

Yuri Chigarev, Jan B. Dawidowski, Rafał Nowowiejski
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Szczecinie

OPRACOWANIE MODELU AGROEKOSYSTEMU Z UWZGLĘDNIENIEM OŻYWIONYCH I NIEOŻYWIONYCH SKŁADNIKÓW GLEBY

Streszczenie

Artykuł przedstawia opis matematyczny określania energii dżdżownic z uwzględnieniem energii urządzeń techniki rolniczej oddziałujących na glebę. W wyniku otrzymano wzory łączące siły przemieszczania się dżdżownicy z właściwościami gleby oraz siłami oddziałującymi na glebę.

Słowa kluczowe: dżdżownica, energia, gleba, praca, agroekosystem, degradacja gleby

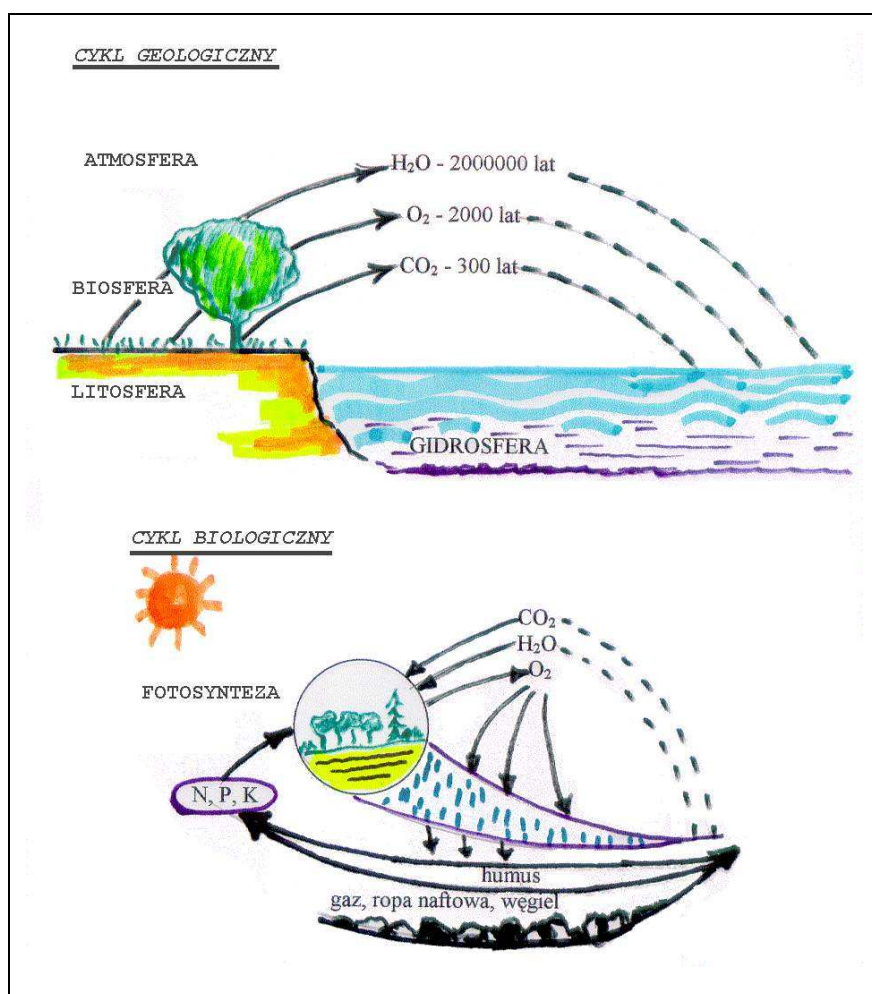
Wstęp i cel badań

Jednym z aspektów związanym ze światowym kryzysem ekologicznym jest możliwość utraty równowagi istniejącego stanu biosfery. Zagroza ona zmianami klimatu i innymi negatywnymi zjawiskami, które mogą zagrozić życiu na ziemi. Stan biosfery zależy od przemian materii, które mają określone cykle [Ryżowa 1995]. Istnieją dwa cykle - biologiczny i geologiczny (rys. 1). Oba te cykle mają wpływ na biosferę i odwrotnie. Wiadomo, że gleby są jednym z najważniejszych zasobników węgla w biosferze. Dlatego powstaje konieczność opracowania modelu prognozowania zmiany zasobów węgla w glebie w rezultacie działań gospodarczych. Ekologiczny kryzys biosfery jest procesem wielościennym, którego ścianami może być zanieczyszczenie środowiska otaczającego, niekontrolowany wyrąb lasu, zanieczyszczenie zbiorników wodnych, niekontrolowane funkcjonowanie fabryk i zakładów przemysłowych, ochrona gleb, itd. Bardzo duże znaczenie w przyrodzie ma gleba. Wzrastają w niej rośliny stanowiące źródło pokarmu dla ludzi i zwierząt. Z niej rośliny pobierają wodę i sole mineralne, a także oddychają powietrzem zawartym w glebie.

Gleba to „duży dom”, w którym żyje wielu mieszkańców. Badacze obliczyli, że na jeden kilometr kwadratowy w górnej warstwie gleby o miąższości 20 cm przypada prawie kilogram organizmów żywych. Niespokojni mieszkańcy gleby znajdują się w ciągłym ruchu, spulchniają glebę, przenoszą resztki roślin. Spożywając rośliny, zwierzęta dostarczają do gleby liczne substancje odżywcze. W taki sposób gleba łączy dwa „ŚWIATY” przyrody – ożywiony i nieożywiony. Gleba, podobnie jak i inne obiekty przyrodnicze, wymaga ochrony

oraz właściwego użytkowania. Gleba tworzy się ona bardzo powoli. Powstanie warstwy o grubości 1 cm zajmuje aż 100 lat. Dlatego nie wolno doprowadzać do degradacji gleb.

Zastosowanie we współczesnym rolnictwie ciągników i maszyn o coraz większych mocach i masach powoduje zwiększanie obciążenia przypadającego na elementy układu jezdno stykające się z glebą – najczęściej koła. Skutkiem tego jest zagrożenie gleby jej degradacją. Zjawisko to związane jest nie tylko ze współczesną techniką rolniczą, ale i ze współczesnymi technologiami i kulturą rolnictwa. Rodzi ono wiele wzajemnie powiązanych skutków negatywnych - powodujących procesy erozji gleb. Rezultatem erozji gleb może być zwiększone zużycie energii – 30%, zwiększone zużycie nawozów mineralnych – 30÷40%, zwiększone zużycie techniki rolniczej, wyczerpanie zasobów wodnych itd.



Rys. 1. Cykle geologiczny i biologiczny przemiany materii

Fig. 1. Geological and biological cycles of matter transformation

Rezultatem degradacji gleb może być utrata równowagi agroekosystemu, tj. mogą być naruszone powiązania z cyklem biologicznym – mamy wtedy do czynienia z lokalnym

kryzysem ekologicznym. Rośnie areał gleb, które nie mogą być wykorzystywane w rolnictwie. Agroekosystem przechodzi wtedy w inny stan równowagi - gorszy od poprzedniego i związany ze zmianą mikrobiocenozy, zoocenozy i fitocenozy. Może on za swojego istnienia przejść przez kilka stanów fizycznych i przekształcać się w pustynię, jeżeli nie zostaną podjęte środki ochrony gleb. Ogólne pogorszenie stanu równowagi układów ekologii rolniczej obejmuje znaczne regiony na całym świecie. Rozszerzanie się lokalnych kryzysów ekologicznych może mieć znaczący wpływ na zachowanie się biosfery, co doprowadzić może do globalnej katastrofy ekologicznej.

Można zastanawiać się, dlaczego tak się dzieje. O ile nie można zbudować samolotu lub statku nie korzystając ze znajomości praw i zasad aerostatyki i dynamiki oraz hydrostatyki i dynamiki, to rozwój techniki rolniczej był możliwy bez korzystania z praw i zasad mechaniki gleby. Należy powiedzieć, że na razie nie istnieją ostatecznie rozpoznane prawa i zasady mechaniki gleby, które mogłyby być pomocne w rozwiązaniu tego problemu. Trzeba je tworzyć na podstawie rozważań teoretycznych i badań doświadczalnych.

Dlatego powstaje kilka pytań, jak tenże problem rozwiązać. Przede wszystkim to opracowanie matematycznych modeli gleby i agroekosystemu w zależności od właściwości obu układów – ożywionego i nieożywionego, określenie dopuszczalnego nacisku na glebę ze strony urządzeń techniki rolniczej, który by nie doprowadził do erozji gleb i zmiany stanu równowagi agroekosystemu, opracowanie nowej techniki rolniczej wraz z technologiami uprawy gleby itd.

W niniejszej pracy dokonaliśmy próby zbudowania modelu równowagi agroekosystemu.

Rozpatrzmy glebę jako system otwarty, który zawiera dwa podsystemy – ożywiony i nieożywiony. Należy zaznaczyć, że równowaga obu podsystemów podlega różnym zasadom i dlatego bardzo trudno zbudować zasadę równowagi agroekosystemu. Stabilność równowagi nieożywionego podsystemu określa się poprzez minimum energii potencjalnej oraz maksymalną wartość entropii cząstek gleby. Stabilność równowagi ożywionego podsystemu określa się jako minimum entropii oraz maksymalną wartość energii [Chigarev 1995].

Agrofizyczny stan gleby określany jest wieloma parametrami odnoszącymi się do podsystemów ożywionego oraz nieożywionego. Ważnym czynnikiem w życiu gleby, a więc parametrem biologicznym, są dżdżownice. Żyją one i rozmnażają się w ograniczonej przestrzeni pola. Stworzenia te mogą ginąć skutkiem warunków wywołanych sztucznie, np. przy przemieszczaniu cząstek gleby spowodowanym naciskami wywieranymi na glebę ze strony urządzeń technicznych. Uważa się, że zmniejszenie liczby dżdżownic ma negatywny wpływ na odbudowanie struktury gleby i zwiększanie jej urodzajności. Struktura gleby i jej

gęstość zależy od liczby przejazdów po polu maszyny czy pojazdu rolniczego oraz od jego masy, tj. od ilości energii doprowadzanej do gleby w trakcie pracy urządzeń techniki rolniczej w polu. Powstaje więc zadanie określenia dopuszczalnej ilości energii doprowadzanej do gleby przez urządzenia techniki rolniczej, a nie powodującej strat wśród dżdżownic i zachowującej zoocenozę i stabilny stan agroekosystemu.

Warunki i metody badań

Niech $x(t)$ będzie ilością energii posiadanej przez dżdżownice danego pola, A - energią jednostkową w populacji dżdżownic powstałych w ilości czasu, B - energią zależną od wpływu nacisku na glebę ze strony techniki rolniczej, rezultatem której giną dżdżownice. Możemy wtedy napisać, że

$$\frac{dx}{dt} = A - B \quad (1)$$

W zależności od postaci współczynników A i B równanie (1) będzie miało różne rozwiązania. Szczególne przypadki rozwiązań są zawarte w [Chigarev i Nowowiejski 2003]. Rozpatrzmy mechanikę poruszania się dżdżownic. Będziemy uważać, że w wolnym stanie długość dżdżownicy jest równa l_0 , a jej średnica w przekroju poprzecznym jest d_0 . Niech przy rozciąganiu się dżdżownicy jej długość zwiększa się o Δl , a średnica zmniejsza się o Δd . Określmy parametry bezwymiarowym stosunkiem $\Delta l/l_0$ - nazywanym wydłużeniem względnym i stosunkiem $\Delta d/d_0$ - nazywanym przewężeniem względnym.

Oznaczmy

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{i} \quad \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (2)$$

Stosunek $\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_l} = \nu$ będziemy nazywać wskaźnikiem względnego odkształcenia dżdżownicy przy rozciąganiu w pewnym kierunku. Przebieg wydłużenia dżdżownicy związany jest z jej energią wewnętrzną, którą można określić jako pracę konieczną do przemieszczenia pewnej masy na odległość Δl pod działaniem siły F .

Zależność F od Δl może być prostoliniowa i praca W będzie równa polu trójkąta OAB (rys. 2)

$$W = \frac{1}{2} F \Delta l \quad (3).$$

Można przyjąć, że praca dżdżownicy konieczna jest do przemieszczenia cząsteczki gleby. Dla jej przesunięcia siłą F możemy napisać wzór

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (4)$$

gdzie: $\tau = \frac{F}{s}$; $\sigma = \frac{P}{s}$;

s - pole kontaktu ze ścianą przejścia,

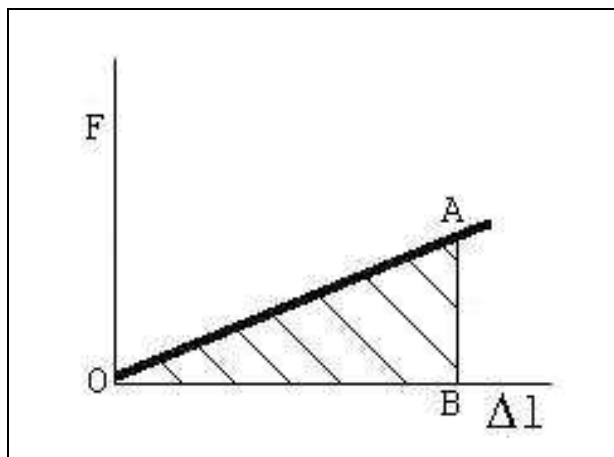
c i $\operatorname{tg} \phi$ - parametry właściwości gleby,

σ – naprężenie normalne działające na cząstkę gleby ze strony innych cząstek, które są pod obciążeniem od maszyn rolniczych (siła \bar{G}).

Według wzoru Boussinesqa mamy (rys. 3)

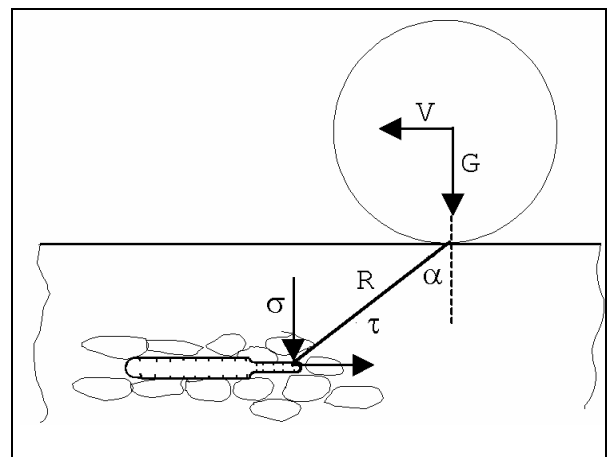
$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{G \cos^2 \alpha}{\pi R} \quad (5)$$

gdzie: R – odległość od punktu przyłożenia obciążenia do danej cząstki gleby.



Rys. 2. Zależność siły wywieranej przez dżdżownicę od jej wydłużenia

Fig. 2. Dependence of the force exerted by earthworm on its lengthening



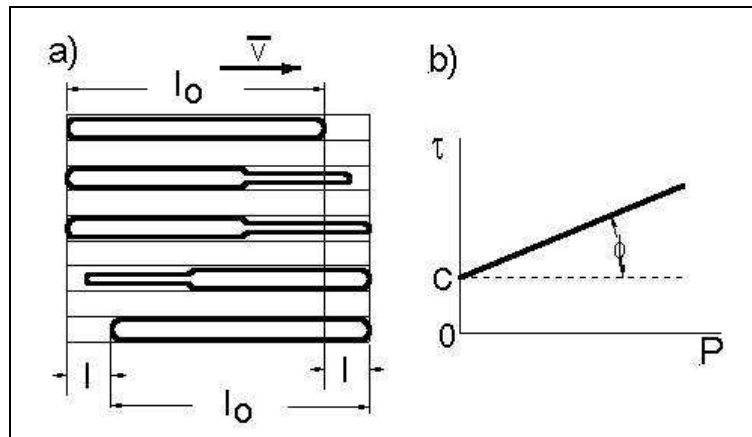
Rys. 3. Obciążenie wywierane przez koło pojazdu rolniczego

Fig. 3. Load exerted by the wheel of an agricultural vehicle

Możemy wtedy otrzymać wzór określający naprężenie styczne τ w zależności od właściwości gleby - $\operatorname{tg} \phi$ (współczynnika tarcia) i c (współczynnika kohezji)

$$\tau = c + \frac{3}{2} \frac{G \cos^2 \alpha}{\pi R^2} \operatorname{tg} \phi \quad (6)$$

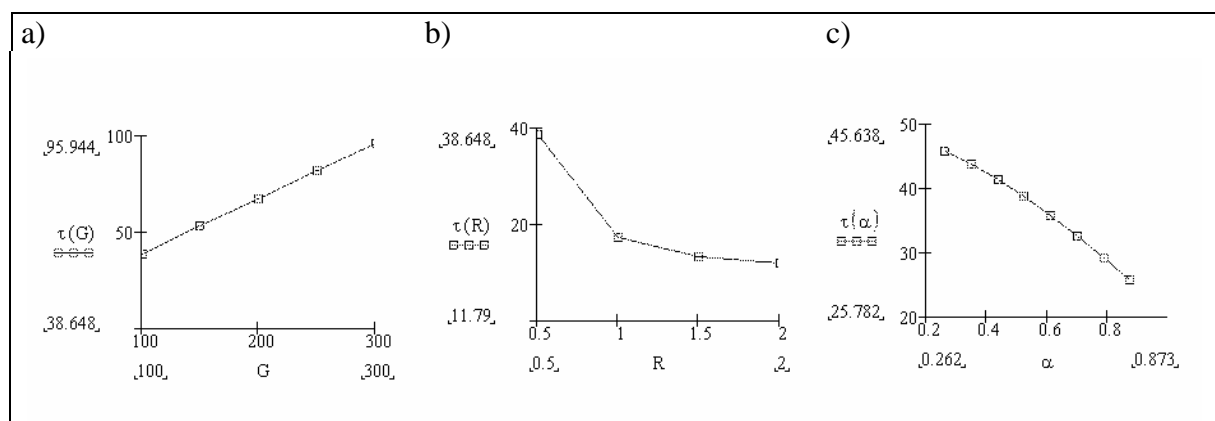
Schemat przemieszczenia dżdżownicy oraz zależność pomiędzy parametrami występującymi we wzorze (6) przedstawione są rysunku 4.



Rys. 4. a) – schemat przemieszczania się dżdżownicy; b)- zależność między naprężeniem a siłą

Fig. 4. a)- pattern of shifting to earthworm; b)- relation between tension and strength

Na rysunku 5 pokazano zależności naprężenia stycznego τ , koniecznego do przemieszczenia cząstki gleby przez dżdżownicę, od obciążenia gleby pojazdami rolniczymi, odległości R od punktu przyłożenia siły G do danej cząstki gleby, kąta α i współczynnika tarcia gleby $tg \phi$.



Rys. 5. Wykresy zależności naprężenia stycznego τ od parametrów:

a) obciążenia G ; b) promienia R ; c) kąta α

Fig. 5. Diagrams of dependence of tangential stress τ on parameters:

a) load G ; b) radius R ; c) angle α

Wnioski

1. Z rysunku 5a) wynika, że wraz ze zwiększeniem obciążenia na glebę wzrasta energia dżdżownic konieczna do ich przemieszczenia.

2. Z rysunku 5b) wynika, że wraz ze wzrostem odległości dżdżownicy od punktu przyłożenia siły nacisku na glebę G , maleje konieczna energia dżdżownic. Znaczący wpływ odległości obserwuje się w zakresie długości promienia do $1m$.
3. Z rysunku 5c) wynika, że istnieje wpływ kąta α na wymaganą energię dżdżownic. Czym większe odchylenie promienia R od linii działania siły G tym mniej energii potrzebuje dżdżownica do jej przemieszczania.
4. Wzór (6) daje możliwość obliczenia siły $F = \tau \cdot s$ wywieranej przez dżdżownicę na glebę, gdy znane są parametry właściwości gleby oraz wartość siły wywieranej na glebę przez maszyny i urządzenia techniki rolniczej.

Bibliografia

- Ryżowa I. 1995. *Analiza odgłosa ekosystemu na zmianu parametrów cykła węgla za pomocą modelowania matematycznego*. Gleboznawstwo, 1995, N1, s.50-55
- Chigarev Y. *Ruch termodynamiczny w badaniach krytycznych poziomów agroekosystemu*. Wiadomości Akademii Nauk Białorusi. 1995, N3 s.94-96
- Chigarev Y., Nowowiejski R. 2003 *Opracowanie modelu równowagi stanu agroekosystemu z zastosowaniem równań Waltera*. Inżynieria Rolnicza, 2003, 9(51), s.199-205

ELABORATING MODEL OF AGRO-ECOSYSTEM CONSIDERING THE LIVELY AND INANIMATE SOIL COMPONENTS

Summary

The paper presents a mathematical description defining earthworms' energy considering energy of the agricultural implements operating in soil. As result, equations connecting moving forces of earthworms with soil properties and forces exerted upon soil were described.

Key words: earth worm, energy, soil, work, agroecosystem, soil degradation