

ANDRZEJ SOŁTYŃSKI

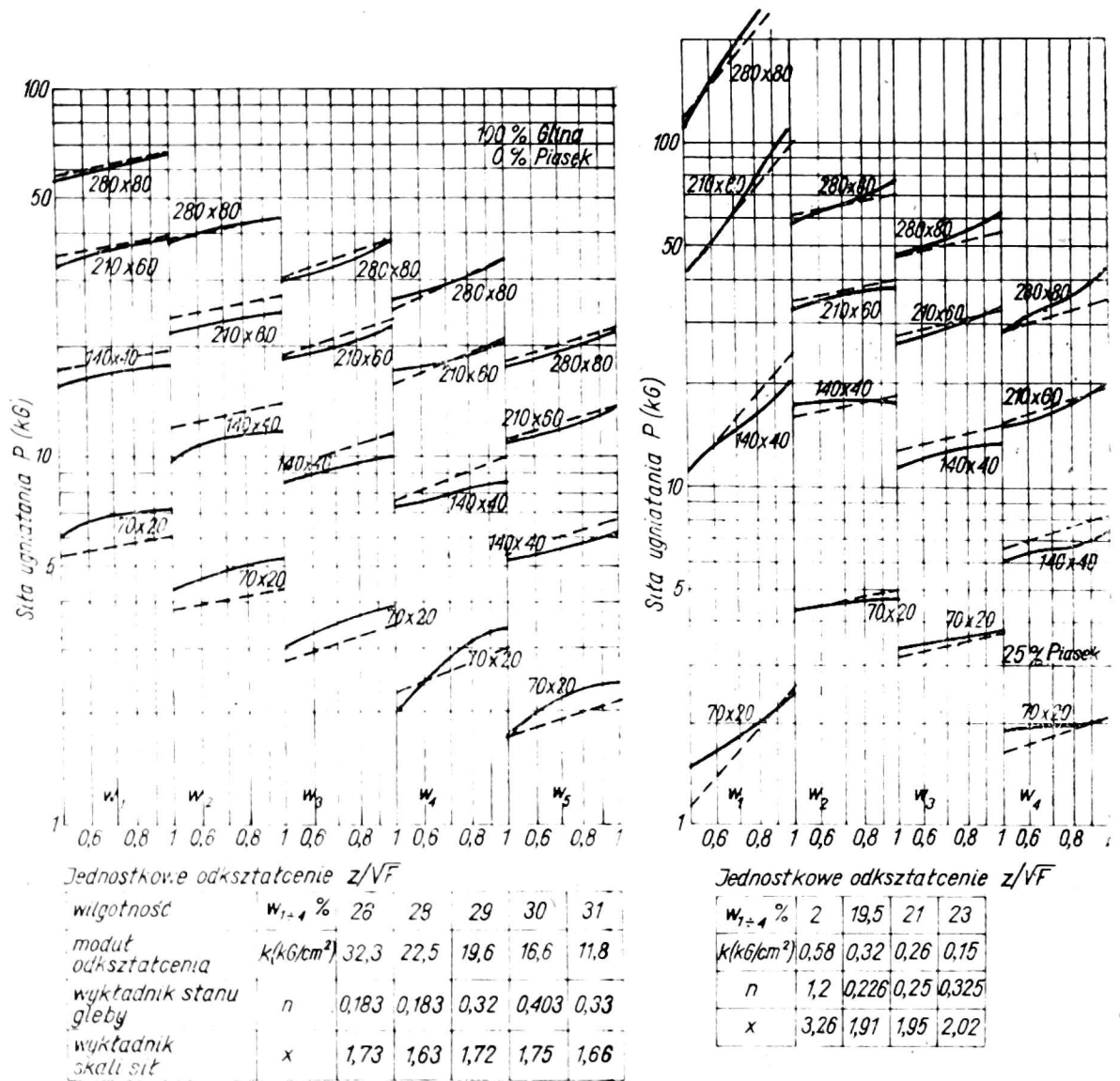
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

ZAGADNIENIA TRAKCYJNE W ROLNICTWIE

Sprawa zapewnienia odpowiedniej ilości wyżywienia trwa od samego początku ludzkości i przechodziła różne etapy rozwoju środków i narzędzi pracy, poprzez wprowadzenie koła i żelaza co w następstwie spowodowało zastosowanie w rolnictwie narzędzi i środków transportu o napędzie początkowo mięśni ludzkich, a potem i mięśni zwierząt pociagowych.

Podstawy nowoczesnej techniki w rolnictwie wiążą się jednak dopiero z okresem, gdy człowiek zaczął wytwarzać więcej żywności, niż mógł spożyć. Początek produkcji rolnej spowodował rozwój maszyn roboczych i środków transportu, którego rozwój stał się masowym, gdy rozpoczął się odpływ ludzi ze wsi do miast. Stało się to powodem do stałego zwiększania mechanizacji prac w rolnictwie. Przybywało nie tylko coraz więcej narzędzi i maszyn, ale także i pojazdów, poczynając od ciągników poprzez samochody, przyczepy, transportery, a kończąc na samobieżnych maszynach do zbiorów i pielęgnacji.

Natomiast dążenie do stałego zwiększania wydajności prac rolnych spowodowało, że maszyny ze względu na różnorodność wykonywanych czynności, były wyposażone w coraz większą ilość mechanizmów i urzą-

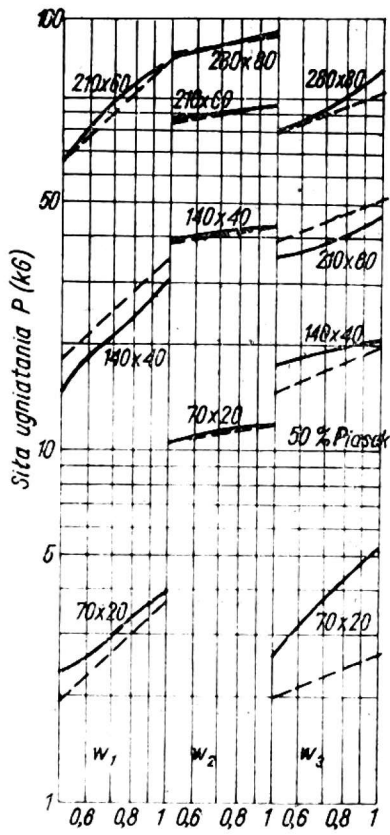


Rys. 1. Współzależność między jednostkowym odkształceniem gleby z/F a siłą dżeń. Były więc coraz cięższe, podobnie jak z tych samych zresztą powodów ciągniki, transportery i przyczepy.

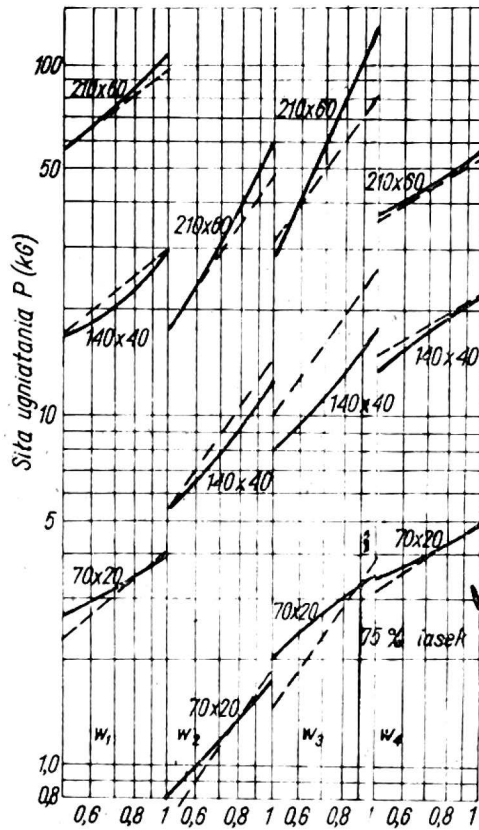
Rozwój koncepcji tych maszyn i sprawności wykonania przez nie prac do których były przeznaczone a więc problem mobility rozwijał się po linii, która wiele lat później dała podstawy mechaniki układu pojazd — teren, sformułowane przed laty przez mojego rodaka z pochodzenia, znanego nam wszystkim specjalisty i naukowca amerykańskiego dr M. G. Bekkera.

Jak wiadomo rozwój konstrukcji pojazdów rolniczych i maszyn samobieźnych wiele lat opierał się na przenoszeniu doświadczeń uzyskanych w konstrukcji pojazdów poruszających się na nawierzchniach utwardzonych. Nawierzchnie te same w sobie nie stanowiły problemu głównie ze względu na swoją jednorodność i jednolity wpływ wywierany na pojazdy. Z dużym opóźnieniem uznano celowość uwzględnienia aspektów terenu i kryteriów z tego wynikających, co spowodowało istotne zmiany w koncepcji i konstrukcji pojazdów terenowych.

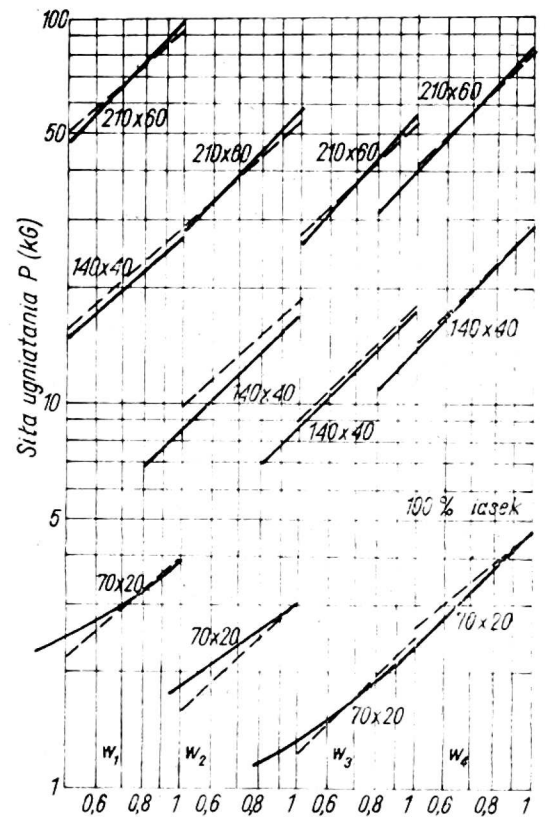
W rolnictwie nie spowodowało to co prawda radykalnych zmian w konstrukcji pojazdów, ale pozwoliło nadać właściwe proporcje wadze

Jednostkowe odkształcenie z/\sqrt{F}

w_{1-3} %	2,5	14	17
k (kg/cm ²)	0,78	0,77	0,38
n	0,95	0,145	0,41
x	3,22	1,92	2,4

Jednostkowe odkształcenie z/\sqrt{F}

w_{1-4} %	1,7	6,5	9,8	11,9
k (kg/cm ²)	0,64	0,31	0,55	0,12
n	0,827	1,48	1,42	0,31
x	2,92	2,94	2,8	2,2

Jednostkowe odkształcenie z/\sqrt{F}

w_{1-4}	0,7	3,7	5	10
k (kg/cm ²)	0,62	0,37	0,36	0,56
n	0,89	0,91	0,99	1,00
x	2,85	2,60	2,77	2,57

ugniatania P gleby

zagadnień, przez sklasyfikowanie znaczenia dla rolnictwa poszczególnych zagadnień. To pozwoliło z kolei na wytyczne dla optymalnych kierunków rozwoju pojazdów rolniczych. W rolnictwie problem mobility wynika przede wszystkim z tego, że teren po którym poruszają się pojazdy stanowią pola uprawne, gdzie gleba jest nie tylko podłożem, ale i materiałem który podlega uprawie. W związku z tym nie tylko poddana jest zabiegom uprawowym, do czego potrzebna jest odpowiednio duża siła trakcyjna, ale po przejeździe pojazdów roboczych, musi pozostawać w stanie zapewniającym maksymalny rozwój roślin. Te dwa zagadnienia są ściśle ze sobą związane, jako że oddziaływanie gleby na pojazd warunkuje uzyskanie odpowiedniej sprawności trakcyjnej, a więc wydajności uprawy, zaś oddziaływanie pojazdu rolniczego na glebę ma poważny wpływ na rozwój roślin, a więc na wydajność uzyskiwanych plonów. Oczywiście w rolnictwie odgrywają rolę także i inne problemy mobility, takie jak:

— różne koncepcje układu mechanizmów pojazdów w zależności od terenu i pracy,

— dynamiczne zdolności pokonywania terenu o różnej konfiguracji lub właściwościach podłoża,

— zagadnienia ochrony przed drganiami wynikającymi z nierówności terenu,

— sprawność sterowania itp.

ale nie są one tak różnorodne jak te, które dotyczą np. pojazdów wojskowych.

Dla nas, którzy zajmujemy się problemami motoryzacji rolniczej, najważniejsze są dwa zagadnienia tj.:

— zwiększenie sił trakcyjnych, a więc sprawności trakcyjnej,

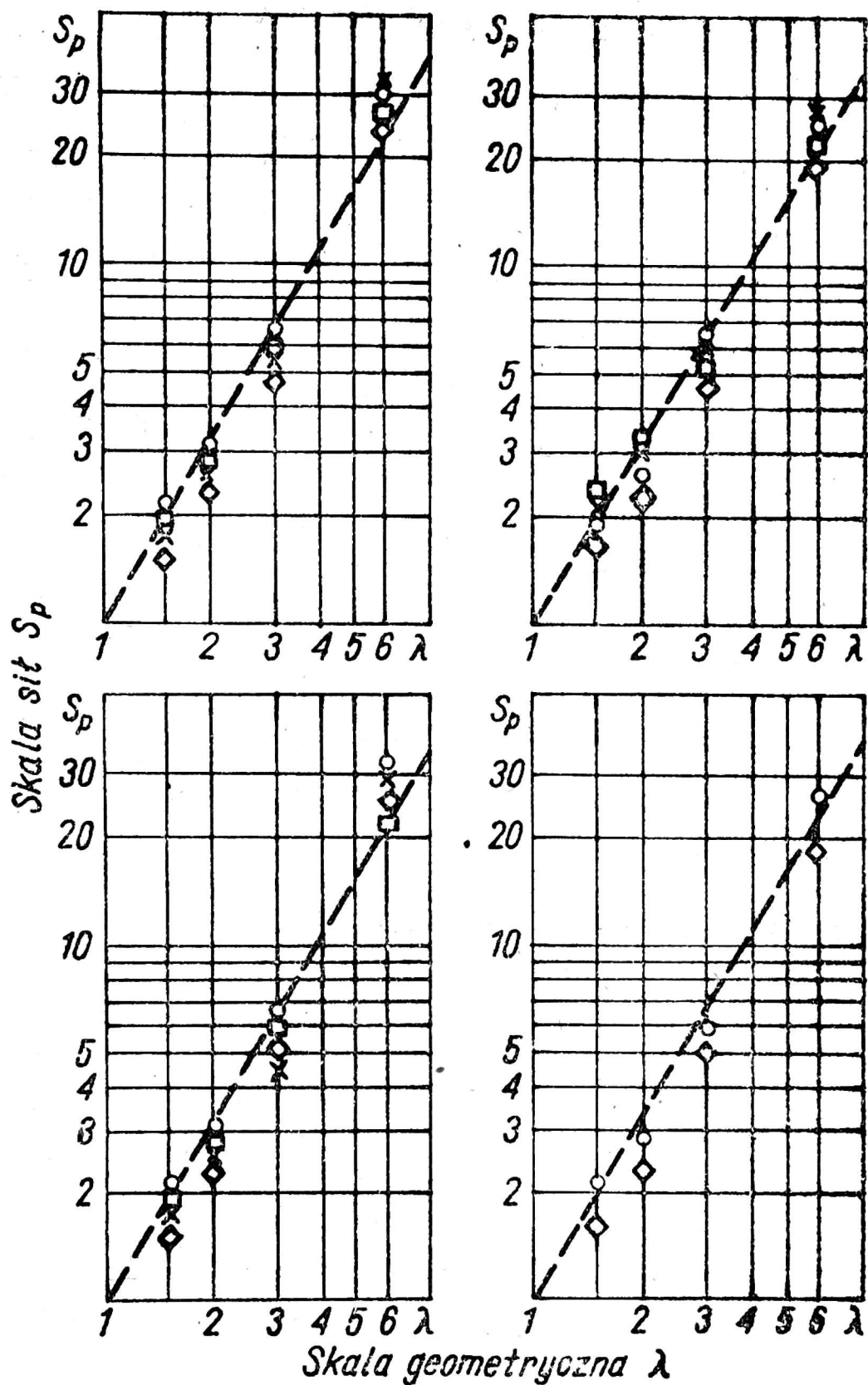
— zmniejszenie ugniecenia gleby a przez to zwiększenie plonów.

Te właśnie dwa zagadnienia chciałem pokrótce naświetlić, wyjaśnić ich znaczenie dla rolnictwa, a także przedstawić rysujące się sposoby ich rozwiązania.

Podstawowe współzależności mechaniki układu pojazd — teren uzależniają ruch pojazdu od właściwości pojazdu i terenu. W odniesieniu do układu mechanizm jezdny — gleba, współzależności te będą zależne od parametrów konstrukcyjnych mechanizmu jezdnego i parametrów trakcyjnych gleby.

Jak wiadomo istnieją zasadnicze dwie podstawowe metody oceny właściwości trakcyjnych. Jedna przy użyciu penetrometru stożkowego, w której mierzy się opór na wciskanie stożkowej końcówki w glebę, a druga w której używane są różnego rodzaju płytki za pomocą których mierzy się opór gleby na ścinanie i ugniätanie. W Polsce stosowana jest przede wszystkim ta druga metoda, przy czym dzięki uwzględnieniu zasad teorii podobieństwa mechanicznego i analizy wymiarowej, opracowany został system parametrów gleby, niezależnych skalarnie, a więc niezależnych od wielkości stosowanych płytek. Przykładem tego może być seria pomiarów współzależności nacisków jednostkowych od jednostkowego odkształcenia, przeprowadzona za pomocą płytek o trzech różnych zależnościach skalarnych wymiarów geometrycznych $\lambda = 1:2:3$ na różnych glebach o zmniejszających się składzie objętościowym piasku i gleby. Pozwoliło to na określenie znanej zależności $P = f(z)$ w postaci przedstawionej na wykresach (rys. 1). W zależności tej, jednostkowe odkształcenie ujęte w postaci zależności z/F gdyż stwierdzono, że przy różnych kształtach powierzchni w proporcjach dotyczących opon rolniczych, tylko powierzchnia a nie jej kształt ma wpływ na uzyskane wyniki (rys. 2).

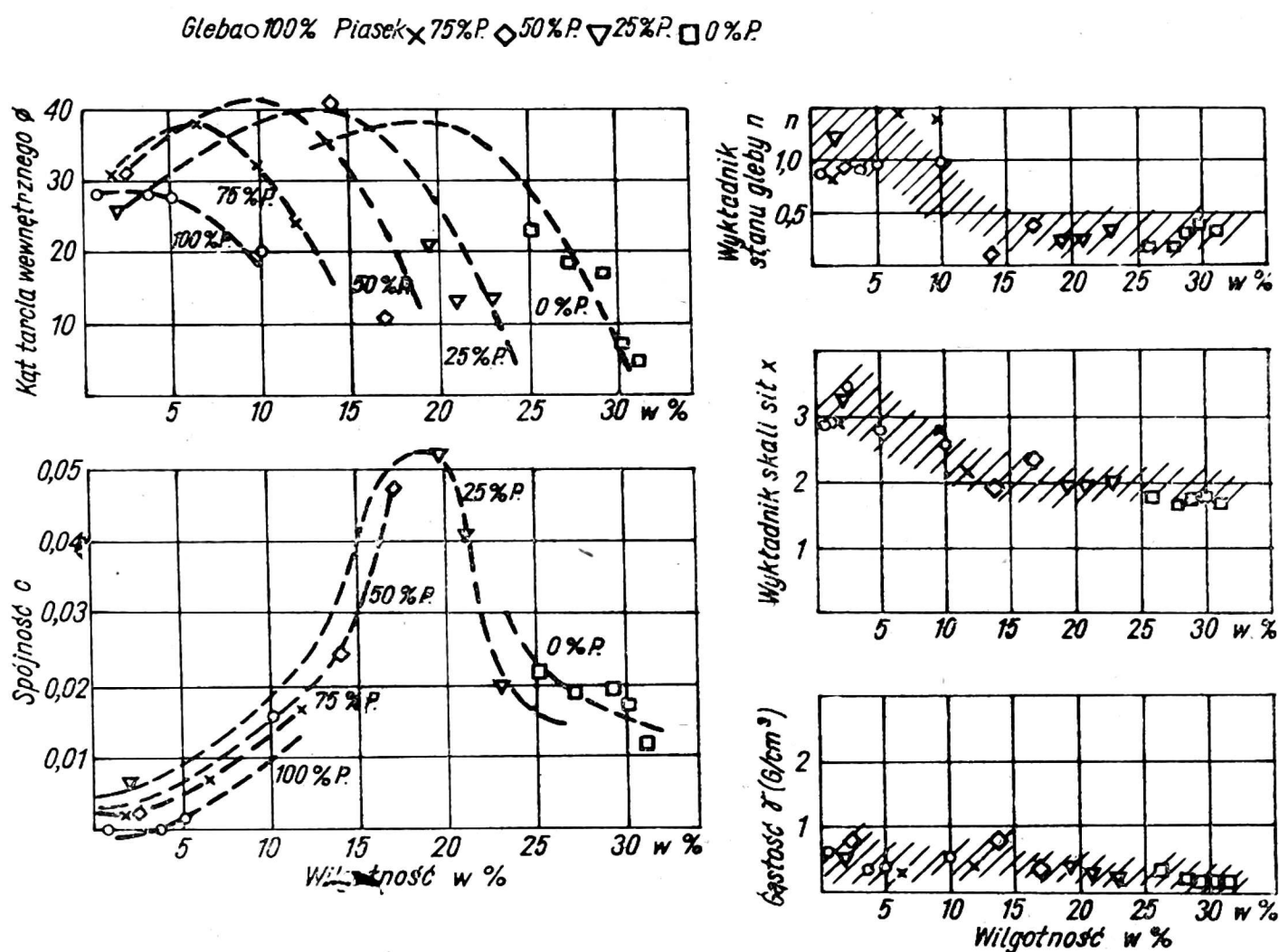
Zagadnienie wyboru systemu parametrów charakteryzujących właściwości trakcyjne gleb i ich klasyfikacja, to niewątpliwie wyjściowy i podstawowy problem do dalszych rozwiązań. Od kilku lat prowadzone są w oparciu o wybrany system pomiary klasyfikacyjne właściwości trakcyjnych gleb polskich. Przeprowadzono wstępne weryfikacje obranego



Płytki

prostokątne
 kwadratowe
 okrągłe
 eliptyczna

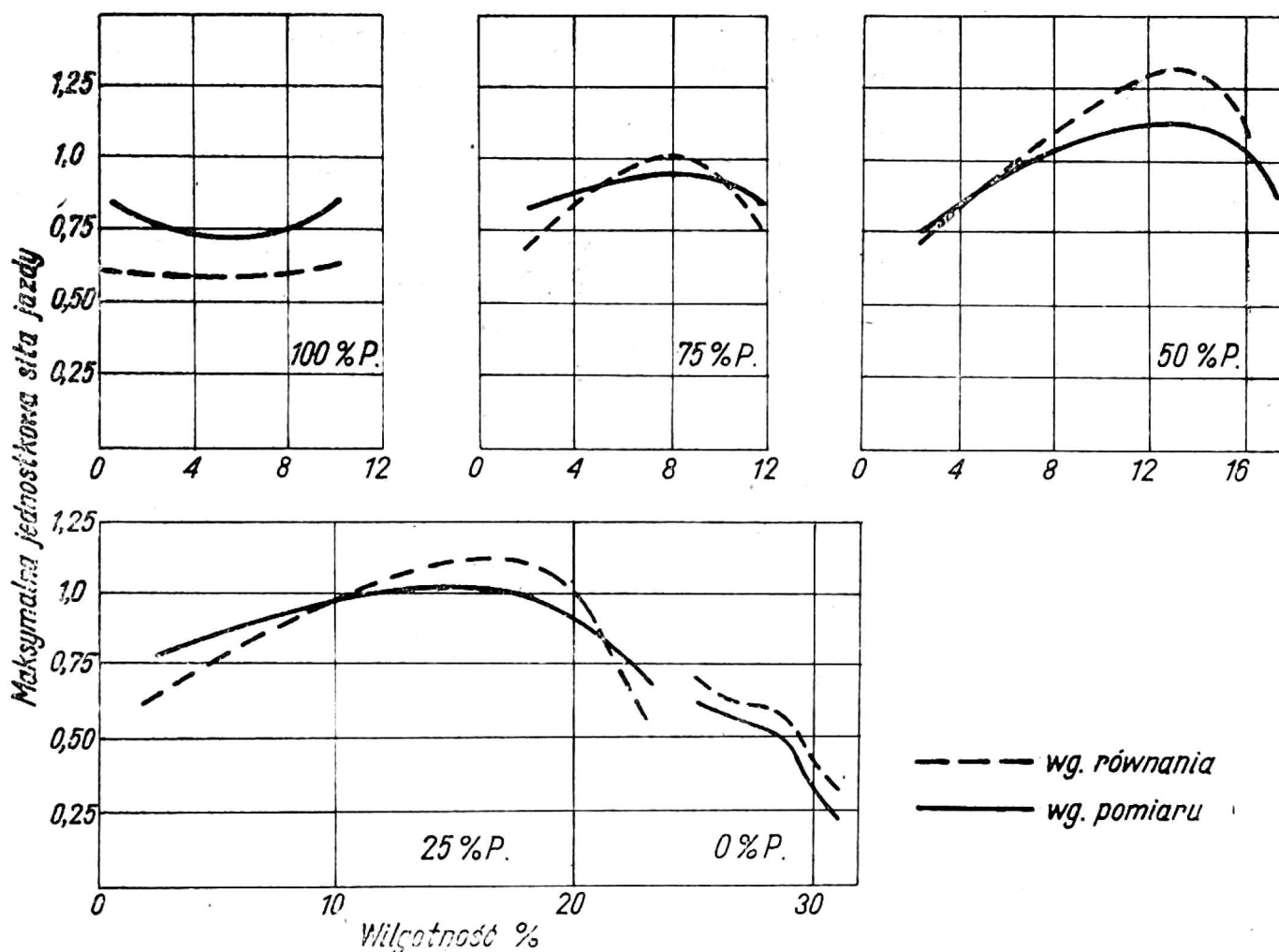
Rys. 2. Zależność między skalą geometryczną λ płytek pomiarowych a skalą S_p sił ugniatania



Rys. 3. Zależność parametrów trakcyjnych gleby od jej wilgotności składu mechanicznego

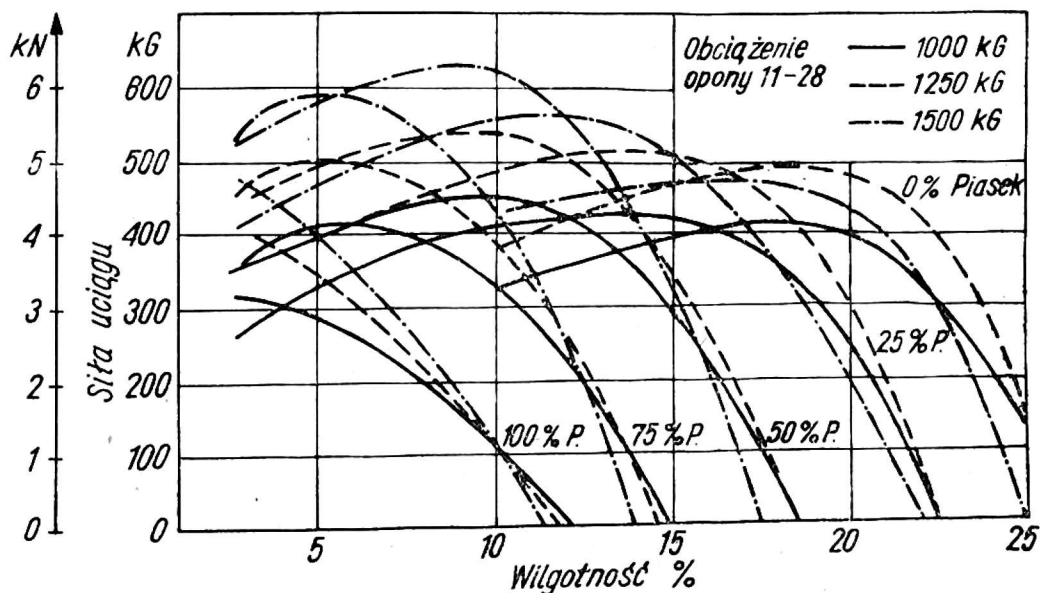
systemu parametrów trakcyjnych gleb, których właściwości dla podanych uprzednio gleb o różnym składzie mechanicznym podano przykładowo na rys. 3. Otrzymano interesujące wyniki porównawcze sił trakcyjnych uzyskanych w badaniach ciągników w porównaniu z tymi, które uzyskano przez obliczenie wg równań stosowanych w mechanice układu pojazd — teren. (rys.4).

Tym samym powstaje realna szansa na uzyskanie metody, która w sposób analityczny pozwoli na ujęcie zmiennego wpływu różnych czynników na uzyskiwanie osiągi trakcyjnej. Przykładem tego może być przedstawiony na rys. 5 zmiany i zależny od warunków glebowych wpływ obciążeń, działających na oponę, na uzyskiwanie siły trakcyjnej. Ma to w rolnictwie szczególne znaczenie ze względu na możliwości wykorzystania systemu narzędzi zawieszanych na ciągniku do zwiększenia sprawności trakcyjnej. Oczywiście zmienność warunków klimatycznych wymaga statystycznego ujmowania wartości parametrów trakcyjnych gleby, co pozwoli na ocenę prawdopodobieństwa uzyskania wymaganych właściwości trakcyjnych, a co przykładowo przedstawiono na rys. 6, w odniesie-

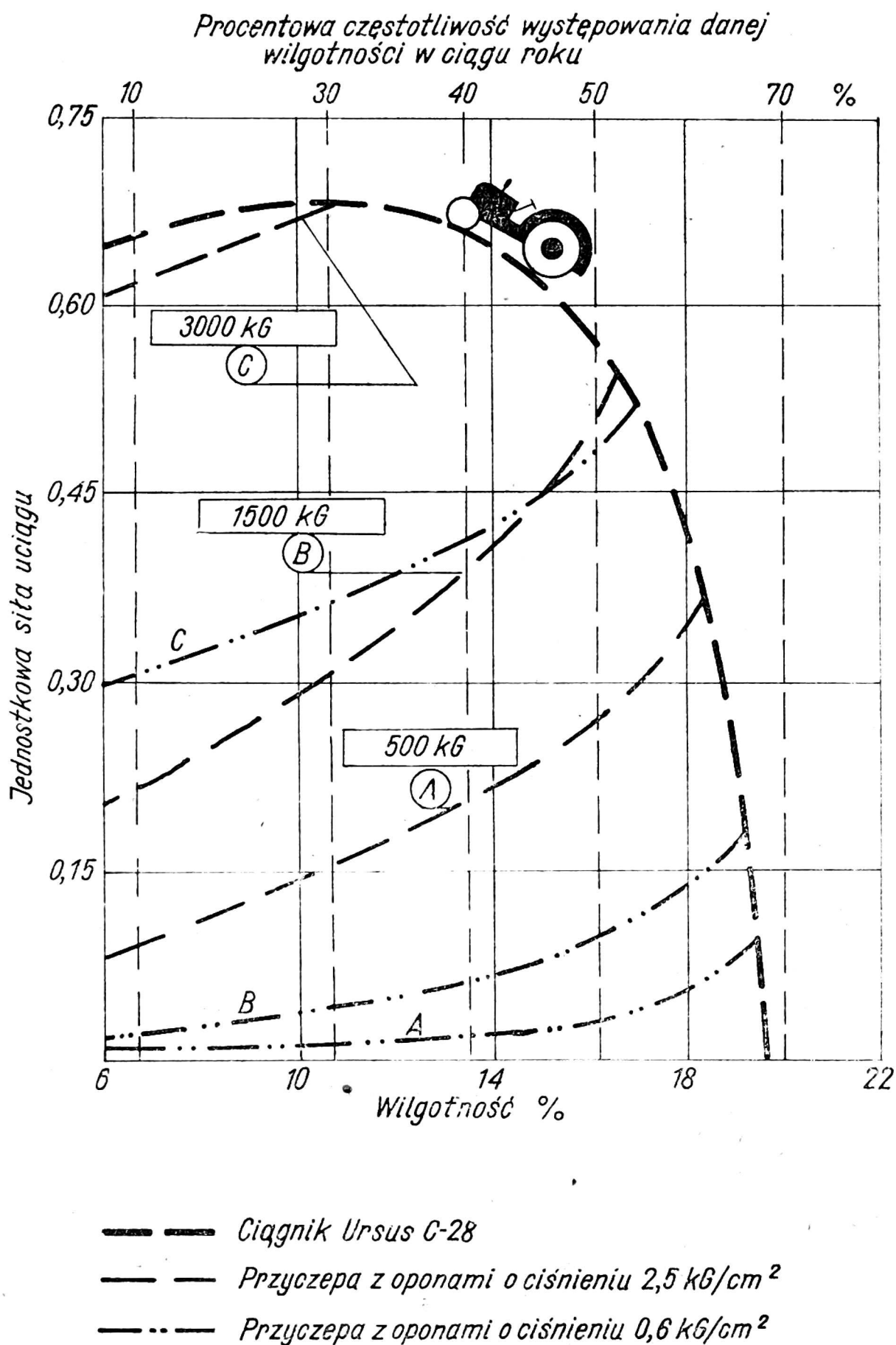


Rys. 4. Zależność maksymalnych wartości jednostkowej siły jazdy od wilgotności gleby o różnym składzie mechanicznym

niu do zagadnienia analizy doboru odpowiednich przyczep dla danego ciągnika. Jak powiedziano na wstępie, uzyskane wyniki są zachęcające, chociaż występują wypadki rozbieżności między wynikami obliczeń i pomiarów. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż stosowane równania two-

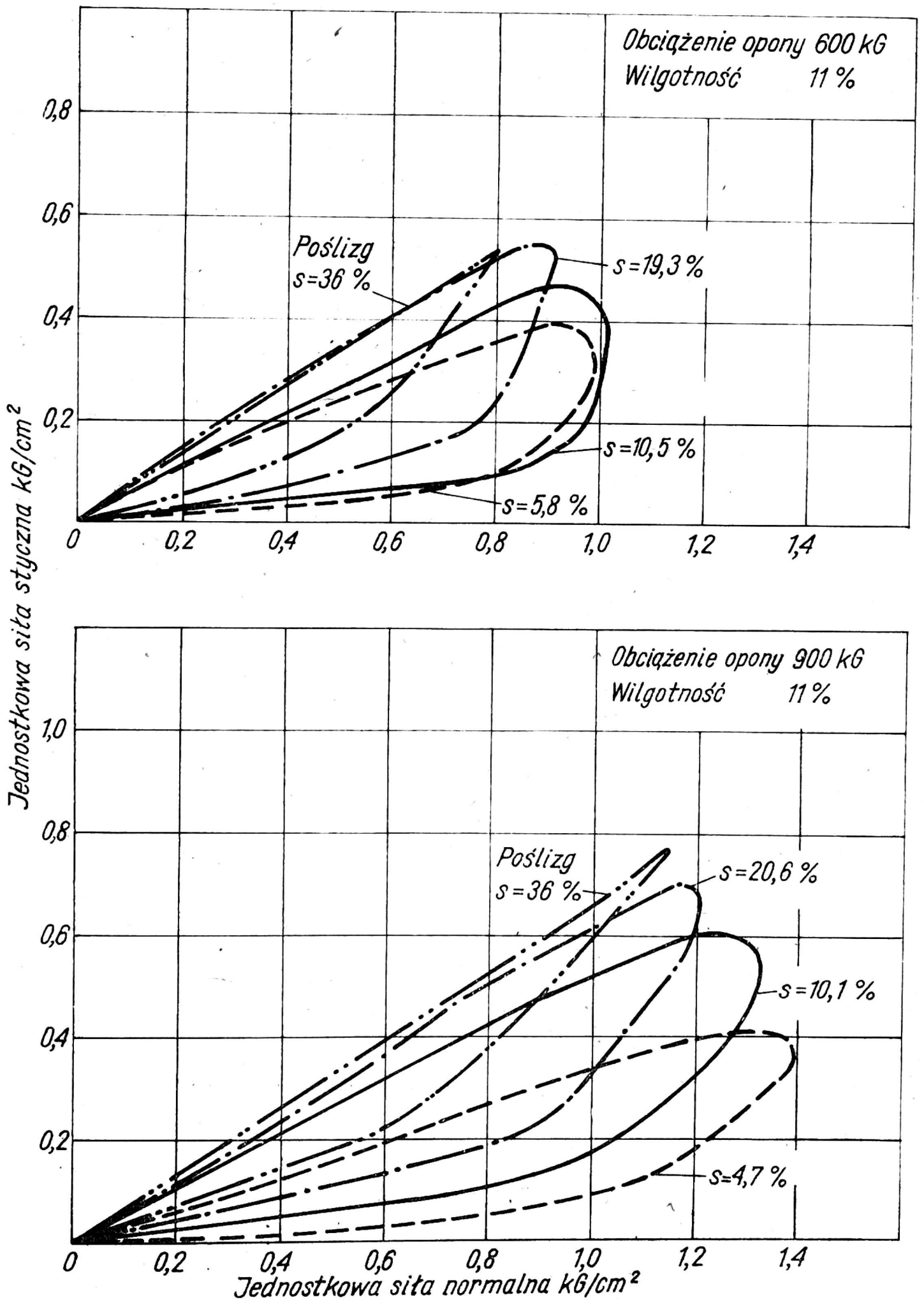


Rys. 5. Wpływ obciążeń opony na uzyskiwaną siłę uciagu na glebie o różnym składzie mechanicznym i wilgotności



Rys. 6. Wpływ wilgotności gleby na jednostkową siłę uciążu

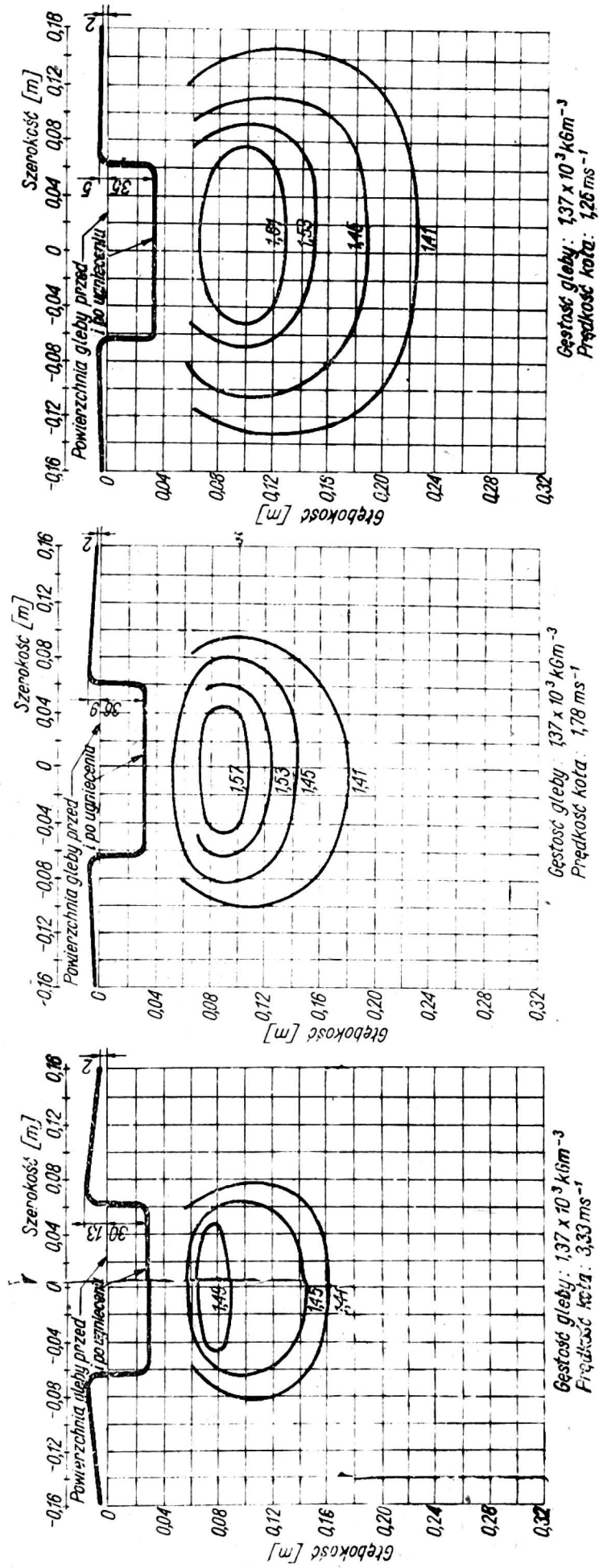
rzę uproszczony w porównaniu z rzeczywistością model współzależności i to nie tylko oddziaływania skomplikowanego kształtu mechanizmu jezd- nego takiego np. jak opona, ale dlatego, że nie ujmuje wszystkich wystę- pujących zjawisk. Przykładem mogą być wyniki pomiarów przedstawione



Rys. 7. Współzależność sił stycznych i normalnych mierzonych na obwodzie koła napędzającego ustalona dla różnych wartości poślizgów koła

na rys. 7., rozkładu naprężeń na obwodzie koła, gdzie stosunek sił stycznych i normalnych mierzonych na obwodzie sztywnego koła napędowego zależy nie tylko od odkształcenia stycznego gleby, a więc wielkości poślizgu, ale i kierunku ich działania, czego nie ujmują równania. Niemniej przeto nawet dotychczas stosowane przybliżone modele matematyczne niły swoje zadania, gdyż pozwoliły przeanalizować i lepiej zrozumieć ujmujące współzależność oddziaływania gleb — mechanizm jezdny, wpływ parametrów konstrukcyjnych maszyny i parametrów trakcyjnych gleby, na uzyskane właściwości trakcyjne. Przez to pozwoliły na wyznaczenie właściwych kierunków dalszego rozwoju. Jednakże przy realizacji tych wytycznych powstają podstawowe trudności. Wynikają one ze sprzeczności wymagań, które trudno jest pogodzić. Stałe dążenie do zwiększenia wydajności prac rolnych powoduje, że obserwuje się stały wzrost mocy i ciężarów maszyn rolniczych, w tym przede wszystkim ciągników i kombajnów. Powoduje to zgodnie z prawem Columba wzrost wytrzymałości gleby na ścinanie, co pozwala przenosić większe siły obwodowe od momentu napędowego. Z drugiej strony powoduje, że nacisk wywierany na glebę stale wzrasta, jako że zgodnie z teorią podobieństwa mechanicznego, wzrostowi ciężaru towarzyszy wzrost objętości maszyn, proporcjonalny do trzeciej potęgi wymiarów geometrycznych, podczas gdy przyrost powierzchni, w tym także powierzchni nacisku opon na glebę, proporcjonalny jest do drugiej potęgi wymiarów geometrycznych. W efekcie na glebę wywierany jest coraz większy nacisk jednostkowy. Proces ugniatania gleby i wpływ tego na rozwój roślin jest zagadnieniem, które było wielokrotnie naświetlane i stanowi przedmiot badań w wielu krajach.

Nie jest to proces ani łatwy do opisanego i wymaga rozpatrzenia wielu zachodzących zjawisk. Zasadnicze znaczenie ma określenie zachowania się podczas odkształcenia gleby pod wpływem wywieranego nacisku trzech faz z których składa się gleba tj. stałej, ciekłej i gazowej. Można przyjąć, że wytrzymałość mechaniczna cząsteczek gleby znacznie przekracza wartości naprężeń wywołane przez mechanizmy jezdne pojazdów i maszyn. W takim wypadku odkształcenie gleby nie oznacza zmiany kształtu cząsteczek stałych, lecz zmiany w ich wzajemnym ułożeniu, prowadzące do zmniejszania się objętości porów zajętych przez wodę i powietrze i jest odkształceniem objętościowym. Ponadto na skutek ugniecenia ulegają zmniejszeniu przede wszystkim duże pory, jako mniej wytrzymałe, przez co pogarsza się dyfuzja gazów, będąca niezbędnym czynnikiem rozwoju roślin. Wreszcie zmniejszenie porowatości gleby dające w efekcie jej zagęszczenie, powoduje wzrost oporu gleby na przebijanie się rozwijających korzeni. Wszystko to wywiera niekorzystny wpływ na rozwój rośliny. Wpływ ten jest większy na glebie wilgotnej, gdzie przy wzrastającym nacisku, zmniejszenie porowatości ustaje w momencie,

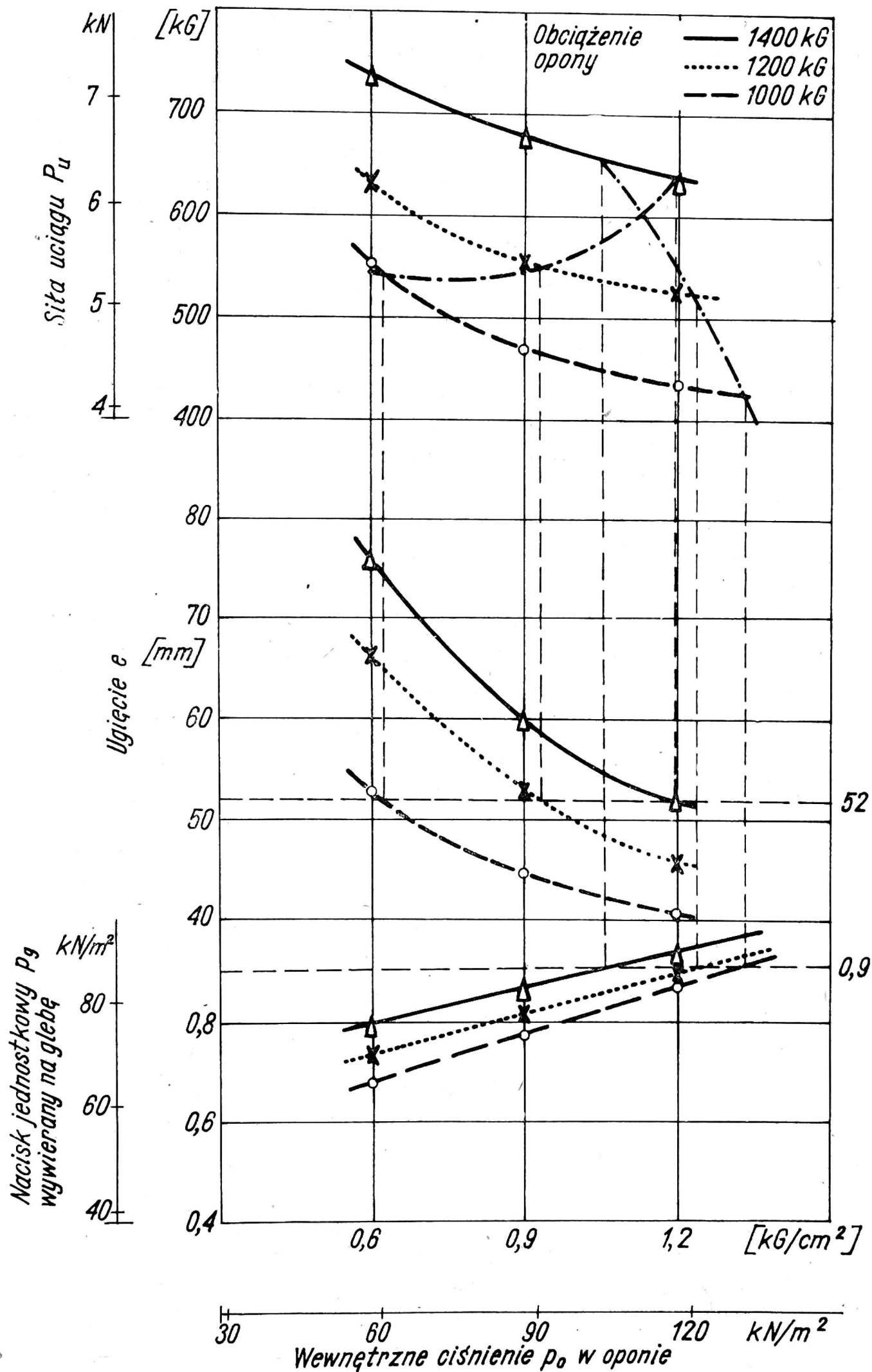


Rys. 8. Zmiana gęstości gleby mierzona pod kołem toczącym się z różną prędkością

w którym wszystkie pory są napełnione wodą co występuje przy niższym nacisku jednostkowym niż na glebie suchej. Praktycznie w takich warunkach, ani rozwój roślin nie jest możliwy, ani przejazd pojazdu, gdyż gleba jest mocno odkształcona a koleina głęboka i na ogół wypełniona wodą. Dla bardzo gliniastej i wilgotnej gleby może to zachodzić nawet przy nacisku jednostkowym na glebę rzędu 40 kNm^{-2} ($0,4 \text{ kG/cm}^{-2}$) powodującym wzrost gęstości gleby do wartości $\gamma = 14 \text{ kNm}^3$ ($1,4 \text{ G/cm}^3$). W przeciętnych warunkach agrotechnicznych, zagęszczenie to uzyskuje się przy naciskach jednostkowych przekraczających wartości $80\text{—}90 \text{ kNm}^3$ ($0,8\text{—}0,9 \text{ kG/cm}^2$), dlatego obecnie uznaje się, iż dla rolniczych opon napędowych jest to graniczne dla prac polowych ciśnienie opon, jako że ciśnienie rzędu 40 kNm^{-2} przy dotychczasowej konstrukcji napędowych opon rolniczych jest trudne do utrzymania.

Zagadnienie zmniejszenia nacisku jednostkowych mechanizmów jezdnych na glebę jest zagadnieniem niezmiernej wagi. Na podstawie badań przyjmuje się wg ostrożnych wyliczeń, że w krajach o wysokim stopniu mechanizacji takich jak np. Szwecja, straty w plonach spowodowane ugniataniem gleby przez opony pojazdów rolniczych średnio wynoszą $5\text{—}10\%$ w zależności od wilgotności gleby i rodzaju pracy. Globalnie straty spowodowane zagęszczeniem gleby w rolnictwie szacowane są w USA na 1,18 miliarda dolarów, a w ZSRR na 500 miliarda rubli. Powyższe liczby świadczą, że problem jest poważny a wszelkie badania, których rezultaty pozwoliłyby na ustalenie chociaż częściowych środków zaradczych należy uznać za niezbędne. Za jeden z takich środków uważa się w naszym kraju zwiększenie prędkości prac uprawowych. Jak wykazały bowiem badania, których przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 8, wzrost prędkości jazdy z $1,25 \text{ ms}^{-1}$ ($4,5 \text{ km/godz}$) do $3,33 \text{ ms}^{-1}$ (12 km/godz) dla gleby o gęstości — $\gamma = 13,5 \text{ kNm}^{-3}$. Przy równoczesnym zmniejszeniu głębokości oddziaływania koła sztywnego na glebę z $0,22 \text{ m}$ do $0,16 \text{ m}$. Jakkolwiek ze względu na wymiary koła (średnica $0,3 \text{ m}$, szerokości $0,12 \text{ m}$) i obciążenie 1471 N wyniki te należy uważać bardziej za jakościowe niż ilościowe. Prowadzona seria pomiarów polowych i obserwacja obecnie rozwijających się roślin wydają się całkowicie potwierdzać te wstępne wyniki. Ponieważ jednak ten kierunek usprawnienia łączy się w szeregu wypadkach ze zmianami technologii prac polowych, szuka się środków możliwych do wprowadzenia od zaraz.

Do takich należy naszym zdaniem stosowanie opon o odpowiednim nacisku na glebę, tak jeśli chodzi o obciążenie jak i ciśnienie powietrza w oponie. W tym celu wspólnie z przemysłem oponiarskim, który zabezpiecza ogumienie dla produkowanej w naszym kraju coraz większej liczby ciągników, rozpoczęto weryfikację dotychczas zalecanych parametrów eksploatacyjnych opon. Wychodząc z pożądanego minimalnego nacisku



Rys. 9. Przykład wyznaczania optymalnych parametrów eksploatacyjnych napędowej opony rolnej

jednostkowego na glebę i dopuszczalnego ze względu na trwałość ugniecenia opony, opracowano metodę optymalizacji parametrów eksploatacyjnych. W tym celu w pomiarach określa się z charakterystyki trakcyjnej dla przewidywanego zakresu obciążeń opony, i przy różnym ciśnieniu powietrza w oponie, wartość siły uciągu uzyskiwaną przy maksymalnej sprawności trakcyjnej, która na ogół występuje przy poślizgu $S = 20\text{—}25\%$.

Z wyników pomiarów ugięcia opony i zmian nacisku jednostkowego opony na glebę, w zależności od ciśnienia powietrza w oponie p_o , uzyskuje się przebieg tych współzależności dla różnych obciążeń G (rys 9). Przyjmując zgodnie z poprzednimi rozważaniami jako dopuszczalny nacisk jednostkowy na glebę $p_o = 90 \text{ kNm}^{-2}$ oraz jako zalecane na podstawie badań trwałości, ugięcie $e = 0,052 \text{ m}$, otrzymuje się linie pożądanego stałego ugięcia i nacisku przecinające linie stałych obciążeń G . Po odniesieniu punktów przecięcia na krzywe sił uciągu, uzyskuje się punkty wyznaczające przedział zawierający zalecane parametry eksploatacyjne, z którego można wybrać wartości optymalne. W tym wypadku $G = 1270 \text{ KN}$ (1300 kG) oraz $p_o = 110 \text{ kNm}^{-2}$ ($1,1 \text{ kG/cm}^2$) lub zalecane dla różnych warunków prac w rolnictwie. Wydaje się, że jest to metoda, która jakkolwiek napewno nie idealna, to jednak pozwoli na bardziej uzasadniony pod względem agrotechnicznym dobór parametrów eksploatacyjnych opon, w porównaniu z tym, które spotyka się w katalogach firm produkujących opony.

Tak kształtuje się przegląd zagadnień, które w naszym kraju starano rozwiązać. Są one w jakimś stopniu wspólne dla wszystkich tych, którzy nie zależnie od szerokości geograficznej, stopnia rozwoju rolnictwa i różnorodnych systemów ekonomiczno-politycznych, zajmują się postępowaniem i mechanizacją rolnictwa, starając się wnieść swój wkład we wzrost wydajności rolnictwa, które w skali światowej stoi przed trudnym problemem zapewnienia żywotności ludności na świecie, a której stan zwiększa się bardzo szybko. Wiadomo ogólnie, że obecnie musi być na świecie wyżywionych 4 miliardy ludzi, żyjących na wszystkich kontynentach. Jeżeli tempo przyrostu nie zmniejszy się, staniemy pod koniec obecnego stulecia przed problemem wyżywienia 7 miliardów ludzi.

Mam nadzieję, że ten trudny w skali światowej problem będzie wtedy także problemem dla większości obecnych tutaj na dzisiejszym otwarciu VI Międzynarodowego Kongresu Mechaniki Układu Pojazd—Teren, i że referaty, które będziemy mieli możliwość teraz wysłuchać, pozwolą nam zapoznać się ze sposobami i metodami, które ułatwią rozwiązanie tego istotnego problemu.