórych pierwiastków i związków: metali ciężkich, węglowodórów (głównie WWA) oraz środków ochrony roślin.

Skutkami zanieczyszczenia gleb mogą być:

- pogorszenie właściwości użytkowych gleb,
- ryzyko zanieczyszczenia pól i pogorszenia ich jakości,
- ograniczenie w swobodnym użytkowaniu gleb,
- obniżenie lub zahamowanie aktywności biologicznej gleb,
- zanieczyszczenie wód.

Według danych sieci EIONET (Panagos et al 2013), w 33 krajach europejskich (bez Polski i czterech innych krajów) znajduje się ponad 127 tys. punktów z potwierdzonym zanieczyszczeniem gleb (CS-Contaminated Sites) oraz ponad 1,17 mln punktów potencjalnie zanieczyszczonych (PCS-Potentially Contaminated Sites). Ekstrapolacja na 38 krajów europejskich (w tym Polskę) prowadzi do wniosku, że punktów zanieczyszczonych jest ponad 342 tys. zaś potencjalnie zanieczyszczonych ponad 2,5 mln. Ta wielka liczba miejsc zanieczyszczonych wynika z zaliczania do nich wszystkich składowisk odpadów, stacji paliwowych, zakładów przemysłowych itp., i traktowania ich równoważnie z zanieczyszczeniami obszarowymi spowodowanymi oddziaływaniem dużych zakładów przemysłowych.

Zasolenie gleb jest naturalnym zjawiskiem w strefie klimatu aridowego i semiaridowego. W Europie gleby słone występują w rejonach nadmorskich (Holandia, Francja), oraz w południowej części subkontynentu (Węgry, Rumunia, kraje śródziemnomorskie, Portugalia). Zasolenie oddziałuje destrukcyjnie na strukturę gleb, powodując jej zlewność, w skrajnym przypadku może być przy-

czyną suszy fizjologicznej, zmniejszając różnice potencjału osmotycznego między glebą i rośliną.

Zanieczyszczenie gleb obejmuje wiele możliwych substancji, których obecność w glebach powoduje mniejsze lub większe ograniczenia w pełnieniu przez nie funkcji środowiskowych. Polskie standardy (Rozporządzenie... 2002) czystości ziemi regulują zasady oceny stanu sanitarnego gleb, uwzględniając 55 substancji: pierwiastków metalicznych (12 pierwiastków) i związków. Unormowania zawartości związków dotyczą dwu substancji nieorganicznych, 23 związków organicznych (związki wielopierścieniowe, WWA, chlorowane), 11 grup środków ochrony roślin oraz 7 innych substancji organicznych. Przepis ustanawia poziomy odniesienia dla trzech grup terenów: podlegających ochronie, użytkowanych przyrodniczo i zurbanizowanych, oraz przemysłowych.

W akumulacji zanieczyszczeń odzwierciedla się jedna z funkcji gleb: zdolność do filtrowania, przekształcania i stabilizowania (blokowania) zanieczyszczeń. Obecność zanieczyszczeń, nawet przekraczająca unormowania standardów, nie musi – przynajmniej w krótkim okresie – skutkować ich wpływem na produkcję biomasy. Trudność w inwentaryzowaniu tego rodzaju przekształceń gleb polega, między innymi, na braku widocznych symptomów zanieczyszczenia.

Oddziaływanie zanieczyszczeń, poza ryzykiem ich nadmiernej akumulacji w tkankach roślin, polega głównie na destrukcyjnym wpływie na bioróżnorodność fauny i flory glebowej, co obserwuje się w postaci zmniejszenia ich wydajności respiracyjnej. W dłuższej perspektywie oznacza to zmniejszenie aktywności biologicznej gleb i pogorszenie wydajności procesów zachodzących w glebach.

Ujęcie liczbowe powierzchni ziemi zagrożonej zanieczyszczeniami jest niestety trudna do ustalenia. W miarę systematyczne obserwacje tych zjawisk obejmują otoczenie obiektów potencjalnie emitujących zanieczyszczenia gleb (głównie związki metali ciężkich), jak też znane składowiska odpadów niebezpiecznych. Szczególną pozycję w tym względzie odgrywają składowiska odpadów po środkach ochrony roślin (mogilniki), w przeszłości podstawowy sposób pozbywania się uciążliwych materiałów. Nagminna nieszczelność tych prymitywnych obiektów zabezpieczających (Skoczko 2013) stwarza poważny problem w ograniczaniu zasięgu oddziaływania toksycznych substancji. W najbliższej przyszłości powinny być one systematycznie unieszkodliwiane.

**Tabela 4. Statystyka koncentracji metali ciężkich w glebach Polski. Dane w mg/kg gleby**

Pierwiastek	Standard	Średnia		Mediana	Maksimum	Percentyl 97
		Arytmetyczna	Geometryczna			
As	20	<5	<5	5	3444	13
Cr	150	6	4	4	1873	17

Pierwiastek	Standard	Średnia		Mediana	Maksimum	Percentyl 97
		Arytmetyczna	Geometryczna			
Ba	200	48	32	32	1777	172
Zn	300	88	40	35	91110	340
Cd	4	0.8	<0.5	<0.5	253	3.3
Co	20	2.5	1.7	2	46	8
Cu	150	10	5	5	6401	31
Ni	100	6	4	4	146	22
Pb	100	35	16	13	16972	128
Hg	2	0.06	<0.05	<0.05	7.55	0.18

Źródło: Opracowano na podstawie interpretacji danych z atlasu (Atlas... 2012).

W powszechnej świadomości główne zagrożenia związane z zanieczyszczeniem gleb dotyczą otoczenia zakładów wydobywczych i przetwarzających rudy metali. Szczególną pozycję na tej liście odgrywają zakłady GOP (Szopienice), jednostki przetwórcze Kombinat Górnictwo-Hutniczego Miedzi (KGHM), jednostki związane z przetwarzaniem rud cynkowo-ołowiowych i szereg zakładów chemicznych (ZCh Alwernia, Puławy, ZGH Bolesław itp.).

Przyjmując podejście statystyczne najpoważniejszy problem, w zakresie zanieczyszczenia metalami ciężkimi, tworzy koncentracja Pb i Zn. Zgodnie z danymi zawartymi w atlasie Państwowego Instytutu Geologicznego (Atlas... 2012), 97 percentyl w rozkładzie obu tych pierwiastków jest wyższy niż standard dla terenów grupy B (tereny rolne, leśne, zabudowane i zurbanizowane za wyjątkiem przemysłowych). Oznacza to, że standardów nie spełnia ponad 3% obszaru gleb w kraju. Pozostałe zanieczyszczenia metalami ciężkimi mają znacznie mniejszy zasięg terytorialny; wszystkie te tereny leżą w otoczeniu obiektów przemysłowych (zakładów metalurgicznych, składowisk odpadów pogórnictwa itp.). Analizując poszczególne województwa (ponad 45 tys. punktów obserwacji; Famielec et al. 2007) stwierdzono, że najbardziej zanieczyszczonym jest województwo śląskie, gdzie udział obserwacji odpowiadających standardom wynosi od 90,19% (Pb), do 94,37% (Cd). Większość województw charakteryzuje 100% zgodność stanu czystości gleb ze standardami.

Rozporządzenie o standardach czystości ziemi (Rozporządzenie..., 2002) reguluje także koncentrację innych związków, w tym wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Normowane związki z tej grupy to: naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(a)piren, benzo(g,h,i)piren. Standard jest zdefiniowany jako suma zawartości tych dziewięciu związków:  $\sum 9 \text{ WWA} \leq 1000 \mu\text{g/kg}$ . Ta-

bela 5. zawiera podstawowe informacje o statystyce dokonanych obserwacji stanu czystości WWA w stosunku do gleb ornych.

**Tabela 5. Statystyki zawartości WWA w punktach monitoringu gleb ornych w Polsce**

Normowane związki: naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(a)piren, benzo(g,h,i)piren (Standard: $\sum 9 \text{ WWA} \leq 1000 \mu\text{g/kg}$ )	Parametr rozkładu
Liczba punktów monitoringu gleb:	216
Suma minimalna:	61 $\mu\text{g/kg}$
Suma maksymalna:	4095 $\mu\text{g/kg}$
Średnia suma:	408 $\mu\text{g/kg}$
Mediana sumy:	300 $\mu\text{g/kg}$
Liczba przekroczeń sumy:	14 (Dolnośląskie, Śląskie, Łódzkie, Opolskie, Małopolskie)

Źródło: Monitoring... 2008.

Zgodnie z wynikami monitoringu gleb ornych Polski (Monitoring..., 2008) prowadzonego w 216 punktach Polski, liczba przekroczeń dopuszczalnej wartości stężeń wynosiła 14. Według tego sprawozdania punkty z przekroczeniem koncentracji WWA w stosunku do standardów położone są na obszarze Dolnego i Górnego Śląska oraz, pojedynczo, w okolicach: Siedlec, Łodzi, Płocka i Szczecina.

Należy podkreślić, że przekroczenia standardów w zakresie czystości gleb mają charakter ściśle zlokalizowany, obejmujący otoczenie źródeł emisji (zakładów przetwórczych, osadników, szlaków transportu wewnętrznego). Daje to możliwość kontrolowania stanu zanieczyszczeń, wprowadzania stref ograniczonego użytkowania i, w dalszej perspektywie, remediacji.

Trzecią grupą zanieczyszczeń ujętą w standardach czystości ziemi są środki ochrony roślin (18 związków). Statystyki zanieczyszczeń gleb tym związkami są najmniej znane. Należy zauważyć, że obok bieżącego zużycia pestycydów część zanieczyszczeń pochodzi z okresu wcześniejszego, kiedy odpady i niezużyte związki lokowano w mogilnikach na terenie Polski. Według (Skoczko 2013) akcja likwidacji mogilników i unieszkodliwiania ich zawartości prowadzona od 2004 roku, do czerwca 2011 r. spowodowała usunięcie 90% mogilników (211 obiektów). Koszt operacji w tym czasie wynosił 175 mln złotych. Trwają prace nad likwidacją pozostałych 131 znanych mogilników (wiele z nich już zlikwidowano).

Niepokój powinien budzić widoczny postęp w ilości sprzedawanych w kraju środków ochrony roślin. Od 2000 roku zużycie tych chemikaliów wzrosło niemal trzykrotnie (Ochrona środowiska 2013), choć w dalszym ciągu zużycie tych chemikaliów w Polsce jest niższe niż w dużych i średnich krajach UE (Niemcy, Hiszpania, Francja, Włochy, Portugalia, Wielka Brytania).

**Tabela 6. Statystyka sprzedaży środków ochrony roślin w Polsce**

WYSZCZEGÓLNIENIE	2000	2005	2010	2011	2012
	w tonach				
<b>O G Ó Ł E M</b>	<b>22164</b>	41135	51613	<b>58736</b>	61805
Owadobójcze	2533	1917	2945	3320	4247
Grzybobójcze i zaprawy nasienne	4686	9915	12867	13557	14474
Chwastobójcze	13233	24455	30228	35948	38748
Regulatory wzrostu	.	2483	3014	3227	2842
Gryzoniobójcze	53	249	147	95	86
Pozostałe	1659	2116	2412	2589	1408
<b>W substancji aktywnej</b>	<b>8848</b>	16039	19449	<b>21779</b>	21886

Źródło: Ochrona środowiska, 2012.

Pomimo tego wzrostu Polska nadal należy do krajów o stosunkowo dużej czystości produktów spożywczych. Według badań EFSA (EFSA 2014) w Polsce wykryto przekroczenie poziomu MLR (Maximum Residue Level) w 0,9% zbędanych prób środków spożywczych (Słowacja 6,3%, Austria 3,6%, Szwecja 3,0%, Łotwa 0,0%, Włochy 0,2%, Grecja 4,9%). W perspektywie obserwowanego wzrostu sprzedaży pestycydów, można to uznać za dobry wynik. Należy jednak dbać o zwiększenie wiedzy rolników dotyczącej bezpieczeństwa stosowania pestycydów i potrzeby rozwoju udziału upraw ekologicznych.

Zasady przeciwdziałania zanieczyszczeniu gleb polegają na likwidacji problemu u źródeł, to znaczy unikaniu zanieczyszczenia. Świadomość społeczna, zwłaszcza w odniesieniu do zanieczyszczenia gleb metalami jest stosunkowo niska, ponieważ rzadko powoduje ono obserwowalne zmiany morfologiczne roślin, zaś znajomość procesów transformacji związków w glebach oraz jej wpływu na mikroorganizmy jest bardzo niewielka. Problemem jest także metodologia badania zanieczyszczeń: w przypadku WWA i pestycydów i innych substancji organicznych oznaczane są koncentracje związków. W przypadku metali, dominującego rodzaju zanieczyszczeń, posługujemy się całkowitymi zawartościami pierwiastków, bez wnikania w strukturę chemiczną związków. Utrudnia to, lub uniemożliwia sprecyzowanie rzeczywistych poziomów dopuszczalnych stężeń

(tzw. NOAEL). Od kilkunastu lat tworzone są bazy danych podające skalę niekorzystnego wpływu na komponenty środowiska związków pierwiastków.

Zanieczyszczenie gleb w Polsce, mimo ograniczonego zasięgu jest faktem. Jedynym sposobem na zmniejszenie zagrożenia jest remediacja gleb. Pojęcie remediacji, zaliczanej do jednej z technik rekultywacji, obejmuje bardzo obszerny zestaw metod fizycznego, biologicznego, chemicznego, biochemicznego lub będącego kombinacją tych metod sposobu oczyszczania gleb z niepożądanych substancji. Wobec zanieczyszczeń obszarowych preferowane powinny być metody prowadzące do zmniejszania rozpuszczalności związków tych substancji. Metody remediacji *ex situ* mogą być, z uwagi na koszty, zastosowane do zanieczyszczeń punktowych, względnie zanieczyszczenia odpadami o wysokim stopniu toksyczności. Wydaje się jednak, że przynajmniej obecnie problem remediacji ma charakter branżowy (związany na przykład z rodzajem działalności).

### 3. Podsumowanie

Przekształcenia gleb zmierzające w niekorzystnym kierunku, na ogół przebiegają w wolnym tempie, są tym samym trudne do zauważenia. Zwracają na to uwagę dokumenty Unii Europejskiej (Strategia... 2006), przestrzegając przed lekceważeniem skutków tych przekształceń, lub koncentracją uwagi tylko na spektakularnych jej aspektach.

Obserwowane zmiany klimatyczne kierują uwagę na najbardziej podstawową metodę ograniczania wzrostu koncentracji CO<sub>2</sub> w atmosferze poprzez wzrost jego sekwestracji przez rośliny i gleby. Nakazuje to umocnienie w hierarchii ważności celów gospodarowania przyrodniczego (rolniczego lub leśnego), pozycji działań zmierzających do utrzymania, a w miarę możliwości wzrostu, puli węgla zakumulowanego w glebach w formach organicznych. Możliwości w tym zakresie są ograniczone lecz spore: od rozważenia i zbilansowania zysków i strat związanych z odwodnieniem gruntów hydrogenicznych i semihydrogenicznych, poprzez poprawę agrotechniki i optymalizację nawożenia, zalesianie najsłabszych gleb, aż do nacisku na gospodarstwo leśne w celu hodowli drzewostanów wielogatunkowych i mitygowanie zaleceń dotyczących odnowienia zrębami zupełnymi. Nie bez znaczenia jest ciągły nacisk na możliwie szybką rekultywację nieużytków przemysłowych. Szczególnie górnictwo odkrywkowe ma tu spore osiągnięcia, które warto spożytkować w innych gałęziach przemysłu i energetyki. W świetle tendencji uniijnych prowadzących do maksymalnego ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> ta ścieżka takiego postępowania ma liczne walory praktyczne i ekonomiczne, ale też polityczne. Wydaje się przy tym, że problem w świadomości społecznej jest niedoceniany, zasłonięty przez dyskusje o sekwestracji CO<sub>2</sub> w zakładach przemysłowych i problemach jego składowania w górotworze.



Erozja gleb jest jednym z podstawowych i dobrze rozpoznanych problemów gospodarki gruntami. W krajach europejskich, i w Polsce, jej natężenie jest mniejsze niż na innych kontynentach, lecz wobec realnych strat, które przynosi powinna być zwalczana przez racjonalne gospodarowanie. Polskim problemem w tym zakresie jest fakt zagrożenia obszarów gleb o najkorzystniejszych cechach produkcyjnych (lessy i utwory lessopodobne). Poważną przeszkodą jest niekorzystny zazwyczaj układ przestrzenny działek gruntowych, nie pozwalający na zastosowanie elementarnych metod zapobiegania erozji: unikaniu uprawy wzdłuż spadków stoków. Wobec zachowania tradycyjnej struktury przestrzennej, będącej wynikiem wielokrotnych cykli dziedziczenia, utrudniona jest racjonalizacja tego układu, wprowadzenie zadrzewień śródpolnych, ukierunkowanie upraw lub optymalizacja użytkowania. Ograniczenie erozji ma dodatkowy walor, związany z ochroną rezerwy powodziowej w zbiornikach retencyjnych, zamulanych unoszonym z pól materiałem.

Osuwanie i spełzywanie gruntu jest zagadnieniem z zakresu geoinżynierii, lecz w anglosaskim podejściu do problematyki glebowej mieści się w zakresie gleboznawstwa. Zjawiska tego typu powodują przemieszczanie się mas gruntów, przy czym najważniejsze straty z tego tytułu są związane z uszkodzeniami budowli oraz obiektów infrastruktury. Utrata stabilności podłoża, na przykład po długotrwałych opadach, następuje często pod wpływem osłabienia stabilności zboczy poprzez wykonanie wykopów, rozcięcia warstw geologicznych i ułatwienie wnikania wód sprzyjające poślizgowi warstw. Ze względu na wielkość mas gruntowych zabezpieczenie potencjalnych osuwisk jest bardzo problematyczne. Główna uwaga powinna być poświęcona identyfikacji rejonów osuwiskowych w celu racjonalizacji decyzji budowlanych. Problem jest dostrzegany zarówno na szczeblu Unii jak i krajowym. Projekt o nazwie SOPO, realizowany przez karpacki oddział PIG, pozwolił na kontynuację prac podjętych jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku i udokumentowania, przynajmniej co do położenia, ponad 60 tys. rejonów osuwiskowych na terenie Polski. Znakomita ich większość leży w obszarze fliszowym Karpat. Tutaj też miały miejsce największe katastrofy związane z osuwiskami. Zabezpieczeniu przed błędnymi decyzjami lokalizacyjnymi nie sprzyja brak planów zagospodarowania przestrzennego większości gmin w Polsce (około 27% gmin posiada plany).

Industrializacja i postęp techniczny jest przyczyną zanieczyszczenia gleb. Jest to fakt ważny w świadomości społecznej, choć nie zawsze dostatecznie uświadomiony. Kilkadziesiąt pierwiastków i związków normowanych w charakterze standardów czystości gleb jest na ogół dobrze zidentyfikowanych na terenie Polski. Dokumentacja PIG oraz monitoring gleb wskazuje, że gleby, szczególnie w rejonach dobrze rozwiniętego rolnictwa, są na dominującym obszarze czyste. Obszary przekroczeń standardów są dobrze rozpoznane i związane z dużymi zakładami przemysłowymi, składowiskami odpadów, zakładami ener-

getycznymi. Obserwuje się także zanieczyszczenie gleb, głównie na terenach przemysłowych, substancjami organicznymi (WWA). Wobec dobrze znanej lokalizacji tych rejonów może być zaplanowana ich remediacja.

Niekorzystną okolicznością jest trend wzrostowy zużycia środków ochrony roślin. W dalszym ciągu pozostajemy pod tym względem w tyle za krajami zachodniej Europy, lecz wzrost sprzedaży jest bardzo szybki. Dane EFSA potwierdzają niski poziom pozostałości pestycydów w polskich produktach spożywczych (0,9% prób), lecz jest to i tak więcej niż na przykład we Włoszech (0,2%), gdzie zużycie pestycydów jest znacznie większe.

Zasklepianie (separacja) gleb jest jednym z bardziej niepokojących zjawisk zagrażających bezpieczeństwu żywnościowemu krajów Unii. Co prawda stopień urbanizacji terenów innych krajów (Benelux, Niemcy, Wielka Brytania, Malta) jest znacznie wyższy, ale też udział Polski w przeznaczaniu gruntów pod zabudowę jest znacznie większy niż w innych krajach. Dzienny ubytek ziemi rzędu 40 ha, jest bardzo wysokim wskaźnikiem. Dokumenty unijne wskazują na szereg możliwości osłabienia tego trendu. Niekorzystnym zjawiskiem jest znaczne rozproszenie zabudowy, wpływające na zwiększenie powierzchni na infrastrukturę.

Podsumowując i odnosząc się do sposobów przeciwdziałania niekorzystnym tendencjom, można wskazać na wiele możliwości działań o charakterze przedsięwzięć z zakresu techniki, agrotechniki, organizacji. Trudno jest się jednak oprzeć wrażeniu, że wiele z tych problemów może przybierać znacznie łagodniejsze formy przy przemyślanym planowaniu przestrzennym. Samowola, brak ograniczeń w lokalizacji inwestycji, bezplanowość w organizacji przestrzeni wielu miejscowości, jest istotnym czynnikiem niesprzyjającym walce z ubytkiem SOC, erozją, oddziaływaniem ruchów masowych, a nawet remediacji gruntów. Studia przestrzenne, wycena prawdziwej, ekologicznej wartości skutków podejmowanych decyzji powinny być podstawowym narzędziem polityki środowiskowej.

### **Bibliografia**

- Atlas geochemiczny Polski* (2012). (Anna Pasieczna, red.) Skala: 1:2 500 000 (zmieniona i uzupełniona wersja internetowa publikacji z 1995 r.). Autorzy: Lis J., Pasieczna A., Mojski J.E., Przeniosło S., Sylwestrzak H., Strzelecki R., Wołkiewicz S. Opracowanie map: Anna Pasieczna, Wojciech Markowski, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce, wg stanu na 31 XII 2013* (2014). Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- EFSA (2014). *The 2011 European Union Report on Pesticide Residues in Food*. EFSA Journal 12(5):3694.
- Famielec J., Górka K., Stuczyński T., Wołkiewicz S. (2007). *Oszacowanie kosztów wynikających z wdrażania w Polsce wymagań zawartych w projekcie*

- dyrektywy parlamentu europejskiego i rady ustanawiającej ramy dla ochrony gleb oraz zmieniającej dyrektywę 2004/35/WE*, Puławy-Warszawa-Kraków.
- Günther A., Van Den Eeckhaut M., Malet J.-P., Reichenbach P., Hervás J. (2014). in press. *Climate-physiographically differentiated Pan-European landslide susceptibility assessment using spatial multi-criteria evaluation and transnational landslide information*. Geomorphology, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.07.01
- Jones C., McConnell C., Coleman K., Cox P., Falloon P., Jenkinson D., Powlson D. (2005). *Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil*. Global Change Biology, 11, 154-166.
- Józefaciuk Cz., Józefaciuk A. (1992). *Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski*. Pam. Puł., 101 (supl.): 23-50.
- Jurczuk S. (2012). Emisja dwutlenku węgla ze zmeliorowanych gleb organicznych w Polsce Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie (VII-IX): t. 12 z. 3 (39) ISSN 1642-8145, s. 63-76.
- Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A, Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J. and Huting, J. (2004). *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The ESERA Map*, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005-2007* (2008). Autorzy opracowania: Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch C., Puławy.
- Ochrona środowiska 2013* (2013). Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Panagos P., Van Liedekerke M., Yigini Y., Montanarella L. (2013). *Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network* Hindawi Publishing Corporation Journal of Environmental and Public Health, Volume 2013, Article ID 158764, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/158764>
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. (2014). *Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS*, Science of Total Environment, 479-480 (2014), pp. 189-200.

- Raport o stanie lasów w Polsce 2012* (2013). Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
- Rączkowski W. (2007). *Zagrożenia osuwiskowe w polskich Karpatach*. Referat na konferencji Geozagrożenia – V Międzynarodowe Targi Geologiczne, Warszawa 30 maja 2007.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9. września 2002 w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.* (2002). Dz. U. 02.165.1359 z dnia 4.10.2002 r.
- Skoczko I. (2013). *Degradacja pestycydów wybranymi metodami*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, vol. 109, Lublin.
- Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby* (2006). Komunikat komisji do rady, parlamentu europejskiego, europejskiego komitetu ekonomiczno-społecznego oraz komitetu regionów, KOM(2006)231 wersja ostateczna, Bruksela.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K. (2004). *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/2, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Van Rompaey, A.J.J., Vieillefont, V., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Verstraeten, G, Bazzoffi P., Dostal, T, Krasa, J, de Vente, J., Poesen, J. (2003). *Validation of soil erosion estimates at European scale*. European Soil Bureau Research Report No.13, EUR 20827 EN, (2003), 26pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Wójcik J. (2013). *Możliwości zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych w warunkach zmian klimatycznych. Gromadzenie węgla w glebie, ochrona materii organicznej* Panel Ekspertów „KLIMAT”, LASY I DREWNO A ZMIANY KLIMATYCZNE: ZAGROŻENIA I SZANSE, Instytut Badawczy Leśnictwa, czerwiec 2013.