

SOIL DISLOCATION WITHIN THE RUT ZONE FORMED BY THE AGRICULTURAL TRACTOR WHEELS

Summary

The results of measurements of dislocations of the light loam caused out with passage of agricultural tractor were presented in the article. In order to identify the position co-ordinates of chosen soil points, before as well as after the tractor's passage, the spherical marking gauges were applied. On the basis of measurements it was stated that the dislocations of soil were considerably dependent on the depth of formed rut. Their largest values had a place in upper layer under lying directly under wheels.

PRZEMIESZCZENIA GLEBY W STREFIE KOLEINY FORMOWANEJ PRZEZ KOŁA CIĄGNIKA ROLNICZEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono rezultaty pomiarów przemieszczeń gliny lekkiej wywołanych przejazdem ciągnika rolniczego. Do identyfikacji współrzędnych położenia wybranych punktów gleby, przed przejazdem ciągnika oraz po jego przejeździe, zastosowano kuliste znaczniki. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że przemieszczenia gleby były znacznie uzależnione od głębokości formowanej koleiny. Ich największe wartości wystąpiły w warstwie przypowierzchniowej położonej bezpośrednio pod przetaczającymi się kołami.

1. Wstęp

Występowanie przemieszczeń i odkształceń gleby jest procesem zależnym od wartości obciążenia zewnętrznego oraz od wytrzymałości gleby. W glebie o dużej wytrzymałości znaczne naprężenia wywołują jedynie małe odkształcenia, podczas gdy w glebie o małej wytrzymałości niewielkie naprężenia mogą wywołać duże zmiany objętości. Badania wykazały, że masa pojazdów rolniczych, a więc i obciążenie kół ma największy wpływ na zmianę fizycznych właściwości gleby [2]. Przy jednakowym stanie gleby i jednakowym ciśnieniu w ogumieniu, wraz ze wzrostem obciążenia koła zwiększa się głębokość warstwy gleby ulegającej procesowi zagęszczania. Jednocześnie zwiększa się głębokość wytworzonej koleiny [3, 7, 12]. Gleba wilgotna jest na ogół bardziej wrażliwa na przejazd niż gleba sucha, a ponadto podczas przejazdów ulega częściowemu przemieszczeniu na zewnątrz koleiny [11]. Występujące w strefie koleiny zmiany gęstości objętościowej gleby są ściśle związane z jej przemieszczeniami. Zmiany te mają ograniczony zasięg i maleją wraz ze wzrostem głębokości położenia pobieranych

do analizy prób gleby [4]. Na zmiany wartości gęstości objętościowej duży wpływ wywiera także pozioma odległość badanej strefy gleby od pionowej osi koleiny [9]. Do określania przemieszczeń gleby w warunkach polowych stosowane są różnorodne metody pomiarowe [1, 5, 6, 8, 10]. Brak jest jednak w literaturze informacji dotyczących przemieszczeń gleby w całej strefie oddziaływania kół pojazdów rolniczych. Z tego względu przeprowadzono badania, których celem była kompleksowa identyfikacja końcowych przemieszczeń gleby wywołanych przejazdem ciągnika rolniczego.

2. Materiały i metody

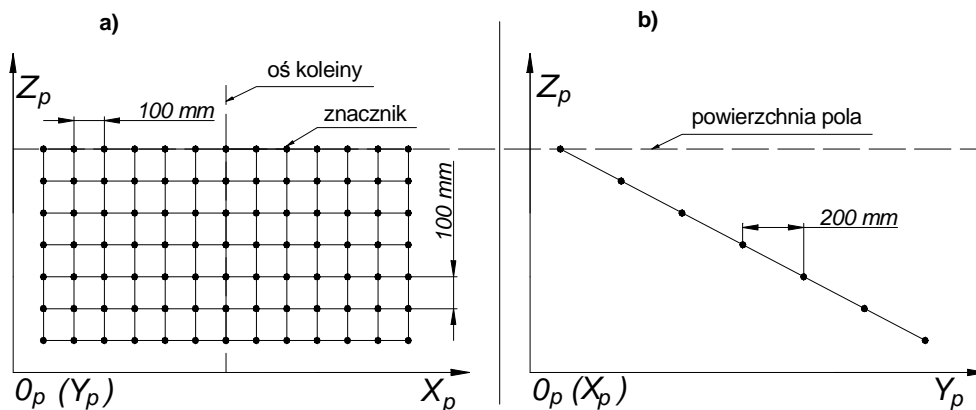
Badania przeprowadzono na Równinie Pyrzycko-Stargardzkiej, na polu należącym do Zespołu Szkół Kształcenia Ustawicznego w Pyrzycach. Na podstawie składu granulometrycznego glebę sklasyfikowano jako glinę lekką. Zmienną niezależną był stan gleby charakteryzowany poprzez rodzaj i głębokość uprawy roli, długość okresu odleżenia gleby, wilgotność i gęstość objętościową (tab.).

Tab. Wybrane dane dotyczące stanu gleby
Table. Chosen data concerning the state of soil

Symbol stanu gleby	Rodzaj uprawy gleby	Głębokość uprawy	Uptyw czasu od zakończenia uprawy gleby	Wilgotność gleby w warstwie ornej	Gęstość objętościowa gleby w warstwie ornej	Wilgotność gleby w warstwie podornej	Gęstość objętościowa gleby w warstwie podornej
		cm	dni	%	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	%w	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
A	agregat uprawowy *	16	62	23	1,59	22	1,63
B	orka i doprawianie **	25	56	20	1,52	21	1,62
C	agregat uprawowy *	16	17	16	1,41	18	1,62
D	agregat uprawowy *	16	3	21	1,38	19	1,58
E	orka i doprawianie **	25	14	16	1,31	18	1,59

F	orka i doprawianie **	25	1	19	1,22	20	1,63
---	-----------------------	----	---	----	------	----	------

* - po orce zimowej, wiosną U332, tj. brona aktywna z belką kruszącą i wałem zębatym, ** - pług U105, brona U316



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia znaczników w glebie: a – rzut na płaszczyznę $X_p O_p Z_p$, b – rzut na płaszczyznę $Y_p O_p Z_p$
 Fig. 2. The schema of the location of the gauges in soil: a - the projection on the surface $X_p O_p Z_p$, b - the projection on the surface $Y_p O_p Z_p$

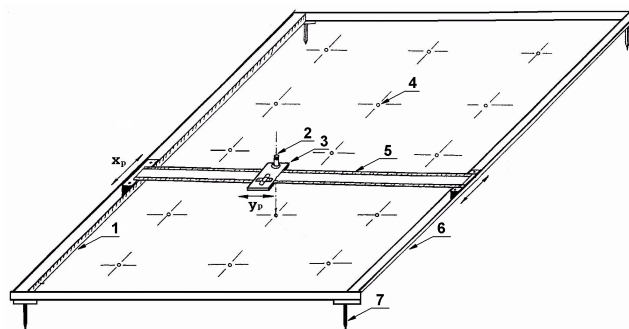
Objektami badań były koleiny formowane podczas przejazdów ciągnika. Do wytwarzania kolein wykorzystano ciągnik Zetor 9540, posiadający napęd na dwie osie. Rozstaw kół przednich i tylnych był jednakowy i wynosił 1570 mm. Ciągnik miał masę eksploatacyjną wynoszącą 4360 kg, z czego na oś przednią przypadało 1900 kg, zaś na oś tylną – 2460 kg. Na przednich kołach ciągnik miał ogumienie 12,4-24 TZ19 8PR, o średniej wysokości występów bieżnika 35 mm i ciśnieniu 0,12 MPa. Koła tylne były wyposażone w opony 16,9/14-38 8PR, w których występy bieżnika miały średnią wysokość 45 mm. Ciśnienie w ogumieniu kół tylnych wynosiło 0,1 MPa. Ciągnik poruszał się po polu z prędkością około $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Badania przemieszczeń gleby przeprowadzono metodą pośrednią, przy zastosowaniu stalowych, kulistych znaczników o średnicy 10 mm. Podstawę badań stanowiło założenie, że podczas formowania kolein kołami ciągnika, znaczniki przemieszczają się wraz z otaczającą je glebą. Wielkość przekroju koleiny, podlegającą badaniom przemieszczeń, przyjęto na podstawie prób wstępnych. Stwierdzono, że w odległości 500-600 mm od punktu przecięcia pionowej osi koleiny z powierzchnią gleby przemieszczenia gleby są statystycznie nieistotne. Odległości pomiędzy sąsiednimi znacznikami wynosiły 100mm. Schemat rozmieszczenia znaczników podano na rys. 1. Pomiary położenia znaczników, przed przejazdem ciągnika i po jego przejeździe, wykonywano względem prostokątnego układu współrzędnych $X_p Y_p Z_p$, którego oś $O_p Y_p$ była równoległa do wzdłużnej osi zaplanowanej koleiny, oś $O_p X_p$ była równoległa do powierzchni gleby i prostopadła do wzdłużnej osi zaplanowanej koleiny, zaś oś $O_p Z_p$ była prostopadła do powierzchni pola. Punkt przecięcia osi układu współrzędnych $X_p Y_p Z_p$ był zawsze położony około 700 mm poniżej powierzchni gleby i, patrząc w kierunku ruchu ciągnika, znajdował się z lewej strony, w odległości około 700 mm od pionowej osi koleiny. Znaczniki rozmieszczane najbliżej płaszczyzny $X_p O_p Z_p$ miały współrzędne $y_{p1} \sim 100 \text{ mm}$.

Przyjęcie na potrzeby pomiarów układu współrzędnych o podanej charakterystyce było podyktowane potrzebą eliminacji kłopotliwego zerowania wskazań przyrządów pomiarowych względem położenia planowanej osi koleiny oraz względem powierzchni gleby. Ponadto wartości odczytywanych współrzędnych były zawsze dodatnie, co

przyczyniło się do ograniczenia przypadkowych błędów oznaczania położenia znaczników. Ilość niezbędnych powtórzeń pomiarów każdorazowo szacowano na podstawie próby wstępnej.

Przyrząd do pomiaru poziomych współrzędnych (x_p, y_p) położenia znaczników składał się ze sztywnej ramy z rozłącznymi kotwami, z poprzeczki przesuwnej oraz suwaka, na którym zainstalowano laser diodowy. Poprzez odpowiednią zmianę położenia poprzeczki przesuwnej oraz suwaka emitowany prostopadle, względem powierzchni pola, promień lasera mógł być skierowany na dowolny punkt znajdujący się poniżej ramy. Do oznaczania współrzędnych oświetlonego punktu znacznika służyły umieszczone na ramie oraz na suwliwej poprzeczce liniały z naniesioną podziałką milimetrową (rys. 2).

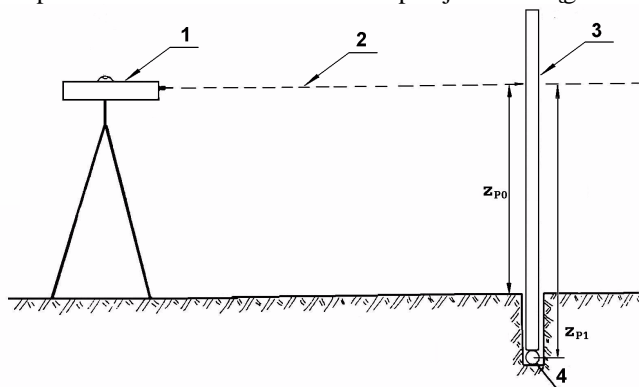


Rys. 2. Przyrząd do pomiaru poziomych współrzędnych znaczników: 1 – liniał z podziałką, 2 – laser diodowy, 3 – suwak, 4 – znacznik, 5 – poprzeczka przesuwna z podziałką, 6 – rama, 7 – kotwa

Fig. 2. The instrument to measurement of horizontal coordinates of the gauges: 1 - ruler with scale, 2 - diode laser, 3 - zip, 4 - gauge, 5 - sliding cross - beam with scale, 6 - frame, 7 - anchor

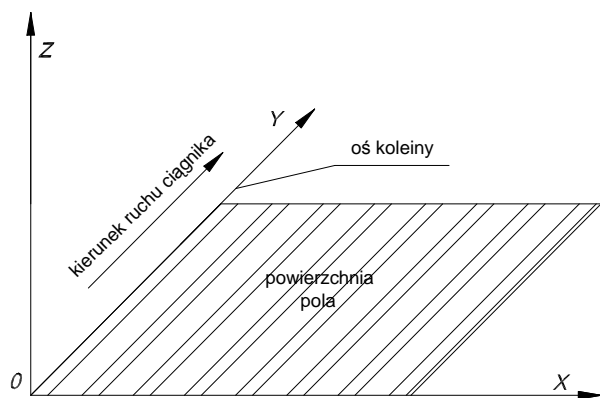
Zasadę pomiaru pionowych współrzędnych znacznika i powierzchni pola przedstawiono na rys. 3. Oprzyrządowanie składało się z niwelatora laserowego oraz z łąty z naniesioną podziałką milimetrową. Przed przystąpieniem do pomiarów niwelator poziomowano. Pomiar polegał na ustawieniu łąty pomiarowej na znaczniku, wycelowaniu promienia emitowanego przez niwelator na podziałkę łąty i odczytaniu wartości (z_{p1}).

Taka sama procedura obowiązywała przy pomiarze współrzędnej położenia powierzchni pola (z_{p0}) położonej bezpośrednio nad znacznikiem. Po przejeździe ciągnika i



Rys. 3. Przyrząd do pomiaru pionowych współrzędnych znaczników: 1 – niwelator laserowy, 2 – promień emitowany przez niwelator, 3 – łąta z podziałką milimetrową, 4 – znacznik

Fig. 3. The instrument to measurement of vertical coordinates of gauges: 1 - laser leveler, 2 - ray emitted by leveler, 3 - patch with millimeter scale, 4 - gauge



Rys. 4. Położenie przestrzennego układu współrzędnych prostokątnych XYZ względem powierzchni pola, wzdłużnej osi koleiny i kierunku ruchu ciągnika

Fig. 4. The position of the spatial system of the rectangular co-ordinates XYZ in relation to the field surface, the lengthwise rut axis and the direction of tractor movement

Po ustaleniu i wyznaczeniu osi planowanej koleiny rozstawiano przyrządy służące do pomiaru współrzędnych, a następnie rozmieszczano znaczniki w glebie. Punkty wprowadzania znaczników do gleby wyznaczano za pomocą matrycy z otworami, którą umieszczano na powierzchni pola w taki sposób, by oś symetrii środkowego otworu w rzędzie pokrywała się z zaplanowaną osią koleiny. W każdy z otworów wprowadzano łątę przyrządu do pomiaru współrzędnych pionowych i mierzono współrzędną z_{p0} powierzchni pola. Pomiaru te posłużyły do ustalenia wymaganych współrzędnych z_{p1} umieszczenia znaczników w glebie. Następnie w każdy z otworów wkładano świder, którym wykrawano w glebie pionowe kanały o głębokości zgodnej z zaplanowanym rozmieszczeniem znaczników.

Po wprowadzeniu znaczników do kanałów mierzono współrzędne ich środka $P_{p1}(x_{p1}, y_{p1}, z_{p1})$ w stosunku do przyjętego prostokątnego układu współrzędnych $X_p Y_p Z_p$, po czym kanał zasypywano drobnym piaskiem o uziarnieniu $0 \div 1$ mm. Następnie glebę obciążano ciągnikiem, którego tor

usunięciu gleby, przykrywającej znacznik, przeprowadzano ponowny pomiar pionowej współrzędnej znacznika (z_{p2}).

przejazdu był dokładnie wytyczany. Ciągnik był prowadzony przez doświadczonego kierowcę, tak aby wzdłużna oś powstającej koleiny pokrywała się z zaplanowaną osią jej symetrii. Po przejeździe ciągnika, precyzyjnie usuwając glebę, odsłaniano górną część czaszy znaczników, a następnie po raz drugi wykonywano pomiary współrzędnych położenia ich środka $P_{p2}(x_{p2}, y_{p2}, z_{p2})$.

Aby uzyskać możliwość porównania wszystkich uzyskanych wyników pomiarów, układ pomiarowy $X_p Y_p Z_p$ poddano translacji do układu współrzędnych prostokątnych XYZ (rys. 4), a następnie na podstawie wyników pomiarów współrzędnych znaczników przed przejazdem ciągnika i po jego przejeździe obliczono wartości przemieszczeń. Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach, na których wszystkie współrzędne są wyrażone w milimetrach.

3. Wyniki i dyskusja

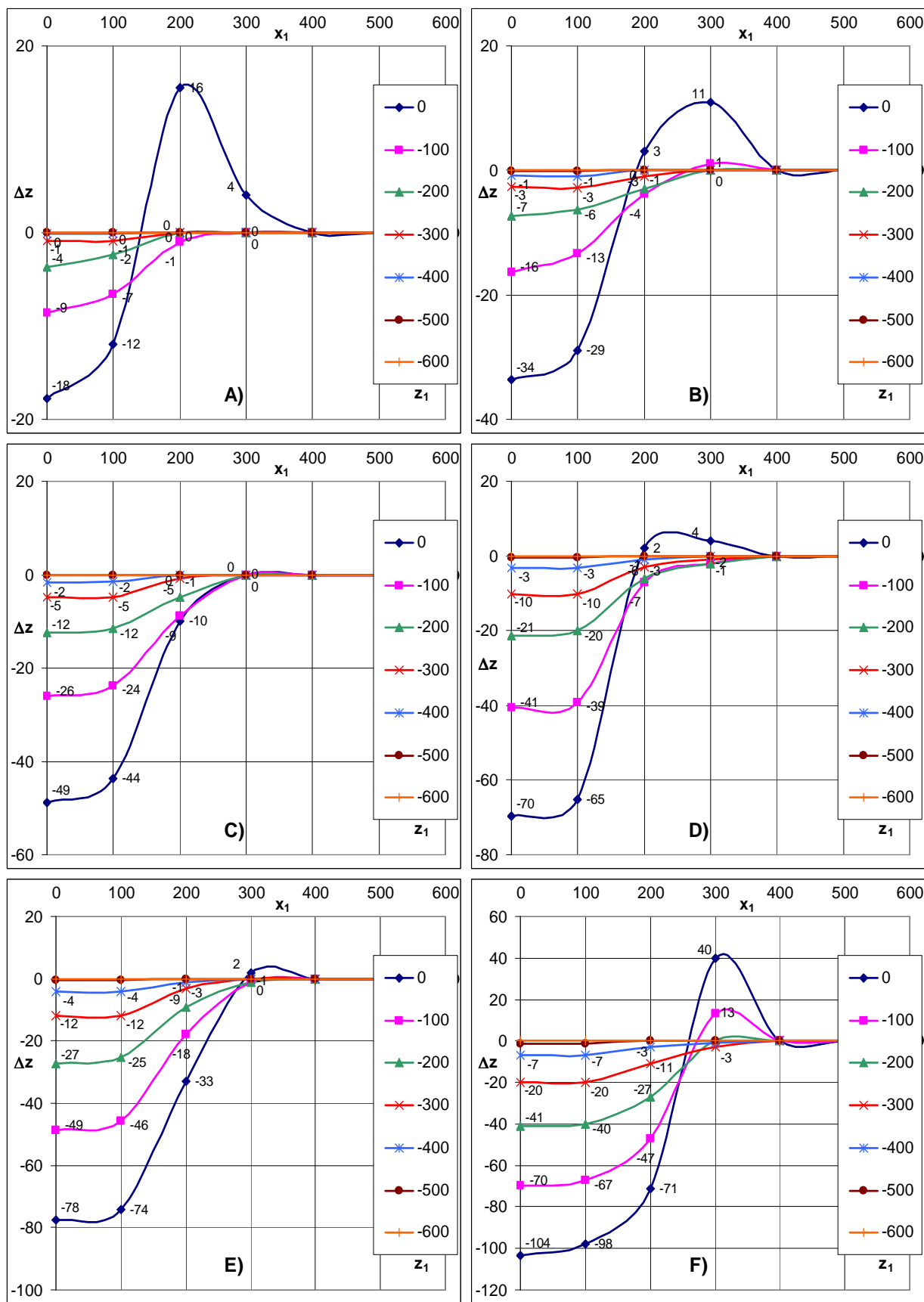
Na podstawie współrzędnych położenia znaczników, zmierzonych przed przejazdem ciągnika i po jego przejeździe, obliczano wartości składowych wektora $\overline{P_1 P_2} = [\Delta x, \Delta y, \Delta z]$ przemieszczenia gleby. Wszystkie obliczone wartości przemieszczeń są wartościami średnimi, oszacowanymi na podstawie kolejnych powtórzeń. Stwierdzono, że składowe $\Delta y, \Delta z$ wektora przemieszczenia gleby, dla każdego z dwóch znaczników symetrycznie rozmieszczonych względem pionowej osi koleiny, mają podobne wartości, a składowe Δx mają podobne wartości i przeciwne zwroty (znaki). Dlatego przedstawiono jedynie wyniki dotyczące znaczników, o początkowym położeniu $P_1(x_1, y_1, z_1)$, dla których wartość współrzędnej $x_1 \geq 0$.

Na rys. 5 przedstawiono przemieszczenia pionowe Δz w zależności od wartości współrzędnych początkowego położenia znaczników (x_1, z_1). Pionowe przemieszczenia znaczników znajdujących się przed przejazdem ciągnika jednocześnie na powierzchni pola oraz na wzdłużnej osi koleiny pozwalają na ocenę głębokości uformowanej koleiny. Stwierdzono, że:

- przemieszczenia pionowe mają wartości zarówno ujemne, jak i dodatnie, co oznacza, że występują przemieszczenia gleby zarówno w dół, jak i w górę;
- przemieszczenia o wartościach dodatnich, czyli o zwrotach skierowanych do góry, występują jedynie w warstwie przypowierzchniowej ($z_1 = (-100) \div 0$ mm), znajdującej się w pobliżu bocznej powierzchni ogumienia, tj. w odległości 200 i 300 mm od pionowej osi koleiny;
- największe przemieszczenia o wartościach dodatnich występują na powierzchni gleby;
- znaczną wartość (13 mm) dodatnich przemieszczeń gleby, znajdującej się przed przejazdem ciągnika na głębokości 100 mm, zidentyfikowano jedynie na obiekcie F, dla którego głębokość koleiny wynosiła 104 mm;
- największe przemieszczenia o zwrotach ujemnych (tj. skierowane w głąb gleby) występują na powierzchni w osi koleiny;
- przemieszczenia skierowane w głąb gleby wraz ze wzrostem głębokości i odległości od osi koleiny stają się coraz mniejsze;
- zasięg i wartości przemieszczeń skierowanych w głąb gleby są tym większe, im większa jest głębokość koleiny. Na

obiekcie A (głębokość koleiny 18 mm) przemieszczenia te zidentyfikowano na głębokości do 300 mm i w odległości do 200 mm od osi koleiny, natomiast na obiekcie F (głębokość koleiny 104 mm) analogiczne wartości wynoszą

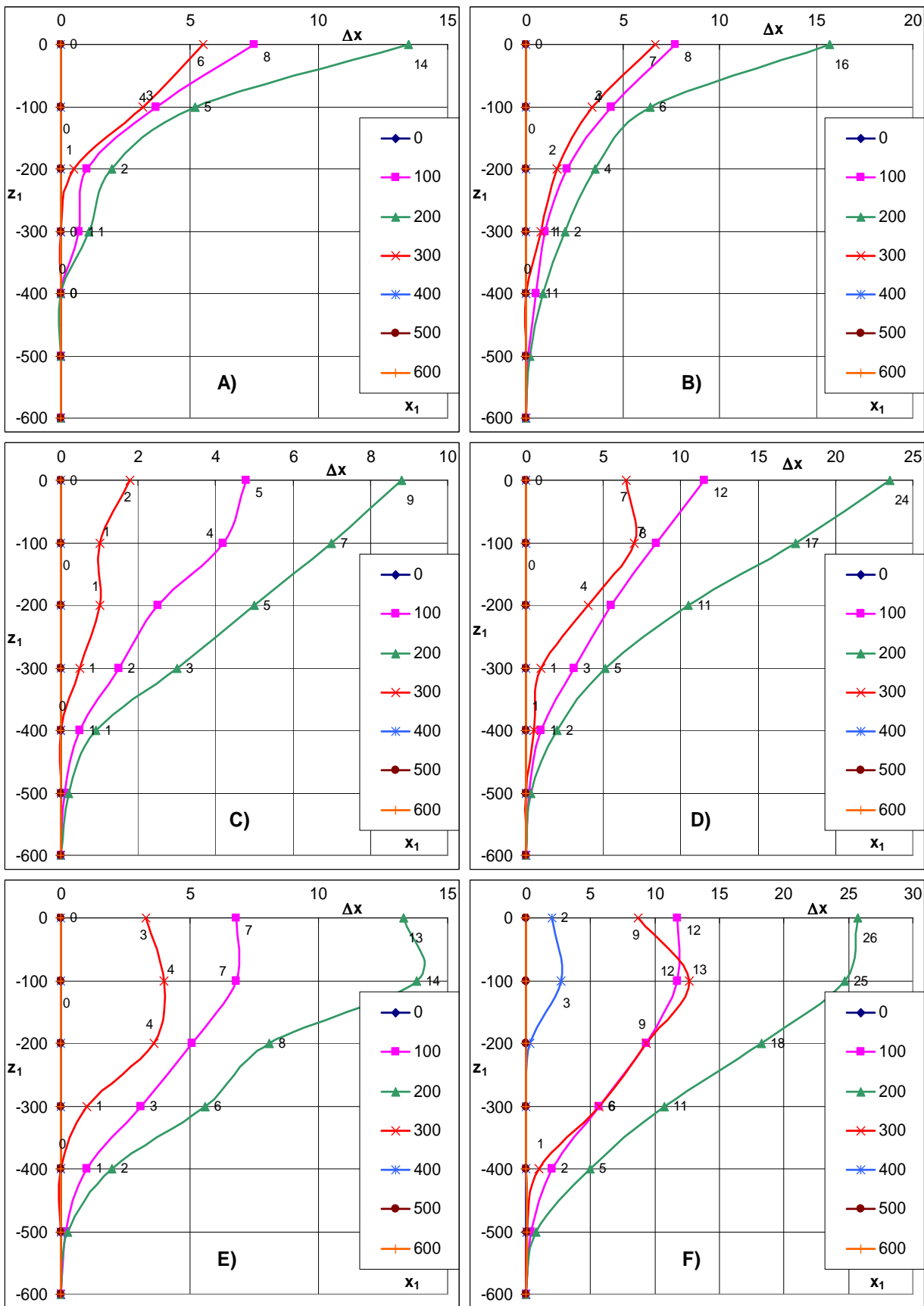
500 i 300 mm; na wszystkich obiektach maksymalne wartości przemieszczeń skierowanych do góry są mniejsze od maksymalnych przemieszczeń skierowanych w głąb gleby.



Rys. 5. Zależność składowej Δz wektora $\overrightarrow{P_1P_2}$ przemieszczenia gleby w koleinach A-F od współrzędnych początkowego

położenia znaczników $P_1(x_1, y_1=0, z_1)$

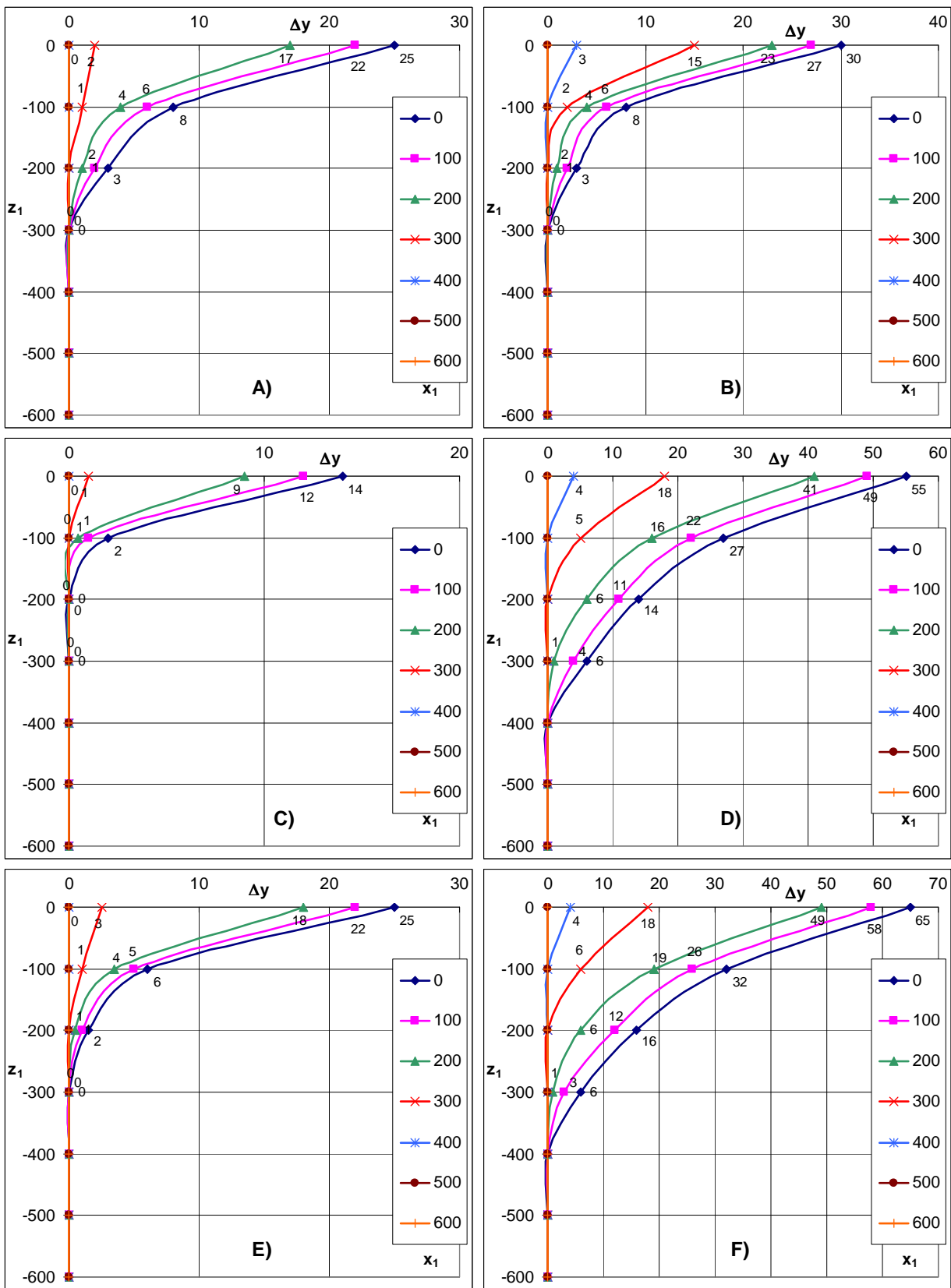
Fig. 5. The dependence of the Δz component of soil dislocation vector $\overrightarrow{P_1P_2}$ in the ruts A ÷ F on initial position coordinates of gauges $P_1(x_1, y_1=0, z_1)$



Rys. 6. Zależność składowej Δx wektora $\overrightarrow{P_1P_2}$ przemieszczenia gleby w kolejnach A ÷ F od współrzędnych początkowego

położenia znaczników $P_1(x_1, y_1=0, z_1)$

Fig. 6. The dependence of the Δx component of soil dislocation vector $\overrightarrow{P_1P_2}$ in the ruts A ÷ F on initial position coordinates of gauges $P_1(x_1, y_1=0, z_1)$



Rys. 7. Zależność składowej Δy wektora $\overrightarrow{P_1P_2}$ przemieszczenia gleby w kolejnach A ÷ F od współrzędnych początkowego

położenia znaczników $P_1(x_1, y_1=0, z_1)$

Fig. 7. The dependence of the Δy component of soil dislocation vector $\overrightarrow{P_1P_2}$ in the ruts $A \div F$ on initial position coordinates of gauges $P_1(x_1, y_1=0, z_1)$

Rys. 6 ilustruje przemieszczenia poziome Δx w zależności od wartości współrzędnych x_1 i z_1 położenia znaczników przed przejazdem ciągnika. Na podstawie zamieszczonych wykresów można stwierdzić, że:

- wszystkie przemieszczenia mają zwrot od osi w kierunku zewnętrznej strefy koleiny;
- średnie wartości przemieszczeń znaczników, rozlokowanych na pionowej osi koleiny, są bliskie zera;
- wartości przemieszczeń zwiększają się do odległości 200 mm od osi koleiny, a przy dalszym wzroście tej odległości ulegają zmniejszeniu;
- przemieszczenia występują w odległości do 300 mm od pionowej osi koleiny – jedynie w koleinie o największej głębokości (F), przemieszczenia zaobserwowano w odległości 400 mm od osi koleiny;
- w większości kolein przemieszczenia zanikają na głębokości 500 mm, jedynie w płytkiej koleinie A przemieszczenia występują jedynie do głębokości 300 mm;
- największe przemieszczenia występują przy dużych głębokościach koleiny w przypowierzchniowej warstwie gleby.

Na rys. 7 zilustrowano przemieszczenia poziome Δy w zależności od wartości współrzędnych x_1 i z_1 położenia znaczników przed przejazdem ciągnika. Na podstawie wykresów można stwierdzić, że:

- wszystkie przemieszczenia mają wartości dodatnie, co oznacza, że ich zwrot jest zgodny z kierunkiem ruchu ciągnika;
- największe wartości przemieszczeń występują na powierzchni pola w osi koleiny;
- wraz ze wzrostem odległości od powierzchni pola i odległości od pionowej osi koleiny wartości przemieszczeń stają się coraz mniejsze;
- największe wartości przemieszczeń, zarówno na powierzchni, jak i w całym profilu glebowym, zaobserwowano w koleinie F , charakteryzującej się największą głębokością;
- na obiektach o największych głębokościach koleiny przemieszczeń gleby nie stwierdzono na głębokości od 400 mm oraz w odległości 500 mm i większej od pionowej osi koleiny (obiekty D, F);
- na obiektach charakteryzujących się niewielkimi głębokościami koleiny występowanie przemieszczeń stwierdzono do głębokości 100 mm (C) lub 200 mm (A, B, E) i w odległości do 300 mm (A, C, E) oraz 400 mm (B) od osi koleiny.

4. Wnioski

Na podstawie uzyskanych rezultatów sformułowano następujące wnioski:

1. Po procesie tworzenia koleiny stwierdzono przemieszczenia gleby o wartościach znacznie zależnych od głębokości koleiny.
2. Spośród składowych wektora przemieszczenia gleby największe wartości ma składowa pionowa, skierowana w głąb gleby, oraz składowa pozioma, równoległa do kierunku ruchu pojazdu. Wartości składowej poziomej, prostopadłej do kierunku ruchu, są mniejsze i mają zwrot

na zewnątrz koleiny.

3. Pionowe przemieszczenia gleby położonej jednocześnie w warstwie przypowierzchniowej i w bezpośrednim sąsiedztwie śladu po przejeździe pojazdu mogą być skierowane do góry. W pozostałych strefach zwrot przemieszczeń pionowych jest skierowany w głąb gleby.
4. Największe wartości przemieszczeń poziomych równoległych do wzdłużnej osi koleiny występują na powierzchni pola. Wraz ze wzrostem odległości od powierzchni pola i odległości od pionowej osi koleiny wartości tych przemieszczeń stają się coraz mniejsze.
5. Największe przemieszczenia poziome w kierunku prostopadłym do wzdłużnej osi koleiny występują na powierzchni pola i mają zwrot od osi w kierunku zewnętrznej strefy koleiny. Maksymalne wartości tych przemieszczeń występują w strefie gleby położonej poniżej bocznych części ogumienia.

5. Literatura

- [1] Arvidsson J.A., Trautner J.J.H., Van den Akker J.J.H., Schjoening P. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugar beet harvesters in southern Sweden. *Soil Tillage Res.* 60 (1/2), 79–89.
- [2] Bolling I. 1984. Bodenverdichtung und Bereifung bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen. *Landtechnik* 39, 449–452.
- [3] Bolling I. 1986. How to predict soil compaction from agricultural tires. *J. Terramech.* 22, 205–223.
- [4] Jurga J. 2004. Wpływ przejazdów agregatów maszynowych na wybrane właściwości fizyczne gliny lekkiej. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 242 (98), 63–70.
- [5] Koolen A.J., Kuipers H. 1983. *Agricultural Soil Mechanics*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- [6] Kühner S. 1997. Simultane Messung von Spannungen und Bodenbewegungen bei statischen und dynamischen Belastungen zur Abschätzung der dadurch induzierten Bodenbeanspruchung. *Dissertation. Schriftenreihe des Inst. f. Pflanzenern. u. Bodenk., der CAU zu Kiel*, 39.
- [7] Neukam M. 1989. Messungen des Druckes im Boden unter einem AS-Reifen. *VDI/MEG Kolloquium Landtechnik, Reifen landwirtsch. Fahrzeuge, Tagung München, 27–28 April 1989*. [b. w.].
- [8] Okhitin A.A., Lipiec J., Tarkiewicz S., Sudakov A. V. 1991. Deformation of silty loam soil under a tractor tyre. *Soil Tillage Res.* 19, 187–195.
- [9] Powalka M. 2005. Wpływ nacisków kół ciągników rolniczych na zagęszczenie gleby w warstwie ornej. *Praca doktorska. SGGW, Warszawa (maszynopis)*.
- [10] Pytka J., Konstankiewicz K. 2002. A new optical method for soil stress and strain investigation. *Soil Tillage Res.* 65, 243–251.
- [11] Sommer C. 1985. Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. *Landtech.* 9, 378–384.
- [12] Steinkampf H., Sommer C. 1989. Druck- und Verdichtungsmessungen im Feld unter großvolumigen Reifen. [in: *Reifen landw. Fahrzeuge*]. Tagung VDI/MEG. Kolloquium Landtechnik, München 27–28

April 1989. VDI, München.