

PRZYSTOSOWANIE MOBILNYCH MASZYN ROLNICZYCH DO ZWIĘKSZONYCH PRĘDKOŚCI ROBOCZYCH. Cz. 1. Maszyny i narzędzia uprawowe

Streszczenie

Zwiększanie wydajności w produkcji roślinnej przy jednoczesnym obniżaniu jej kosztów jest stałą tendencją w rolnictwie. Jedną z dróg realizacji tego celu jest poprawa parametrów eksploatacyjnych maszyn i urządzeń. Wśród wielu sposobów uzyskania lepszych wyników w trakcie eksploatacji maszyn jest zwiększenie ich prędkości roboczej. W pracy dokonano przeglądu literatury dotyczącej prac nad wpływem prędkości roboczej mobilnych narzędzi i maszyn rolniczych na ich parametry eksploatacyjne.

1. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest dokonanie przeglądu, rozpoznanie stanu zaawansowania oraz kierunków rozwoju prac nad wpływem prędkości roboczej mobilnych narzędzi i maszyn uprawowych na ich parametry eksploatacyjne.

Celem pracy jest również próba wstępnego zdefiniowania kryteriów, jakie winny spełniać maszyny i narzędzia pracujące ze zwiększoną prędkością roboczą.

2. Wstęp

Dążenie do uzyskiwania coraz większych wydajności w produkcji roślinnej przy jednoczesnym obniżaniu jej kosztów jest stałą tendencją w rolnictwie. Na wynik ekonomiczny prac w produkcji roślinnej mają wpływ między innymi uwarunkowania związane z:

- narzędziem (maszyną) realizującym zabiegi uprawowe (czynniki energetyczne, materiałowe, technologiczne i inne),
- przedmiotem i miejscem uprawy (czynniki agrotechniczne; meteorologiczne; biologiczne; wielkość, kształt i stan areалу; parametry gleby itp.),
- operatorem narzędzia (psychofizyczne możliwości człowieka, ergonomia, bezpieczeństwo pracy, organizacja pracy i inne).

Koszty energii i pracy ludzkiej stanowią w polskim rolnictwie najistotniejsze, po kosztach surowców rolniczych, składniki w ogólnych nakładach związanych z produkcją roślinną. O ich skali świadczyć może wielkość zużycia bezpośrednich nośników energii w produkcji roślinnej wynosząca 155 mln GJ w 2002 r. [43]. Zużycie oleju napędowego na cele rolnicze w 2003 r. według danych GUS to 1,4 mln ton (ok. 1,66 miliardów litrów).

Wysoko postawione są również wymagania jakościowe dotyczące produktów otrzymywanych w wyniku produkcji roślinnej. Niemniej rygorystyczne są wymagania dotyczące ochrony środowiska, na które w istotny sposób oddziałuje działalność rolnicza. Inne tendencje występujące w konstrukcji maszyn rolniczych to: tworzenie nowych rodzajów i typów maszyn i agregatów, zwiększanie ich wydajności pracy, coraz powszechniejsza automatyzacja sterowania maszynami i agregatami, poprawa komfortu pracy operatorów oraz coraz częstsze stosowanie napędów elektrycznych i hydraulicznych w ciągnikach i kombajnach [12, 13].

Wyposażenie rolników w coraz doskonalsze narzędzia zapewniające wykonywanie prac przy możliwie niskich nakładach jest jednym ze sposobów na poprawienie wskaźników ekonomicznych w produkcji roślinnej. Działania takie podejmowane były od wielu lat. Sprowadzały się one najczęściej do zwiększania wydajności narzędzi przez zwiększanie ich szerokości roboczej, łączenie narzędzi w agregaty, czy też wprowadzanie nowych rozwiązań technicznych. Niekiedy wzrost wydajności uzyskiwano przez zwiększenie prędkości roboczej narzędzia. Działania te każdorazowo napotykały na próg, który uniemożliwiał dalszą poprawę parametrów. Zdefiniowanie (określenie) aktualnie występujących barier i sposobów ich pokonania, szczególnie w aspekcie zwiększenia prędkości roboczej, pozwoli na skonstruowanie narzędzi i maszyn spełniających oczekiwania nowoczesnego rolnictwa.

3. Uprawa gleby

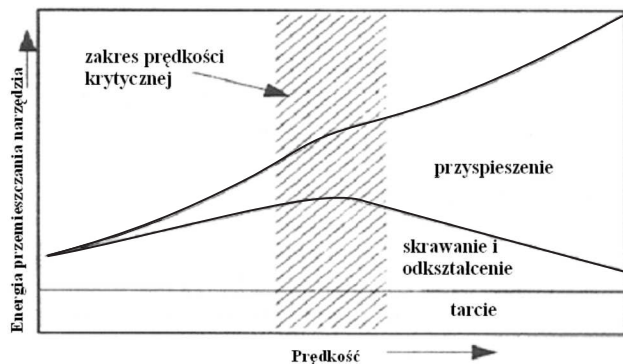
Spośród stosowanych aktualnie w kraju technologii uprawy gleby dominująca jest ciągle uprawa orkowa będąca jednym z najbardziej energochłonnych zabiegów uprawowych. Coraz wyraźniejsza jest jednak tendencja do stosowania, szczególnie w gospodarstwach o dużym areale, rozwiązań energooszczędnych takich jak uprawa bezorkowa czy siew bezposredni.

Obecnie produkowane w kraju i dostępne na rynku narzędzia uprawowe wg zaleceń producentów przeznaczone są do pracy z prędkościami roboczymi w zakresie: 5-10 km/h [42].

Przystąpienie do prawidłowego doboru, przystosowania lub przygotowania nowych narzędzi uprawowych do pracy ze zwiększoną prędkością roboczą uzależnione jest szczególnie od określenia sił i innych zjawisk występujących podczas pracy w glebie ich organów roboczych. Energia zużyta podczas uprawy gleby zależna jest od charakterystyki samej gleby, parametrów narzędzia (maszyny) oraz jego parametrów pracy.

Badania połowe sił występujących w prostych narzędziach podczas przemieszczania się w glebie z prędkościami do 18 m/s (64,8 km/h) doprowadziły do określenia prędkości krytycznej wynoszącej 3-5 m/s (10,8-18 km/h), powyżej której siły oporu na narzędziu wzrastają wolniej (rys. 1).

Przeprowadzony eksperyment wykazał istnienie zależności między wartością prędkości krytycznej, a prędkością rozchodzenia się w glebie podłużnej fali ciśnienia, prędkością ruchu cząstek gleby wywołanego tą falą oraz prędkością, przy której występuje niszczenie struktury gleby [25].



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie wpływu prędkości roboczej na składniki energii przemieszczania się narzędzia w glebie [25]

Fig. 1. Schematic illustration showing the influence of speed on the components of tillage energy [25]

Kontynuacja badań w kanale glebowym [45] mających na celu określenie wielkości strefy kruszenia gleby i prędkości jej przesuwania w zależności od prędkości roboczej pozwoliła na opracowanie metody określania prędkości krytycznej narzędzia dla różnych wilgotności i gęstości gleby przy różnych kształtach narzędzia.

Szczegółowa analiza wzajemnego dynamicznego oddziaływania narzędzia uprawowego i gleby przy dużych prędkościach roboczych napotyka na trudności w opisie pól naprężeń, przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń na styku narzędzia z glebą. Brakuje również spójnej teorii wpływu wytrzymałości gleby na siłę uciągu. Znane modele teoretyczne nie zapewniają wystarczających danych do optymalnego przygotowania narzędzi uprawowych do pracy ze zwiększonymi prędkościami roboczymi. Trudności te mogą w pewnym stopniu być pokonane przez zastosowanie metody elementów skończonych, pozwalającej obliczyć siłę uciągu i wyliczać pola naprężeń, przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń na styku narzędzia z glebą [26, 27]. Badania nad zjawiskami występującymi podczas przemieszczania się narzędzi uprawowych w glebie przy dużych prędkościach prowadzone przez R. L. Kushwaha i jego współpracowników na Uniwersytecie Saskatchewan (Kanada) są jednymi z bardziej znaczących w literaturze dotyczącej omawianych zagadnień. Należy do nich zaliczyć, poza wyżej wymienionymi, prace takich autorów jak [4, 34, 36, 44].

Wykorzystując uproszczone modele podejmowano próby opracowania teoretycznych metod wyznaczania oporów przemieszczania organów roboczych (pojedynczych i wielu zębów) w glebie. Próby takie przeprowadzono dla narzędzia poruszającego się z prędkością do 20 km/h, pomijając wpływ bezwładności zębów, a uwzględniając zmiany kąta natarcia zęba. Dokonano następnie weryfikacji otrzymanych wyników badaniami w kanale glebowym wypełnionym glebą o dużym współczynniku tarcia. Wzrost kąta natarcia zęba powodował liniowe zmniejszanie się oporu przemieszczania oraz nieliniowe zmniejszanie się zasięgu strefy oddziaływania [41].

Inny sposób podejścia do tego zagadnienia zrealizowano we wspomnianej wyżej pracy [4]. W trakcie badań w kanale glebowym podjęto próbę opracowania modelu umożliwiającego prognozowanie zapotrzebowania energetycznego dla przemieszczającego się pionowego, wąskiego narzędzia. Opierając się na pracach Blumela (1986) oraz Kushwaha i Linke (1996), brano pod uwagę cztery główne składniki wpływające na zużycie energii: (1) zapotrzebowanie energetyczne związane z oddziaływaniem między glebą i narzędziem, (2) zapotrzebowanie na energię związane z oddziaływaniem między masami gleby podlegającej uprawie i nieuprawianej,

(3) zapotrzebowanie energii związane z odkształcaniem gleby, (4) zapotrzebowanie na energię związane z przyspieszaniem mas uprawianej gleby. Zapotrzebowanie na energię dla pionowego wąskiego narzędzia obliczane było na podstawie zmierzonych sił koniecznych do jego przemieszczania w kanale glebowym. Badany był wpływ trzech zmiennych: wilgotności gleby, głębokości pracy narzędzia i jego prędkości roboczej (1, 8, 16 i 24 km/h). Na podstawie danych z dwóch równoległe prowadzonych eksperymentów stworzono równania regresji dla różnych elementów składowych energii, które następnie zweryfikowano poprzez dodatkowe doświadczenia w kanale. Uzyskany model elementów składowych zapotrzebowania na energię wykazał dobrą korelację z dostępnymi danymi doświadczalnymi dla wszystkich czterech elementów.

Badania zależności siły uciągu od prędkości roboczej prowadzono również z użyciem narzędzi uprawowych. Badania pługa odkładnicowego w kanale glebowym przy prędkościach 1-4 m/s (3,6-14,4 km/h) wykazały wzrost siły uciągu wraz ze wzrostem prędkości. Przyrost siły uciągu był różny w poszczególnych zakresach prędkości roboczej. Badający przyjęli wzrost siły uciągu jako liniowy dla praktycznie i ekonomicznie uzasadnionych prędkości stosowanych w zabiegach uprawowych. W trakcie prowadzonych prób zaobserwowano zwiększone rozdrobnienie gleby wraz ze wzrostem prędkości oraz przez zastosowanie przedłużenia odkładnicy i zapłuzka [40].



Rys. 2. Kanał glebowy z wózkiem do badań narzędzi przemieszczających się z dużą prędkością [4]

Fig. 2. I-beam of the high speed carriage [4]

Eksperymenty z broną talerzową i kultywatorami (ciężkim o sztywnych łapach i połowym z łapami półsztywnymi) przeprowadzono na ściernisku po pszenicy na glebie gliniastej. Siła uciągu dla brony talerzowej i ciężkiego kultywatora w największym stopniu zależała od głębokości roboczej. Dla ciężkiego kultywatora stwierdzono również liniową zależność siły uciągu od prędkości roboczej. Z kolei dla kultywatora połowego siła uciągu rosła liniowo wraz ze wzrostem prędkości i w funkcji kwadratowej ze wzrostem głębokości roboczej. Nie zaobserwowano wpływu parametrów gleby na wyniki badań [15].

Konsekwencją opisanych wyżej eksperymentów były, między innymi, próby skonstruowania narzędzi do pracy ze zwiększonymi prędkościami roboczymi. Prowadzono prace nad konfiguracją i doбором parametrów pługa talerzowego pracującego z prędkością 12 km/h [35]. Podjęto również prace mające na celu optymalizację, zarówno teoretyczną [7] jak i eksperymentalną [24], parametrów pracy glebogryzarki z punktu widzenia minimalizacji zużycia energii i uzyskania największej wydajności.



Rys. 3. Wózek do badań narzędzi przemieszczających się w kanale glebowym z małą prędkością [4]
 Fig. 3. Low speed tool carriage [4]

W PIMR podjęto badania trwałościowe lekkich zębów kultywatorów stosowanych w aktualnie produkowanych maszynach. Badania stanowiskowe zębów z obciążeniami odpowiadającymi prędkościom 12, 15 i 20 km/h wykazały ich niższą kilkukrotnie trwałość w porównaniu do obciążeń występujących przy obecnie stosowanych prędkościach nieprzekraczających 10 km/h [28]. Podobne badania gęsiostopok z ostrzami napawanymi różnymi materiałami przeprowadzono na specjalnie skonstruowanym do badań trwałościowych, kołowym kanale glebowym. Największą trwałość wykazały gęsiostopki z krawędziami napawanymi materiałem zawierającym węgiel wolframu. Ich zużycie było 4 krotnie mniejsze niż gęsiostopki nienapawanymi. Zaobserwowano ponadto zmniejszenie się siły uciągu po przebiegu 74 km w wyniku zjawiska samoostwienia krawędzi napawanymi [45]. Inne prace nad wykorzystaniem nowych materiałów w konstrukcji maszyn przeprowadzili Kogut i Ptaszyński [23]. Wykorzystali oni do polowych badań porównawczych pługa odkładnice metalowe oraz wykonane z uretanu. Stwierdzono, że w miarę wzrostu prędkości orki rośnie opór dla korpusów całkowicie metalowych, wyraźnie natomiast maleje dla korpusów ze skrzydłami odkładnic z uretanu. Przy prędkości orki 1,9 m/s opór ten stanowi 30 % jednostkowego oporu orki korpusami z metalowymi odkładnicami.

Przyjmując za wyjściowe wymagania dotyczące gleby, narzędzia i ciągnika przeprowadzono techniczną, ekonomiczną i agrotechniczną analizę [37] możliwości zaprojektowania ciągnikowych agregatów uprawowych. Analizy dokonano dla ciągnika o mocy 50 kW i pługów zawieszanych o różnej szerokości roboczej przy prędkościach 1,6-2 m/s (5,76-7,2 km/h) i 2,0-3,6 m/s (7,2-12,96 km/h). W jej wyniku stwierdzono, że przy orce z prędkością 3,0-3,6 m/s (10,8-12,96 km/h) przy przeciętnych warunkach glebowych jednostkowe zużycie paliwa maleje o ok. 11%, w stosunku do niższych prędkości, przy jednoczesnym wzroście wydajności oraz zmniejszeniu poślizgu kół. Jakość wykonywanej orki była poprawna. Natomiast liczba korpusów i ich szerokości robocze powinny być mniejsze niż w pługach, które pracują na dotychczasowych zakresach prędkości.

Korzystając z wyników prowadzonych badań i wpisując się w najnowsze tendencje w technice uprawy gleby niektórzy producenci oferują nowe rodzaje maszyn i agregatów. Przykładem mogą tutaj być brony talerzowe do podorywki (zwane niekiedy rotacyjnymi kultywatorami). Każdy z talerzy takiej maszyny jest oddzielnie łożyskowany i mocowany do

ramy. Najkorzystniejsze parametry pracy takiej brony to: głębokość robocza 5 - 7 cm, prędkość robocza powyżej 12 km/h. Szerokości robocze ze względu na duże prędkości są niewielkie i wynoszą od 2,5 do 5 m [9, 17].

Inną ważną grupą zagadnień występujących w pracy agregatu ciągnik maszyna (narzędzie) uprawowa jest kwestia oddziaływania na glebę układów jezdnych (koła, gąsienice) zarówno ciągnika jak i maszyny. Zagadnienia te występują również w innych grupach maszyn ze szczególnym natężeniem w środkach transportu rolniczego i kombajnach do zbioru ziemiopłodów. Na negatywne skutki nadmiernego ugniatania gleby przejawiające się zmianami struktury gleby i w konsekwencji zmniejszeniem plonowania roślin uprawnych wskazuje bardzo wielu badaczy, między innymi [1, 2, 3, 8, 10, 11, 16, 32]. Wpływ prędkości ruchu maszyn i agregatów na intensywność ugniatania gleby kołami wiąże się z czasem działania naprężeń na powierzchni styku koła z podłożem. Według badań Carmana największe korzyści związane ze zmniejszeniem ugniatania gleby kołami można uzyskać przez zwiększenie prędkości agregatów w zabiegach wykonywanych dotąd z najmniejszymi prędkościami.

Kolejnym zespołem istotnych problemów występujących w maszynach i agregatach poruszających się z dużymi prędkościami jest zapewnienie operatorom bezpiecznej i komfortowej pracy. Istotne jest tu szczególnie ograniczenie drgań przenoszonych z ciągnika lub maszyny na operatora. Wiele uwagi tym zjawiskom i sposobom ich ograniczenia poświęcają m. in. [18, 19, 20]. Prowadzone w PIMR prace nad tymi zagadnieniami zaowocowały zgłoszeniem patentowym dotyczącym wibroizolacji siedzisk operatorów mobilnych maszyn i pojazdów [21].

Związane z powyższym jest zagadnienie automatyzacji prac polowych. Mając na względzie ograniczone możliwości percepcji kierowcy maszyny (agregatu) poruszającej się z dużą prędkością (przy nierzadko dużych jej szerokościach roboczych) oraz potrzebę minimalizowania nakładów energetycznych przez zapobieganie nakładania się pasów przejazdu przeprowadzono wiele badań i opracowano szereg rozwiązań wspomagających operatora lub wręcz go zastępujących w manewrowaniu mobilną maszyną rolniczą [5, 12, 13, 22, 31, 33, 38, 39].

Jednym z przejawów praktycznego wykorzystania, choć części z powyższych badań i analiz są próby bicia rekordów świata w orce. W 2001 roku pobito rekord świata w orce 24 godzinnej. Wynosił on 251,37 ha i należał do zestawu składającego się z ciągnika MF 8280 Xtra i dwóch pługów obracalnych, półzawieszanych, przegubowych Gregoire Besson SPSF9.



Rys. 4. Ciągnik MF 8280 Xtra z pługami Gregoire Besson SPSF9 w trakcie bicia rekordu świata w orce w 2001 roku
 Fig. 4. World record by ploughing 2001 tractor MF 8280 Xtra and ploughs Gregoire Besson SPSF9

Zawieszany na przednim TUZ pług posiadał 4 korpusy, a zawieszany z tyłu 13 korpusów. Szerokość robocza zestawu wynosiła 8,5 m, a orkę wykonywano średnio na głębokości 27,35 cm. Uzyskano wówczas średnią prędkość roboczą 12,3 km/h. Ciągnik, który wykorzystano w próbie bicia rekordu posiadał silnik Sisu Valmet, (o pojemności 8 450 cm³) z do-

datkową turbosprężarką, o mocy zwiększonej z 288 KM do 390 KM. Ponadto ciągnik wyposażono w specjalny filtr powietrza umieszczony na dachu kabiny oraz dodatkowo w pneumatyczny układ zawieszenia fotela, podgrzewane siedzisko oraz pneumatyczne wspomaganie podłokietników [14]. W 2005 roku ustanowiono kolejny rekord przy użyciu ciągnika Case IH STX 500 Quad track o mocy 500 KM i pług obracalnego, półzawieszanego, przegubowego Gregoire Besson SPEL B9 z 20 korpusami o szerokości roboczej 10,5 m. Rekord ten wynosi 321,17 ha i uzyskano go przy średniej prędkości 12,8 km/h wykonując orkę na głębokości 28,4 cm [14].

4. Wnioski

Analiza zebranych materiałów pozwala stwierdzić, że prace badawcze zajmujące się wpływem prędkości roboczej na parametry pracy maszyn i narzędzi rolniczych prowadzone są szczególnie intensywnie dla narzędzi pracujących w glebie. Wynika to w znacznej mierze z niedoskonałości teorii dynamiki gleby, mającej istotny wpływ na przewidywanie i kształtowanie parametrów pracy organów roboczych maszyn i narzędzi uprawowych.

5. Literatura

- [1] Akker J.J.H.; Van Der Arts W.B.M.; Koolen A.J.; Stuijver H.J. Comparison of stresses, compactions and increase of penetration resistances caused by a low ground pressure tyre and a normal tyre. Porównanie naprężeń, ugniecenia i wzrostu oporu wciskania trzpienia spowodowanych przez opony niskociśnieniową i normalną. *Soil & Tillage Research* Vol. 29 nr 2-3, 1994.
- [2] Arvidsson J.; Hakansson I. Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden. Czy skutki ugniecenia gleby trwają nadal po orce? Wyniki 21 długoterminowych badań polowych w Szwecji. *Soil Till. Res.* Vol. 39 nr 3,4, 1996.
- [3] Arvidsson J.; Ristic S. Soil stress and compaction effects for four tractor tyres. Skutki naprężeń w glebie i ugniecenia dla czterech opon ciągnikowych. *J. Terramech.* Vol. 33 nr 5, 1996.
- [4] Ashrafi Zadeh, Seyed Reza Modelling of Energy Requirements by a Narrow Tillage Tool. Modelowanie zapotrzebowania energetycznego dla wąskiego narzędzia uprawowego. University of Saskatchewan, July 2006, <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-07032006-144139/unrestricted/Ashrafizadeh.pdf>.
- [5] Benson E.R.; Reid J.F.; Zhang Q. Machine vision-based guidance system for agricultural grain harvesters using cut-edge detection. System prowadzenia przy zastosowaniu sztucznego zmysłu wzroku w kombajnach zbożowych z wykorzystaniem identyfikacji linii cięcia zespołu tnącego. *Biosystems Eng.* Vol. 86 nr 4, 2003.
- [6] Benson E.R.; Reid J.F.; Zhang Q. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester. Wizyjny system automatycznego kierowania małym kombajnem do zbioru ziarna kukurydzy. *Trans. ASAE* Vol. 46 nr 4, 2003.
- [7] Blumel K. Messungen an einer Ackerfrase in der Bodenrinne. Pomiary dynamiczne glebogryzarki w kanale glebowym. *Grundl. Landtech.* Bd. 37 nr 5, 1987.
- [8] Błaszkiwicz Z. Analiza wpływu wybranych parametrów opon rolniczych na ugniatanie gleby. *Zeszyty naukowe; Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu; Zeszyt 271*, 1997.
- [9] Brunotte J. Trends der Bodenbearbeitung. Tendencje rozwojowe w uprawie gleby. *Landtechnik* Jg. 58 nr 6, 2003.
- [10] Buliński J. Problemy ugniatania gleb uprawnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 508*, Warszawa 2006.
- [11] Carman K. Tractor forward velocity and tire load effects on soil compaction. Wpływ prędkości jazdy i obciążenia opon ciągnika na ugniecenie gleby. *J. Terramech.* Vol. 31 nr 1, 1994, s.11-20.
- [12] Firsov M.M.; Cherepakhin A.N. Osnovnye tendencii i prognoz razvitija masin dlja rastenievodstva. Podstawowe tendencje i prognoza rozwoju maszyn do produkcji roślinnej. *Trakt. Sel'chozmas.* nr 3, 2002.
- [13] Firsov M.M.; Viktorov A.I.; Chmel' A.M. Radionavigacionnaja sistema dlja mobilnych sel'skohozajstvennyh agregatov. Radionawigacyjny system dla mobilnych agregatów rolniczych. *Trakt. Sel'chozmas.* nr 11, 2002.
- [14] Gregoire Besson Polska Reklamowe materiały firmowe 2005.
- [15] Grisso R.D.; Yasin M.; Kocher M.F. Tillage implement forces operating in silty clay loam. Siły na narzędziu uprawowym pracującym w glebie gliniastej. *Trans. ASAE* Vol. 39 nr 6, 1996.
- [16] Hakansson I.; Reeder R.C. Subsoil compaction by vehicle with high axle load extent, persistence and crop response. Ugniecenie gleby przez pojazdy o dużym obciążeniu osi - zasięg, trwałość i reakcja roślin. *Soil & Tillage Research* Vol. 29 nr 2-3, 1994.
- [17] Höner G. Flach und schnell arbeiten mit dem Rotor-Grubber. Płytko i szybko pracuje rotacyjny, talerzowy kultywator podorywkowy. *Top Agrar* nr 12, 2002.
- [18] Hoppe U. Einfluss der Hinterachsfederung von Traktoren auf Fahrsicherheit und komfort. Wpływ resorowania tylnej osi ciągników na pewność i komfort jazdy. *Landtechnik* Jg. 57 nr 2, 2002.
- [19] Hoppe U.; Meyer H.J. Schwingungsentkopplung bei Landmaschinen. Odłączanie drgań w maszynach rolniczych. *Landtechnik* Jg. 59 nr 1 2004.
- [20] Kaźmierczak H., Jankowiak S., Pawłowski T., Kromulski J. System przestrzennej izolacji drgań mechanicznych siedzisk maszyn mobilnych i ciągników. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia tom 2, pod red. Pawłowski T. PIMR Poznań 2005.
- [21] Kaźmierczak H. Układ wibroizolacji siedzisk maszyn mobilnych i pojazdów. Zgłoszenie patentowe (P. 361 350) PIMR Poznań 2003.
- [22] Klee U.; Hofmann L.; Pickel P. Bezpečnostni aspekty automatickeho rizeni zemedelskych stroju a nizkonakladova reseni. *Res. Agricult. Eng.- Zemed. Tech.* Vol. 49 nr 3, 2003.
- [23] Kogut Z.; Ptaszyński S. Wpływ powierzchni odkładnicy na energochłonność orki w zmiennych warunkach eksploatacyjnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 508*, Warszawa 2006.
- [24] Kosutić S.; Filipović D.; Gospodarić Z. Agrotechnical and energetic characteristics of a rotary cultivator with spike tines in seedbed preparation. Agrotechniczne i energetyczne charakterystyki zębowej uprawowej maszyny rotacyjnej przy uprawie przedsiębierzej. *Agricult. Eng. J.* Vol. 6 nr 3-4, 1997.
- [25] Kushwaha R. L.; Linke C. Draft - speed relationship of simple tillage tools at high operating speeds. Zależność siły uciągu od prędkości dla prostych narzędzi uprawowych pracujących z dużymi prędkościami. *Soil Till. Res.* Vol. 39 nr 1,2, 1996.
- [26] Kushwaha R.L.; Shen J. Finite element analysis of the dynamic interaction between soil and tillage tool. Analiza metodą elementów skończonych dynamicznego, wzajemnego oddziaływania gleby i narzędzia uprawowego. *Trans. ASAE* Vol. 38 nr 5, 1995.
- [27] Kushwaha R.L.; Zhang Z.X. Evaluation of factors and current approaches related to computerized design of tillage tools. Ocena czynników i obecnie stosowanych metod przy skomputeryzowanym projektowaniu narzędzi uprawowych - przegląd. *J. Terramech.* Vol. 35 nr 2, 1998.
- [28] Łabęcki M. Badania trwałości i jakości wykonania wybranych lekkich zębów do kultywatorów przy obciążeniu odpowiadającym pracy przy zwiększonej prędkości roboczej

- w zakresie 12-20 km/h. Część I. Badania trwałości. J. Res. Appl. Agr. Engng. Vol. 47 nr 3, 2002.
- [29] Łabecki M. Badania wpływu zwiększonej prędkości roboczej wybranych maszyn rolniczych na trwałość ich elementów roboczych. Badania wybranych lekkich zębów do kultywatorów. PIMR 2001.
- [30] Łabecki M. i inni Uruchomienie produkcji odlewów części zamiennych do maszyn rolniczych z wysokojakościowego, stopowego żeliwa sferoidalnego. Badania warunków pracy i zużycia wybranych elementów maszyn rolniczych pracujących w glebie. PIMR 2006.
- [31] Meyer J.; Hartmann P. Automatische Führung von Hackgeräten. Automatyczne prowadzenie pielników (wzdłuż rzędów). Landtechnik Jg. 54 nr 3, 1999.
- [32] Powąka M.; Buliński J. Wpływ wielokrotnych przejazdów ciągnika na porowatość gleby w warstwie ornej pod kolejną przejazdów i obok niej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 508, Warszawa 2006.
- [33] Reid J.F.; Niebuhr D.G. Driverless Tractors. Ciągnik bez kierowcy. Resource Vol. 8 nr 9, 2001.
- [34] Rosa, Uriel Aparecido Performance of Narrow Tillage Tools with Inertial and Strain Rate Effects. University of Saskatchewan, March 1997, <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-10202004-235810/unrestricted/nq24044.pdf>.
- [35] Scott J.; Yule I. Development of a high speed plough. Rozwój pługów przystosowanych do pracy z dużą prędkością. Agricult. Eng. Vol. 48 nr 4, 1993.
- [36] Sharifat, Karim Soil Translocation with Tillage Tools. University of Saskatchewan, Spring 1999, <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-10212004-002156/unrestricted/NQ37912.pdf>.
- [37] Sheikh El Din Abdel Gadir El-Awad; Crossley C. P. Feasibility of high-speed cultivation device. Możliwość wykonania urządzenia do szybkiej uprawy gleby. AMA Vol. 34 nr 1, 2003.
- [38] Stombaugh T.S.; Benson E.R.; Hummel J.W. Guidance control of agricultural vehicles at high field speeds. Sterowanie pojazdami rolniczymi przy dużych prędkościach polowych. Trans. ASAE Vol. 42 nr 2, 1999.
- [39] Stombaugh T.; Shearer S. Automatic pilot. Pilot automatyczny. Resource Vol. 9 nr 2, 2002.
- [40] Taniguchi T.; Makanga J.T.; Ohtomo K.; Kishimoto T. Draft and soil manipulation by a moldboard plow under different forward speed and body attachments. Siła uciągu i oddziaływanie na glebę przez pług odkładnicowy przy różnych prędkościach roboczych i wyposażeniu korpusu. Trans. ASAE Vol. 42 nr 6, 1999.
- [41] Wheeler P.N.; Godwin R.J. Soil dynamics of single and multiple tines at speeds up to 20 km/h. Dynamika gleby przy oddziaływaniu jednego i wielu zębów z prędkościami do 20 km/h. J. Agricult. Eng. Res. Vol. 63 nr 3, 1996.
- [42] Woźniak W. Ciągniki i maszyny rolnicze. Budowa i przeznaczenie. PIMR Poznań 2004/2005.
- [43] Wójcicki Z. Efektywność energetyczna produkcji rolniczej w Polsce. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 4, 2005.
- [44] Zhang, Ji Vibratory Analysis of Tillage Operation. University of Saskatchewan, Spring 1997, <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-10212004-000546/unrestricted/nq23896.pdf>.
- [45] Zhang Z.X.; Kushwaha R.L. Operating speed effect on the advancing soil failure zone in tillage operation. Wpływ prędkości roboczej na przesuwanie się strefy kruszenia przy operacjach uprawy roli. Can. Agricult. Eng. Vol. 41 nr 2, 1999.

ADAPTATION OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINES TO HIGH OPERATING SPEEDS

Part 1. Machinery and equipment for tillage

Summary

It is a constant trend in agriculture to increase plant production efficiency while lowering its costs. One of the ways of achieving this goal is to enhance machines and work tools operating parameters. Numerous ways of improving machine operating results include increasing operating speeds. A review of literature on the influence of mobile agricultural work tools and machines operating speeds on their operating parameters was conducted in this study.