

OCENA WPŁYWU PRZEJAZDÓW CIĘŻKICH MASZYN ROLNICZYCH NA ZAGĘSZCZENIE GLEBY PRZY UŻYCIU MODELU SOCOMO*

Artur Nosalewicz

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.nosalewicz@ipan.lublin.pl

Streszczenie. Celem pracy była ocena wpływu przejazdów ciężkich maszyn rolniczych na zagęszczenie gleby z wykorzystaniem modelu SOCOMO. Określono wielkość obszarów gleby podlegających odkształceniom plastycznym i naprężenia powstające w profilu gleby pod wpływem przejazdów kołami wyposażonymi w opony niskociśnieniowe GoodYear 73x44.00-32, w szerokim zakresie ciśnień w oponie. Zwiększenie obciążenia koła z 3 do 5 Mg powodowało znaczny wzrost głębokości, na której zachodzą odkształcenia gleby przy jednoczesnym pięciokrotnym wzroście powierzchni gleby ulegającej odkształceniom.

Słowa kluczowe: zagęszczenie gleby, SOCOMO, naprężenia w glebie

WSTĘP

Postęp techniczny w rolnictwie pociąga za sobą wzrost liczby przejazdów maszyn rolniczych po polach a także wzrost obciążeń tych pojazdów. O ile zagęszczona górna warstwa gleby, do głębokości około 30cm podlega zabiegom spulchniania, to gleba poniżej podlega stopniowej degradacji w wyniku kumulacji zagęszczenia. Stosowane powszechnie zabiegi spulchniające powodują rozluźnienie górnej warstwy gleby, natomiast energochłonne zabiegi głębokiego spulchniania, są rzadko stosowane. Stan głębszych warstw zagęszczonej gleby po zastosowaniu mechanicznego rozluźniania cechuje się nadal niekorzystnymi właściwościami w porównaniu do stanu sprzed zagęszczenia [4].

Pomiary czterech typów opon obciążonych tym samym ładunkiem [1] wykazały, że wysokie ciśnienie opon znacząco zwiększa głębokość śladu, opór penetracji gleby w śladzie i naprężenia w glebie. Opony przystosowane do niskich

* Praca częściowo finansowana z projektu badawczego KBN nr 3 P06R 001 23.

ciśnien mogą w znacznie mniejszym stopniu powodować zagęszczenie gleby pod warunkiem stosowania obniżonego ciśnienia (opony te zwykle mogą pracować w szerokim zakresie ciśnień). Obniżenie ciśnienia w oponach ma także dodatkowy pozytywny skutek – redukcję wibracji [9].

Efekty przejazdów maszyn rolniczych zależą od początkowego stanu (wilgotności, zagęszczenia początkowego) i typu gleby, rodzaju maszyn rolniczych (nacisku na oś, stosowanych opon), częstotliwości przejazdów i wielu innych. Możliwymi sposobami uniknięcia zwiększającego się zagęszczenia warstwy ornej i podornej gleby jest zredukowanie do niezbędnego minimum przejazdów maszynami rolniczymi, zwłaszcza w okresach, gdy gleba jest wilgotna i podatna na zagęszczenie. W tych warunkach nacisk jednostkowy gleby można ograniczyć poprzez stosowanie specjalnych opon niskociśnieniowych lub zwykłych o obniżonym ciśnieniu. Ponadto zastąpienie opony zestawem dwu mniejszych opon również powoduje istotne obniżenie nacisku jednostkowego maszyn rolniczych [10].

Obciążenie koła, ilość przejazdów, wilgotność gleby, kształt powierzchni kontaktu gleby z oponą i ciśnienie opon są czynnikami mającymi istotny wpływ na zagęszczenie gleby [2,3,5]. Ograniczenie naprężeń wywołanych przejazdami maszyn rolniczych do wartości niższych od naprężeń granicznych gleby zmniejszy prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zmian struktury gleby [6]. Użycie modeli zagęszczenia gleby może być pomocne w dostosowaniu praktyk rolniczych do eliminowania zagrożeń degradacją gleby.

Obecnie występuje na rynku europejskim kilka modeli kombajnów do zbioru buraków cukrowych mających dopuszczalne obciążenie kół przekraczające 10 Mg [8], przy całkowitej masie dochodzącej do 60 Mg. Obciążenia tej wielkości mogą powodować znaczne zagęszczenie głębokich warstw gleby.

MATERIAŁY I METODY

Ocenę skutków przejazdów maszyn rolniczych przeprowadzono z wykorzystaniem modelu SOCOMO (SOil COmpaction MOdel) [10,11]. Weryfikowany doświadczalnie, pomiarami polowymi i laboratoryjnymi model SOCOMO dzięki względnie niewielkiej ilości wymaganych danych wejściowych może być łatwo użyty do stosunkowo dokładnego przewidywania efektów przejazdów oponami maszyn rolniczych. Model bazując na teorii Boussinesq'a opisuje rozkład naprężeń w jednorodnym, izotropowym ośrodku wywołany siłą wynikającą z przyłożenia masy do powierzchni tego ośrodka. Założenie jednorodności i izotropowości ośrodka umożliwiło ograniczenie wymagań co do ilości wymaganych danych wejściowych modelu [10].

Wymaganymi danymi wejściowymi są: początkowy rozkład gęstości gleby, kohezja i współczynnik tarcia wewnętrznego gleby, naprężenia graniczne, oraz dane opony: wymiary, prędkość przejazdu, ciśnienie opony. Istnieje możliwość wyboru kształtu rozkładu naprężeń pod oponą, który to rozkład ma istotny wpływ na wartości naprężeń w glebie [7].

Oponą wykorzystaną w obliczeniach była opona niskociśnieniowa Good Year 73x44.00-32. Wybór opony został podyktowany bardzo szerokim zakresem ciśnień: 70-280 kPa, przy których może być stosowana oraz tym, że zaprojektowana została do najcięższych maszyn rolniczych. Jej dopuszczalne obciążenie wynosi 13,23 Mg, przy ciśnieniu w oponie równym 280 kPa. Podstawowe wymiary opony to szerokość całkowita: 109,7 cm i średnica: 186,4 cm.

Tabela. 1. Właściwości gleby

Table. 1. Soil properties

Głębokość Depth (cm)	0-24	28	32	36	40	44	48	52	56-60
Kohezja Cohesion (kPa)	5,8	4,0	14,3	19,1	21,9	21,9	21,9	22,7	29,1
Kąt tarcia wewnętrznego Angle of internal friction (deg)	25	30	30	30	30	30	30	30	30
Gęstość Bulk density(Mg·m ⁻³)	1,35	1,35	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55

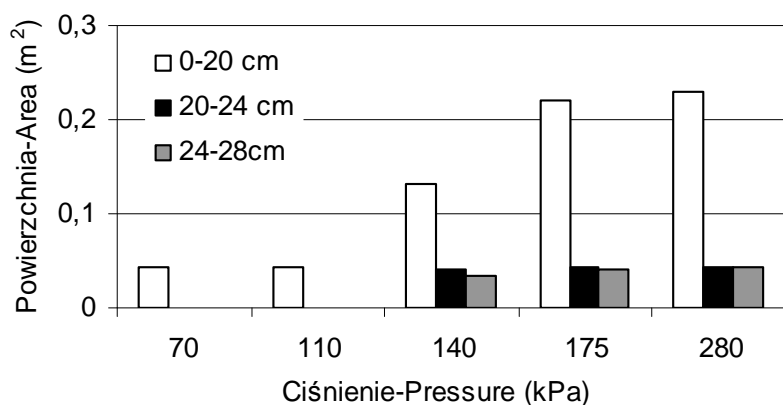
Właściwości gleby (tab.1, naprężenia graniczne gleby przedstawione na rys. 4) użyte w modelowaniu są zaczerpnięte z pracy [8] i odpowiadają glebie gliniastej po zbiorze ziemniaków.

WYNIKI I DYSKUSJA

Symulacji poddano przejazdy oponą obciążoną ciężarem 3 i 5 Mg (rys. 1-3), dla różnych ciśnień w ogumieniu, oraz maksymalnym, dopuszczalnym ładunkiem dla ciśnień 180 i 280 kPa.

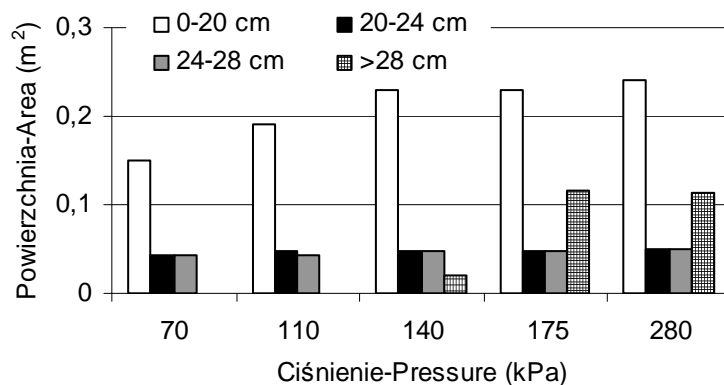
Wzrost powierzchni gleby ulegającej odkształceniu plastycznemu ze wzrostem ciśnienia w ogumieniu pod kołem obciążonym ładunkiem 3 Mg przedstawiony jest na rysunku 1. Zagęszczenie w warstwach poniżej 20 cm występuje dopiero przy ciśnieniach od 140 kPa, którego przekroczenie powoduje znaczny wzrost powierzchni odkształcenia w warstwie 0-20 cm. Odkształcenie to występuje na obszarze o szerokości większej niż wynosi szerokość opony.

Pola powierzchni odkształceń dla obciążenia 5 Mg prezentowane są na rysunku 2. Dla tej wartości obciążenia już przy najniższym dopuszczalnym ciśnieniu w ogumieniu 70 kPa zagęszczeniu ulega gleba do głębokości 28 cm, dla ciśnień od 140 kPa zagęszczeniu ulega gleba na głębokościach do 32 cm.



Rys. 1. Powierzchnia odkształcenia plastycznego po przejeździe kołem obciążonym 3 Mg z oponą GoodYear 73x44.00-32, w określonych przedziałach głębokości

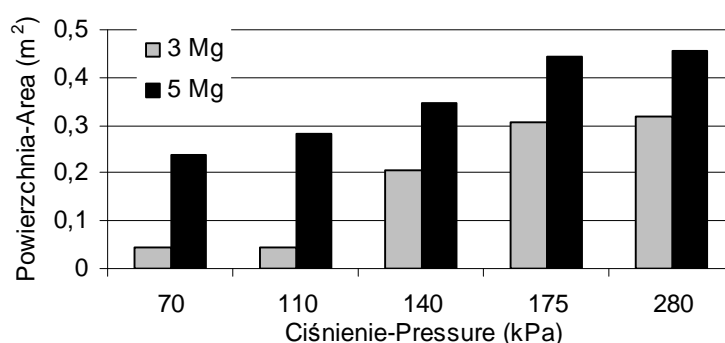
Fig. 1. Area with plastic deformation after passing a GoodYear 73x44.00-32 tyre loaded with 3 Mg, for given ranges of depths



Rys. 2. Powierzchnie odkształcenia plastycznego po przejeździe kołem obciążonym 5 Mg z oponą GoodYear 73x44.00-32, w określonych przedziałach głębokości

Fig. 2. Area with plastic deformation after passing a GoodYear 73x44.00-32 tyre loaded with 5 Mg, for given ranges of depths

Zwiększanie obciążenia, przy ustalonych ciśnieniach w ogumieniu, powoduje, że odkształcenia plastyczne zachodzą w coraz głębszych warstwach gleby. Na przykład przy ciśnieniu równym 175 kPa wzrost obciążenia koła z 3 Mg do 5 Mg powodował wzrost głębokości, na której zachodzą odkształcenia plastyczne z 28 do 44 cm. Powierzchnia gleby ulegająca odkształceniu plastycznemu w przekroju poprzecznym pod kołem (prostopadle do kierunku przejazdu) wzrasta przy zmianie obciążenia z 3 Mg do 5 Mg, odpowiednio z 0,30 do 0,44 m² dla ciśnienia 175 kPa (rys. 3).



Rys. 3. Całkowita powierzchnia przekroju poprzecznego gleby pod oponą GoodYear 73x44.00-32 podlegająca odkształceniu plastycznemu dla podanych zakresów ciśnień w ogumieniu

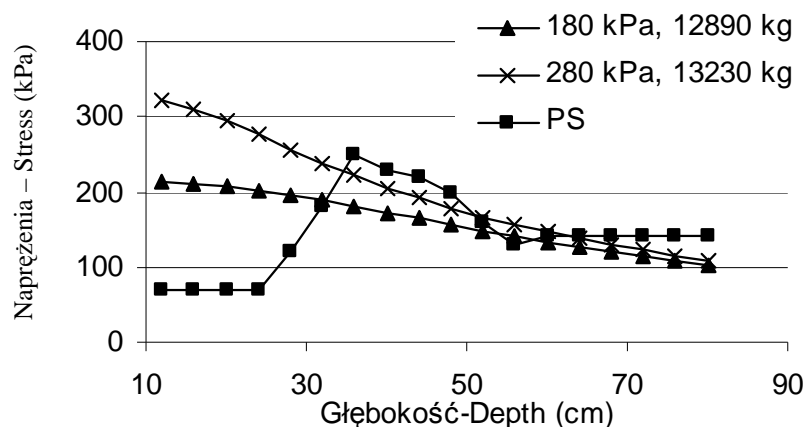
Fig. 3. Total area where soil plastic deformation occurred after passing the GoodYear tyre 73x44.00-32, for given pressure ranges

Wraz ze wzrostem ciśnień w oponie od 70 do 280 kPa, całkowita powierzchnia gleby ulegająca odkształceniu plastycznemu pod kołem, wzrastała z 0,04 do 0,32 m² przy obciążeniu koła 3 Mg oraz z 0,24 do 0,53 m² przy obciążeniu 5 Mg.

Rozkład naprężeń wywołany przejazdem opony obciążonej maksymalnymi, dopuszczalnymi obciążeniami, 12,89 i 13,23 Mg dla ciśnień w oponie odpowiednio 180 i 280 kPa, przedstawiono na rysunku 4. Dla obu ciśnień naprężenia w glebie przekroczyły naprężenia graniczne w warstwach 0-32 i 52-58 cm, oraz od 0-34 i 50-64 cm, odpowiednio dla 180 i 280 kPa.

Podobne badania modelowe przeprowadzone metodą elementów skończonych (Finite Element Method) [8], dla tej samej opony dały naprężenia o tej samej wartości dla głębokości 37,5 cm, wyższe dla głębokości 0-37,5 cm, niższe dla głębokości poniżej 37,5 cm (dla 180 kPa ciśnienia w oponie i 12,89 Mg obciążenia). Dla ciśnienia 280 kPa i 13,23 Mg obciążenia, identyczne naprężenia obliczone metoda FEM i modelem SOCOMO stwierdzono dla głębokości 44 cm, podobnie jak dla ciśnienia 180 kPa w glebie powyżej tej głębokości naprężenia uzyskane

metoda FEM były wyższe, poniżej 44 cm niższe. Różnice te wyniosły 13 i 38% dla ciśnienia 180 kPa i obciążenia 12,89 Mg, oraz 16 i 23,75% dla 280 kPa i 13,23 Mg, odpowiednio dla głębokości 22,5 cm i 57,5 cm (zakres głębokości, w którym dokonano obliczeń metodą FEM).



Rys. 4. Napężenia graniczne gleby i napężenia w glebie dla różnych ciśnień w oponie GoodYear 73x44.00-32. PS – napężenia graniczne w glebie

Fig. 4. Comparison of stresses within the soil for different inflation pressures and loads under GoodYear 73x44.00-32 tyre, PS – precompression stress

WNIOSKI

1. Zwiększenie nacisku wywieranego na powierzchnie kontaktu opony i gleby powoduje, że trwałe odkształcenia gleby pojawiają się w coraz głębszych warstwach gleby. Wzrost obciążenia koła z 3 Mg do 5 Mg powodował ponad 5-krotny wzrost obszaru podlegającego odkształceniom, w tym w warstwach gleby poniżej 24 cm ten wzrost może być ponad 3-krotny, zależnie od ciśnienia w ogumieniu. Różnice między obszarami ulegającymi zagęszczeniu w wyniku zwiększenia nacisku zmniejszają się ze wzrostem ciśnienia w oponie, ale zagęszczeniu ulegają głębsze warstwy gleby.

2. Model SOCOMO umożliwia stosunkowo łatwą ocenę wpływu parametrów opon maszyn rolniczych i początkowego stanu gleby na zagęszczenie gleby, może dostarczyć wielu pomocnych informacji dotyczących propagacji zagęszczenia w glebie. Znajomość tych procesów pozwoli na opracowanie metod ograniczenia degradacji gleby w wyniku jej zagęszczenia.

PIŚMIENNICTWO

1. **Ardvidsson J., Ristic S.:** Soil stress and compaction effect for four tractor tyres. *Journal of Terramechanics*, 33 (5) 223-232, 1996.
2. **Dawidowski, J.B., Morrison, J.E., Snieg, M.:** Measurement of soil layer strength with plate sinkage and uniaxial confined methods. *Transactions of ASAE* 44, 1059-1064, 2001.
3. **Emmanuel C. Canillas, Vilas M. Salokhe:** Modeling compaction in agricultural soils. *Journal of Terramechanics*, 39, 71-84, 2002.
4. **Hakanson I.:** Swedish experiment on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research*, 29, 105-110, 1994.
5. **Hakansson I., Medvedev V. M.:** Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stress caused by heavy vehicles. *Soil & Tillage Research*, 35, 85-97, 1995.
6. **Keller T., Arvidsson J., Dawidowski J.B., Koolen A.J.:** Soil precompression stress II. A comparison of different compaction tests and stress-displacement behaviour of the soil during wheeling. *Soil & Tillage Research*, 77, 97-108, 2004.
7. **Nowowiejski R., Dawidowski J. B., KostECKI P.:** Wpływ modeli odwzorowania powierzchni styku koło-gleba i rozkładu obciążenia na wartość naprężenia w glebie. *Inżynieria Rolnicza*, 13 (33), 323-329, 2001.
8. **Poodt M.P., Koolen A.J., Van der Linden J.P.:** FEM analysis of subsoil reaction on heavy wheel loads with emphasis on soil preconsolidation stress and cohesion. *Soil & Tillage Research*, 73, 67-76, 2003.
9. **Raper R. L., Bailey A. C., Burt E. C., Way T. R., Liberati P.:** The effects of reduced inflation pressure on soil-tire interface stresses and soil strength. *Journal of Terramechanics*, 32 (1), 43-51, 1995.
10. **Van den Akker J. J. H.:** SOCOMO a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. *Soil & Tillage Research*, 79 113-127, 2004.
11. **Van den Akker J. J. H., W. B. M. Arts, A. J. Koolen, H. J. Stuiver:** Comparison of stresses, compactions and increase of penetration resistance caused by low ground pressure and normal tyre. *Soil & Tillage Research*, 29, 125-134, 1994.

EFFECT OF HEAVY AGRICULTURAL MACHINERY PASSES
ON SOIL COMPACTION*Artur Nosalewicz*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.nosalewicz@ipan.lublin.pl

Abstract. The aim of the paper was to determine the effect of heavy agricultural machinery passes on soil compaction by computation with the SOCOMO model. Wide range of inflation pressures and loads were analysed. Impact of tyre load and wide range of inflation pressure on soil stresses, and area of soil plastic deformation were determined using Goodyear tyre 73x44.00-32. Increase of tyre load from 3 to 5 Mg caused increase of depth where plastic deformation occurs. Plastic deformation area was five times bigger at 5 than at 3 Mg load.

Key words: soil compaction, SOCOMO, soil stress