

Prof. dr. inż. WITOLD WIERZBICKI

OD AUTORA

PRÓBA OBLICZEŃ
TRAKCYJNYCH
DLA
KONNYCH PRZEWOZÓW LEŚNYCH

ODBITKA Z „LASU POLSKIEGO“
Nr. 1—4 z 1932 r.

W A R S Z A W A — 1 9 3 2

WYDZIAŁ ARCHITENTURY
Politechniki Warszawskiej
nr 24377 Inżyniera

BIBLIOTEKA
WYDZIAŁU ARCHITEKTURY
Politechniki Warszawskiej

Prof. dr. inż. WITOLD WIERZBICKI

PRÓBA OBLICZEŃ TRAKCYJNYCH

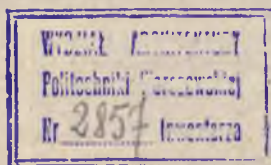
DLA

KONNYCH PRZEWOZÓW LEŚNYCH

ODBITKA Z „LASU POLSKIEGO”
Nr. 1—4 z 1932 r.

629.112

W A R S Z A W A — 1 9 3 2



1. ISTOTA ZAGADNIENIA.

Wprowadzanie w życie nowoczesnych poglądów naukowych na urządzenie lasu, pociąga za sobą konieczność jaknajłatwiejszego dostępu do środka danego obszaru leśnego. W związku z tem jest dążenie do organizowania w urządzanych lasach sieci komunikacyjnej, zdolnej do sprostania przewozom, pochodzącym z punktów bardzo rozrzuconych, aczkolwiek z jednego punktu lasu niezbyt wielkim.

Dążąc do stworzenia na danym obszarze leśnym komunikacji możliwie najtańszej, uciekamy się do urządzania sieci o różnych kategoriach dróg. Rolę dróg kategorii wyższej odgrywają tu zwykle wąskotorowe koleje leśne, zaś rolę dróg niższej kategorii — drogi bezszynowe, sztucznie ulepszone, nieraz jednak i nieulepszane, znajdujące się więc w stanie pierwotnym, czyli w stanie, w jakim je stworzyły sobie same przechodzące po nich wozy¹⁾.

Ponieważ w normalnych warunkach przewóz drewna po drogach lepiej urządzonych, a więc naogół urządzonych z większym nakładem kosztów, jest tańszy, a po drogach taniej wybudowanych droższy, powstaje zagadnienie, co jest, z ekonomicznego punktu widzenia, korzystniejsze w danym przypadku, czy tańszy przewóz po droższej drodze, czy też odwrotnie. To zadanie musi być rozwiązane, gdy chodzi o wybór najwłaściwszego typu drogi dla danej arterji komunikacyjnej. Podstawą takiego wyboru musi być, z jednej strony, kosztorys budowy drogi, z drugiej zaś, obliczenia trakcyjno-ruchowe przewidywanych przewozów po tej drodze.

Dokonywane a priori obliczenia trakcyjno-ruchowe dają wyniki tembardziej odpowiadające rzeczywistości, im w sposób bardziej regularny działa silnik, będący w danym razie źródłem siły pociągowej. Z tego powodu obliczenia trakcyjne dla parowej siły pociągowej już dawno zostały doprowadzone do potrzebnej precyzji i są stosowane powszechnie. Natomiast dla siły pociągowej konnej, wskutek niedostatecznego zbadania konia, jako źródła siły, obliczenia trakcyjne bądź wogóle nie są stosowane, bądź też stosowane

¹⁾ Por. W. Wierzbiński: „O właściwościach handlowo-ruchowych sieci komunikacyjnych leśnych“, „Las Polski“, 1931 r.

fragmentarycznie, w kwestjach bardziej zbadanych doświadczalnie. Aby doświadczenia z trakcją konną miały kierunek właściwy, należy uświadomić sobie, jakie mianowicie dane z tego zakresu są potrzebne do kalkulacji przewozów, do obliczenia zaś kosztów konnych przewozów leśnych w szczególności. Stąd wydaje się celem omówienie całokształtu zagadnień trakcyjno-ruchowych dla siły pociągowej konnej, nawet pomimo nieposiadania narazie dostatecznych danych doświadczalnych.

Istota obliczeń trakcyjnych jest następująca.

Wóz łącznie z końmi rozpatrujemy jako układ brył swobodnych, posuwających się w kierunku zbliżonym do poziomego i znajdujących się pod działaniem dwu sił, z których jedną, działającą w kierunku ruchu, nazywamy siłą pociagową (T), drugą zaś, działającą w kierunku odwrotnym, oporem ruchu (R).

Jeżeli przez m oznaczymy łączną masę wozu i koni, a przez v' przyspieszenie całego układu, wówczas zgodnie z prawami mechaniki znajdziemy:

$$mv' = T - R \dots \dots \dots (1)$$

O ile wóz nie rusza z miejsca, nie zatrzymuje się i nie przechodzi przez punkty nagłego załamania się profilu drogi, ruch jego znajduje się w stanie, zbliżonym do stanu ruchu jednostajnego. wobec czego $v' = 0$, więc

$$T = R \dots \dots \dots (2)$$

Ponieważ siły T i R są naogół pewnymi funkcjami prędkości ruchu v , wstawiając więc w równanie (2), zamiast tych sił odpowiednie funkcje, dojdziemy do równania względem v , z którego będziemy mogli tę wielkość wyznaczyć dla poszczególnych warunków ruchu.

Znając v , możemy w dalszym ciągu obliczyć czas, potrzebny do przejścia wozu po danym odcinku drogi, a co za tem idzie, możemy również ustalić potrzebną liczbę wozów i koni do wykonania danego przewozu.

Z powyższego wynika, że badanie ruchu pojazdów konnych, winno iść, po pierwsze, w kierunku wyznaczenia oporów, jakie te pojazdy muszą przezwyciężać, powtóre, w kierunku badania własności siły pociągowej koni i po trzecie, w kierunku ustalenia największej prędkości technicznej przewozów.

Ponieważ ruch pociągów kolei leśnych, ze względu na właściwości silnika parowego, poddaje się bardziej, niż ruch pojazdów konnych, badaniu metodycznemu, będziemy się tu nieraz powoły-

wali na wyniki, osiągnięte przy badaniu trakcji parowej¹⁾, tembardziej, iż ułatwi to w znacznym stopniu porównanie ze sobą obu rodzajów trakcji, tak ważnej przy decyzji co do wyboru typu technicznego pewnej arterji komunikacyjnej.

2. DANE DOTYCZĄCE OPORU RUCHU NA DROGACH.

Przy przewozach po drogach zwykłych (bezszynowych) oporu doznaje zarówno sam wóz, jak i konie, podobnie jak na kolejach — wagony i parowóz. O ile jednak obliczenie oporu parowozu na kolejach leśnych nie nastęrcza trudności dużo większych, niż obliczenie oporu wagonów, o tyle na drogach zwykłych na opór ruchu konia składają się czynniki tak dalece różne od tych, które stanowią opór wozu, że te wielkości nie mogą być rozważane równolegle. Stąd w obliczeniach uproszczonych bywa brany pod uwagę nieraz tylko opór wozów, co jednak nie może dać zadawalających wyników przy wyznaczaniu prędkości ruchu.

Opór ruchu konia może być rozpatrywany tylko łącznie z jego siłą pociagową, dlatego też jego rozpatrzenie odnosimy do paragrafu następnego.

Badania nad oporem wozu miały głównie miejsce w czasach, kiedy pojazd konny był jedynym prawie środkiem komunikacji lądowej. Badania te zostały zapoczątkowane przez Edgeworth'a w Irlandji w r. 1797, a następnych lat były prowadzone, w dość ograniczonym jednak zakresie, przez szereg inżynierów francuskich i angielskich. Decydującymi prawie w tej dziedzinie były badania Morin'a, najliczniejsze i najdoskonalsze pod względem metodycznym (lata 1838 — 1841), oraz badania Dupuit'a (r. 1834 i r. 1840). W późniejszych czasach, ze względu na rozwój kolei żelaznych, badania nad oporami ruchu pojazdów konnych nie były już wznawiane w szerszym zakresie. Należy jednak oczekiwać, iż, ze względu na konieczność oszczędności przy przewozach leśnych, będą musiały badania oporu dla tego rodzaju przewozów być w krótkim czasie podjęte.

Na podstawie wymienionych badań przytaczamy tu fakty, potrzebne do dalszych rozważań.

Na opór R wozu w czasie jego ruchu składają się siły następujące:

¹⁾ Por. W. Wierzbicki: „Przybliżony sposób obliczenia przelotności linii kolejowych leśnych“, — „Las Polski“, 1930 r.

- 1) tarcie w maźnicach,
- 2) tarcie potoczyste na powierzchni obręczy kół i przypadkowe nierówności drogi,
- 3) składowa siła ciężkości, równoległa do płaszczyzny, po której posuwa się wóz, zwrócona przeciwnie do kierunku ruchu.

Opory, spowodowane przechodzeniem wozów po łukach drogi nie mają dla konnych przewozów leśnych prawie żadnego znaczenia i nie są naogół brane pod uwagę ¹⁾.

Opór ruchu, spowodowany tarcieniem w maźnicach, uważany jest za wprost proporcjonalny do promienia obwodu osi koła ρ_m i odwrotnie proporcjonalny do promienia koła ρ ²⁾, czyli że

$$R_1 = f_1 P \frac{\rho_m}{\rho} \dots \dots \dots (3)$$

gdzie f_1 jest to współczynnik tarcia, przyjmowany w ostatnich doświadczeniach Morin'a, jako $f_1 = 0,065$. Ponieważ stosunek $\frac{\rho_m}{\rho}$ zwykle bardzo mało różni się od 0,06, więc przyjmujemy zwykle w obliczeniach, że

$$R_1 = 0,004 P \dots \dots \dots (4)$$

co odpowiada oporowi $r_1 = 4$ kgm. na 1 tonnę ciężaru (czyli 4‰).

Opór na powierzchni kół znajduje główne swe źródło w tym, że koło w miejscu zetknięcia się z powierzchnią drogi, zgniata do pewnego stopnia jej materiał i wciska się w ten sposób w tę powierzchnię ³⁾, doznaje jednak przy tym i samo pewnego spłaszczenia (rys. 1). Przy posuwaniu się koła naprzód, musi ono zgnieść



Rys. 1

1) Por. J. Marchet: „Der Landstrassen und Waldwegebau“, Wien, 1925. str. 4.

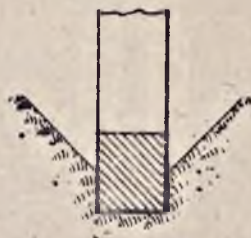
2) Por. Prof. E. Bratro: „Budowa i utrzymanie dróg kołowych“, 1921.

3) Por. W. Wierzbicki: „Mechanika Budowli“, Warszawa, 1929, str. 169.

przegrodę w postaci skarpy zagłębienia, w którym się znalazło; siła, potrzebna do wykonania tej pracy, stanowi główną część oporu wozu na powierzchni drogi (rys. 2). Siła ta, proporcjonalna do obciążenia kół, zależy pozatem w pewnych warunkach od szerokości obręczy i promienia kół wozu.



Rys. 2



Rys. 3

Na drogach o powierzchniach miękkich, wpływ szerokości obręczy kół wozu na opór ruchu jest większy, niż na drogach o powierzchni twardej. Tłumaczy się on w ten sposób, że przy szerszych kołach ciśnienie, przypadające na jednostkę powierzchni drogi jest mniejsze, koło mniej wciska się w drogę i wobec tego w czasie ruchu niższą skarpy zagłębienia ma do zgniecenia. Wpływ ten wyraża się cyfrą około 20% przy różnicy szerokości obręczy o 100%, ponieważ jednak szerokość obręczy wozów, służących do przewożenia leśnych, a więc przeważnie zwykłych wozów gospodarskich waha się w granicach znacznie mniejszych¹⁾, możemy zwykle wpływ szerokości obręczy na obliczenia ruchu pomijać.

Prędkość ruchu, pozostaje, według Morin'a²⁾, bez wpływu na opór ruchu wozu, o ile ruch odbywa się po drodze, o powierzchni miękkiej i ma pewien wpływ na drogach o powierzchniach twardych: w tym ostatnim wypadku dwukrotne nawet zwiększenie prędkości ruchu, wywołuje zwiększenie oporu nie większe, od 2%.

Przy przechodzeniu wozów po drodze piaszczystej, ruch wozu doznaje pewnego oporu jeszcze i wskutek tarcia posuwistego, powstającego na bocznych powierzchniach kół, wskutek zagłębienia się ich w piasek (rys. 3).

Wpływ promienia kół wozu na opór ruchu tłumaczy się tem, że im promień jest większy, tem większa jest powierzchnia przy-

¹⁾ Por. Prof. S. Biedrzycki: „Wóz gospodarski“.

²⁾ Por. F. Loewe: „Strassenbaukunden“, 1895.

legania obręczy kół do drogi i na jednostkę tej ostatniej przypada ciśnienie tem mniejsze; w mniejszym więc też stopniu koło zagłębia się tu w drogę. Wpływ promienia kół na opór ruchu wyraża się, według Morin'a, wzorem

$$R_2 = f_2 \frac{P}{\rho} \dots \dots \dots (5)$$

gdzie f_2 jest to współczynnik, otrzymany z doświadczeń. Przy przewozach leśnych, promień kół wozów nie ulega zwykle większym wahaniom, tak, że może tu być przeważnie uważany za wielkość stałą.

Jeżeli pominąć wpływ, jaki mają na opór ruchu wozów po drogach leśnych, promień kół ρ , promień osi (ρ_m), szerokość obręczy i prędkość ruchu, wówczas znajdziemy, że całkowity opór wozów jest proporcjonalny do obciążenia kół i będziemy mogli ustawić wzór:

$$R = fP \dots \dots \dots (6)$$

gdzie współczynnik f musi być wzięty z doświadczenia. Współczynnik ten równy jest oporowi jednostkowemu wozu r t. j. oporowi, przypadającemu na jednostkę ciężaru wozu, który wyraża się zwykle w kg. na t., czyli w ‰. Przeciętne wartości r przedstawiają się w sposób następujący:

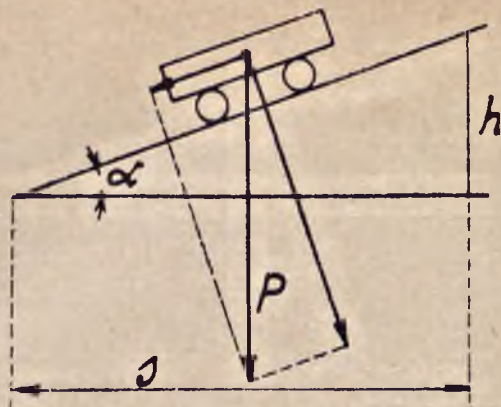
dla sypkiego piasku	0,150 — 0,300, a więc $r = 150 — 300$ kg/t.
dla drogi zwirowanej	0,100 — 0,160, a więc $r = 100 — 160$ kg/t.
dla drogi błotnistej	0,100 — 0,120, a więc $r = 100 — 120$ kg/t.
dla suchej drogi gruntowej	0,045 — 0,080, a więc $r = 45 — 80$ kg/t.
dla drogi szosowanej	0,015 — 0,050, a więc $r = 15 — 50$ kg/t.

Dla porównania należy powiedzieć, że jednostkowy opór wagonu kolei leśnej wynosi około 0,004, czyli 4 kg. na 1 t., a jednostkowy opór parowozu — 10 kg. na 1 t.

O ile wóz, posuwający się po powierzchni o tyle o ile równej napotyka na przeszkodę w postaci kamienia, większego kawałka drewna lub zagłębienia na drodze, wówczas potrzebna jest pewna siła na przewyciężenie podobnych przeszkód, co stwarza opory trudno poddające się obliczeniu.

Gdy wóz posuwa się po płaszczyźnie, nachylonej do poziomu pod kątem α (rys. 4), wówczas składowa jego ciężaru, działająca w kierunku przeciwnym do ruchu, wyniesie

$$R_i = C \sin \alpha \dots \dots \dots (7)$$



Rys. 4

Ponieważ wzniesienia drogi przedstawiamy sobie zwykle, jako stosunek

$$i = \frac{h}{p} = \operatorname{tg} \alpha \quad \dots \dots \dots (8)$$

i ponieważ nawet przy znacznym wzniesieniu, wynoszącym $i = 20\%$ α różni się od $\sin \alpha$ zaledwie o 2%, możemy więc wzorowi (7) nadać postać

$$R_i = P i \quad \dots \dots \dots (9)$$

We wzorze tym, $i = r'$, t. zn. jednostkowemu oporowi na wzniesieniu.

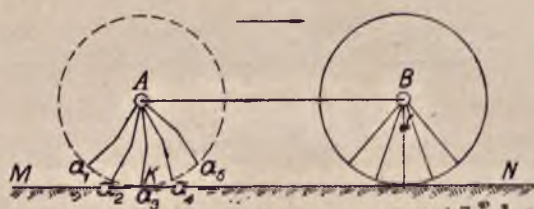
3. KOŃ, JAKO ŹRÓDŁO SIŁY POCIĄGOWEJ.

Porównywując ze sobą konia i parowóz, jako dwa źródła siły pociągowej, musimy sobie uświadomić, że o ile na powstawanie siły pociągowej w parowozie, możemy mieć wpływ bezpośredni, o tyle jesteśmy prawie bezsilni, gdy chodzi o powiększenie siły pociągowej danego konia.

W parowozie siła pociągowa powstaje, jako przekazana na obwód kół napędnych siła ciśnienia pary na tłoki. Siła pociągowa w ten sposób rozumiana, nazywa się zwykle siłą pociagową na obwodzie kół i stanowi niejako siłę, z którą parowóz, dzięki tarcia posuwistemu, odpycha się od szyn. Rozróżniamy siłę tę od siły pociągowej na haku, t. j. od siły, z jaką parowóz ciągnie wagony. Pierwsza z tych sił zawiera też tę część siły pociągowej, która wprawia w ruch sam parowóz, druga zaś tej części nie zawiera.

Przechodząc do siły pociągowej konia, musimy zdać sobie sprawę z tego, że sposób przekazywania tej siły na powierzchnię drogi poprzez układ mięśniowy i kostny konia jest bardzo skomplikowany, a wchodzenie w szczegóły kinematyczne i kinetyczne tego zagadnienia jest, z komunikacyjnego punktu widzenia, bezcelowe, gdyż na przebieg zjawiska wpływu tu mieć nie możemy¹⁾.

Z naszego punktu widzenia siłą pociągową konia możemy zająć się dopiero wówczas, gdy zostanie ona przekazana na powierzchnię drogi i stanie się wówczas równoległą do powierzchni drogi składową siły, z którą koń odpycha się od powierzchni drogi. Siła ta będzie więc odpowiadała tu sile pociągowej parowozu na obwodzie kół napędnych.



Rys 5

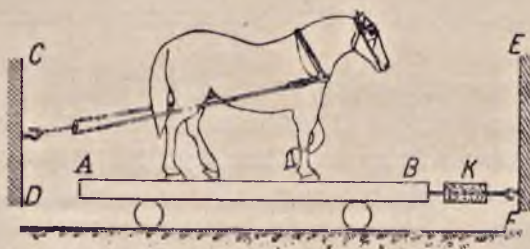
Dla podkreślenia analogii, możemy sobie przedstawić konia, jako obciążony pionowo układ kół napędnych (rys. 5). Obracające się dookoła pewnego punktu A nogi konia zajmują kolejno jedno położenie Aa_1, Aa_3, Aa_5 i t. d., druga — położenia Aa_2, Aa_4, Aa_6 i t. d., gdzie a oznacza koniec nogi konia, względnie zmienny punkt styczności kopyta konia z powierzchnią drogi (inaczej punkt K). Odpowiednie położenia zajmowałyby szprychy koła, mającego środek w punkcie A . Ze względu na równowagę układu AB jest rzeczą obojętną, czy jest on podtrzymywany w punkcie A przez dwa zastępujące się wzajemnie w położeniu AK i wysuwające się jeden przed drugi pręty Aa , przedstawiające w schemacie tylne nogi końskie, czy też przez dłuższy szereg prętów, zmieniających się w położeniu AK kolejno jeden za drugim i odpowiadającym szprychom kół, pozbawionych, co prawda, w danym razie fizycznego obwodu.

¹⁾ Pewne światło na omawiane zagadnienie rzucić może praca O. Fischer'a o kinematyce ruchu człowieka p. t. „Methodik der speziellen Bewegungslehre“, Handbuch der physiologischen Methodik, 1911.

Rolę tarcia posuwistego między kołami napędzonymi parowozu a szynami, odgrywa w danym razie siła przyczepności między kopytami konia a drogą, wywołana bądź tarcie między kopytami a powierzchnią drogi, bądź też wbijaniem się podków w drogę.

Ponieważ przy zmianie nogi konia ma miejsce pewne wahanie się jego środka ciężkości w kierunku pionowym, część wysiłku zwierzęcia zostaje zużyta na unoszenie środka ciężkości.

Siła pociągowa konia w poziomie drogi nie daje się wyznaczyć drogą wzoru analitycznego. Gdybyśmy chcieli ją wyznaczyć dokładnie drogą doświadczalną, musielibyśmy się uciec do metod zbliżonych do sposobów badania parowozów. Aparatura doświadczenia powinna mieć w takim razie schemat przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6

Mamy tu fragment drogi wykonanej na platformie sztywnej przesuwającej się na rolkach lub kółkach przy tarcie możliwie jaknajmniejszym. Koń porusza się po platformie, przyczem jest zaczepiony do nieruchomej powierzchni CD tak, że przy pracy jego nóg nie on przesuwają się po platformie, lecz platforma przesuwa się względem niego w kierunku przeciwnym. Między platformą AB , a nieruchomą płaszczyzną EF umieszczony jest dynamometr, który wskazuje siłę, z którą koń odpycha platformę, równą sile z jaką odpychałby się od niej, gdyby mógł się przesuwać, a platforma była nieruchoma; jest to więc siła pociągowa konia, mierzona w poziomie drogi T .

Inny sposób obliczenia siły pociągowej T , w schemacie prostszy, ale w wykonaniu nieraz również kłopotliwy, polega na następującym.

Zmuszamy mianowicie konia do posuwania się bez wozu po płaszczyznach nachylonych do poziomu pod różnymi kątami w kierunku do góry, przyczem staramy się, aby wspomniane płaszczyzny dawały jaknajmniejszy opór ruchowi. Zauważamy to nachylenie i , przy którym koń może się jeszcze bez wielkiego wysiłku poruszać.

Jeżeli ruch konia jest przytem jednostajny, to z równań (2) i (9) wyznaczmy wówczas T .

Zwykle maximum wzniesienia, po którym koń może poruszać się bez wozu i obciążenia, waha się około 20%, a więc przy $i = 0,200$. Stąd siła pociągowa konia, mierzona na powierzchni drogi wynosi około

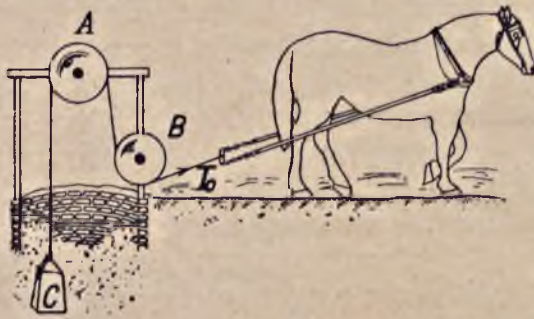
$$T = 0,200 P_k \text{ do } T = 0,140 P_k \quad (10)$$

gdzie P_k oznacza ciężar konia.

Siła T ulega wahaniom dla koni o tym samym ciężarze w zależności od ich właściwości indywidualnych, od warunków ich pracy i t. d., co zostanie omówione niżej.

Siła pociągowa T_0 , z jaką koń ciągnie wóz, odpowiadająca sile pociągowej parowozu na haku, różni się od siły pociągowej T tem, że nie zawiera siły, którą musi zużyć zwierzę na przesuwanie swego własnego ciała.

Najprostszy sposób wyznaczenia siły T_0 polega na następującem. Przez dwa bloki A i B przerzucona jest linka, na której końcu C znajduje się ciężar, a na drugim wprzężony jest koń. Gdy koń posuwa się ruchem jednostajnym, jego siła pociągowa równa się oporowi. Możemy więc tu przyjąć z pewnem przybliżeniem, że siła pociągowa konia na haku orczyka równa się ciężarowi C . Pomijamy tu zarówno tarcie na blokach, jak i ciężar (rys. 7).



Rys. 7

Dla dokładniejszego pomiaru siły pociągowej używane są jeszcze od czasów Morin'a dynamometry, umieszczone między orczykiem a wozem. Morin stosował je do wyznaczania oporów ruchu, przyjmując, że przy ruchu jednostajnym opór równa się sile pociągowej. Przy badaniach przeprowadzonych w Ameryce w Iowa

State College of Agriculture¹⁾ stosowano specjalne wozy dynamometryczne, obciążone blokami żelaznymi i zaopatrzone w motory samochodowe w końcu przeciwnym do miejsca zaczepienia koni, służące do usuwania wozów po doświadczeniach.

Wspomniane wyżej badania amerykańskie wykazały, że przy drodze 30 kłm. dziennie (20 mil) może koń rozwinąć bez większego wysiłku siłę pociągową (na haku) w granicach dla różnych koni, od

$$T_0 = 0,125 P_k \quad \text{do} \quad T_0 = 0,100 P_k \quad (11)$$

Różnica między siłą pociągową w poziomie ziemi (T), a siłą pociągową na haku stanowi siłę pociągową potrzebną do przesuwania się samego konia; siła ta równa się więc przy jednostajnym ruchu po płaszczyźnie poziomej konia jego oporowi wewnętrznemu, czyli że

$$T - T_0 = R_k \quad (12)$$

Jak wynika ze wzorów (10) i (11) R_k waha się w granicach

$$R_k = 0,075 P \quad R_k = 0,040 P \quad (13)$$

Odpowiada to oporom jednostkowym

$$r_0 = 75 \text{ kg/t} \quad r_0 = 40 \text{ kg/t} \quad (14)$$

Porównywując opór jednostkowy konia z oporem jednostkowym parowozu podkreślić należy, iż opór tego ostatniego składa się z oporu jego, jako pojazdu, i z oporu, jako maszyny. A więc, przyjmując gólny opór parowozu leśnego na 1 tonę jego ciężaru 10 kg, możemy uważać wobec cyfr przytoczonych w paragrafie poprzednim, że 4 gk. stanowi tu opór parowozu, jako pojazdu, czyli opór zewnętrzny, a 6 kg. jest to opór jednostkowy maszyny i mechanizmu, czyli opór wewnętrzny.

Gdy chodzi o konia, podział całkowitego oporu na opór wewnętrzny i zewnętrzny nie może być wykonany dokładnie. Zbliżyć się jednak do tego podziału możemy drogą rozumowania następującego.

Opór przypadający na jednostkę ciężaru wozu zależy, w myśl powiedzianego w paragrafie poprzednim, z pewnemi zresztą zastrze-

¹⁾ C. F. Curtiss, Testing draft horses, Ames, Iowa, str. 201.

zeniami, jedynie od właściwości drogi. Głównym źródłem tego oporu jest, mianowicie, zgniatanie powierzchni drogi przez koła; podobne zgniatanie na miejsce również i pod kopytami konia; wprowadzie zgniatanie zapomocą obręczy nosi charakter pracy dźwigni, zgniatanie zaś kopytem odbywa się bezpośrednio w kierunku pionowym, jednak w przybliżeniu możemy przyjąć, iż jednostkowy opór zewnętrzny jest ten sam w obydwóch wypadkach, po potrąceniu oczywiście tarcia w maźnicach.

Przyjmujemy więc, że

$$r_{kz} = r - r_m \dots \dots \dots (15)$$

Całkowity opór jednostkowy konia równa się:

$$r_k = r_{kz} + r_{kw} \dots \dots \dots (16)$$

gdzie r_{kz} oznacza opór zewnętrzny, a r_{kw} opór wewnętrzny konia. Przy znacznych oporach na powierzchni drogi tarcie jednostkowe w maźnicach r_m jest małe w porównaniu z r , możemy więc przyjąć dla dróg leśnych:

$$r_k = r + r_{kw} \dots \dots \dots (17)$$

W paragrafie 2 ustaliliśmy, iż opór jednostkowy wozów r na drogach leśnych możemy uważać za niezależny od prędkości ruchu. gdyż nawet doświadczenie życia codziennego uczy, że koń w stępie mniejszego doznaje oporu i więcej może uciągnąć, niż koń w kłusie. Dla liczbowego ujęcia tego zjawiska mało mamy materiału statystycznego, wiemy jednak, że przy stępie może być wyzyskane użytecznie około 54% pracy konia, a przy kłusie tylko 13% do 16% tej pracy¹⁾. Wobec tego, że ruch na drogach leśnych, przynajmniej w tym samym kierunku, odbywa się w ciągu dnia przeważnie z tą samą prędkością, można więc przyjąć, że i opory ruchu konia w stępie i kłusie, mają się do siebie w tym samym stosunku, co odpowiednie straty na jego pracy.

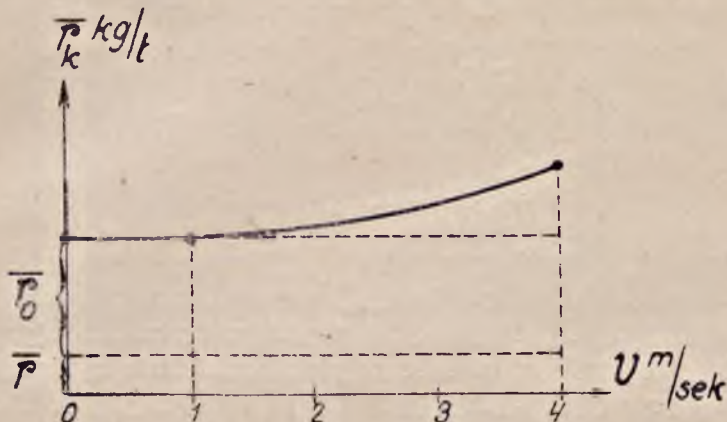
Ponieważ opór konia zwiększa się prędzej niż w stosunku prostym do prędkości, więc możemy przyjąć, iż poza pewną prędkością minimalną zmienia się on proporcjonalnie do kwadratu prędkości ruchu. Wyzyskując więc cyfry wymienione wyżej, możemy usta-

¹⁾ Prof. M. Nestorowicz, artykuł p. t. „Drogi“ w Podręczniku Inżynierskim prof. Bryły. T. I. str. 83.

więc następujący wzór dla całkowitego oporu konia przy ruchu w poziomie:

$$r_k = r + r_0 + 4 (v - 1)^2 \quad (18)$$

co odpowiada wykresowi na rys. 8.



Rys. 8

We wzorze tym, poza symbolami przytoczonymi wyżej, v oznacza prędkość ruchu, zaś podane we wzorze (14) wielkości współczynnika r_0 uważamy za opory jednostkowe przy ruchu z prędkością 1 m/sec. lub mniejszą.

Przyjmując dla suchej drogi gruntowej, według paragrafu 2 $r = 45 \text{ kg/t.}$, oraz ze wzoru (14) $r_0 = 75 \text{ kg/t.}$, znajdujemy w tym wypadku dla całkowitego oporu jednostkowego konia wyrażenie:

$$r_k = 120 + 4 (v - 1)^2 \text{ kg/t.} \quad (19)$$

Rozpatrując konia jako silnik, powinniśmy się zastanowić nad mocą (dzielnością) tego silnika. Moc konia równa się jego sile pociągowej, pomnożonej przez prędkość ruchu, czyli, że

$$N = T v \frac{\text{kg. m}}{\text{sek.}} \quad (20)$$

Wzór (20) możemy wypisać pod postacią:

$$N = T_0 v + (T - T_0) v \quad (21)$$

Ponieważ jednak różnica $T - T_0$ nie zawsze jest nam wiadoma, więc nieraz możemy wyznaczyć tylko

$$N_0 = T_0 v \dots \dots \dots (22)$$

co różni się oczywiście od N , musi jednak nieraz pozostać miarodajnym przy porównywaniu ze sobą różnych rodzajów koni. Dzieląc równanie (22) przez $75 \frac{\text{kg. m.}}{\text{sek.}}$ znajdziemy moc konia wyrażoną w koniach parowych. Waha się ona w granicach

$$\text{od } N_0 = 0,64 \text{ HP} \quad \text{do } N_0 = 1,42 \text{ HP}$$

przy normalnym wysiłku konia¹⁾.

Zestawiając ze sobą cyfry tablicy, wyrażającej zależności między sobą konia, a prędkością ruchu, podane przez Loewe'go²⁾, dochodzimy do wniosku, iż ta sama moc konia może być osiągnięta przy różnych siłach pociagowych T_0 i różnych prędkościach ruchu. Możemy więc tu przyjąć, z pewnemi zresztą zastrzeżeniami co do dokładności, że przy niezbyt wielkich prędkościach ruchu i przy przeciętnym wysiłku konia, moc jego N pozostaje niezmienna, czyli że

$$N = \text{const.}$$

Stąd wynika, że równanie (22), wyrażające zależność między siłą pociagową konia, a prędkością ruchu, jest równaniem hiperboli.

Pogląd ten znajduje też potwierdzenie we francuskich badaniach nad siłą pociagową konia³⁾. Na podstawie tych badań można ustawić dla wielkości siły pociagowej konia, dla niewielkich prędkości, wzór następujący:

$$T = 17 \frac{\omega^2}{v} \dots \dots \dots (23)$$

gdzie ω oznacza obwód klatki piersiowej konia, a v prędkość ruchu w m/sek. Równaniu (23) możemy w dalszym ciągu nadać postać

$$17 \omega^2 = Tv = N \text{ kg/m}$$

$$N = \frac{Tv}{75} \text{ HP} \dots \dots \dots (24)$$

1) C. F. Curtiss, op. cit. str. 196.

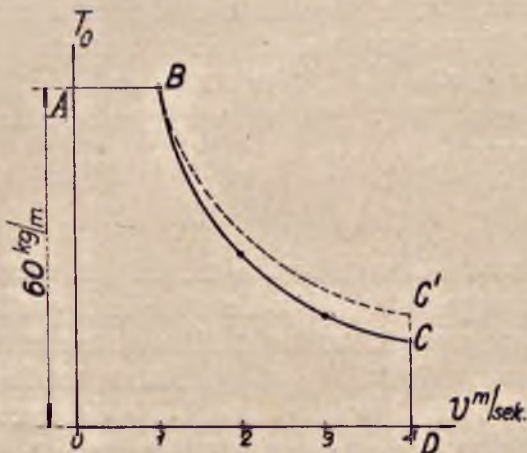
2) F. Loewe, op. cit. str. 83.

gdzie N jest to moc konia. Jest ona, jak wynika ze wzoru (24) od prędkości ruchu niezależna. We wzorze (23) przyjęte jest, że prędkość ruchu konia wyraża się wzorem:

$$v = 0,75 h \text{ m/sek.}$$

gdzie wysokość konia h wyrażona jest w metrach.

Dla największej siły pociągowej $\max T = 60 \text{ kg.}$ i prędkości ruchu do 4 m/sek. (niezbyt prędki kłus), wykres siły pociągowej przedstawiony jest na rys. 9. W części AB wykresu, a więc przy małych



Rys 9

prędkościach ruchu, siła pociągowa nie ulega zmianie, gdyż istnieje pewna prędkość, do której siła pociągowa wielkość swą zachowuje, za taką prędkość przyjmujemy zwykle $1,1 \text{ m/sek.} = 4 \text{ km/g.}$). Wykres ogranicza się poza tem do prędkości 4 m/sek. , gdyż nawet nieobciążone wozy gospodarskie jeżdżą rzadko po drogach leśnych z większą prędkością.

Gdyby nawet przy normalnym wysiłku konia i małych prędkościach przyjąć, że moc konia wzrasta ze wzrostem prędkości, n. p. proporcjonalnie do \sqrt{v} , wówczas przy tych samych siłach pociągowych otrzymywalibyśmy większe jeszcze wartości v , niż to wyni-

⁹⁾ Por. Zygmunt Moczarski: „Wybór i użytkowanie konia fornalckiego“, 1915, str. 8.

kałoby z krzywej BC (rys. 9) np. takie, jak to daje krzywa BC' , co byłoby dla usprawnienia przewozów korzystniejszym.

Wykres analogiczny do rys. 9 może być sporządzony i dla siły pociągowej T_0 , jednak ze względu na to, że większe prędkości ruchu, odpowiadają oporom ruchu większym, ważniejszym jest tu dla obliczeń trakcyjnych uwzględnienie siły T .

4. ZALEŻNOŚĆ SIŁY POCIĄGOWEJ KONIA OD WARUNKÓW JEGO PRACY.

Wszystkie obliczenia poprzedniego paragrafu dotyczyły pewnej normalnej siły pociągowej konia. Za tą normalną siłę pociągową przyjmujemy taką siłę T_n , która rozwijana przez konia w ciągu określonej liczby godzin t_n , przy pewnej prędkości ruchu v_n , daje maximum iloczynu

$$M = T_n v_n t_n \dots \dots \dots (25)$$

wyrażającego pracę dzienną konia i niekiedy zwanego normalnym momentem pracy konia¹⁾. Wszelkie odchylenie wielkości T , v i t od wymienionych wartości normalnych, powoduje zmniejszenie iloczynu (25). Same wielkości T_n , v_n , t_n zostają ustalone dla danych warunków przewozów drogą obserwacji. W dalszych obliczeniach będziemy przyjmowali, że $v_n = 1$ m/sek, $t_n = 8$ g. i $T_n = 70$ kg. Stąd

$$M = 70 \times 1 \times 8 \times 3.600 = 2.016.000 \text{ kg/m.} \dots \dots (26)$$

Chcąc wyznaczyć siłę pociągową konia T_r , zredukowaną przez odchylenie się wielkości t i v od wielkości normalnych t_n i v_n , przyjmujemy za Maschek'em²⁾, że o ile wielkość t pozostaje niezmienną, to zwiększeniu się prędkości

$$v = v_n + k_1 v_n \dots \dots \dots (27)$$

odpowiada zwiększenie się siły pociągowej:

$$T_r = T_n + k_1 T_n \dots \dots \dots (28)$$

gdzie

$$k_1 = \frac{v_n - v}{v_n} \dots \dots \dots (29)$$

¹⁾ Por. prof. E. Bratro: „Budowa i utrzymanie dróg kołowych“, str. 17.

²⁾ F. Loewe, op. cit. str. 80.



oraz, że przy stałym v zmianie

$$t = t_n \pm k_2 t_n \dots \dots \dots (30)$$

odpowiada zmiana

$$T_r = T_n \pm k_2 T_n \dots \dots \dots (31)$$

gdzie

$$k_2 = \frac{t_n - t}{t_n} \dots \dots \dots (32)$$

Z powyższego wynika, że zarówno przy zmiennym t , jak i v mamy:

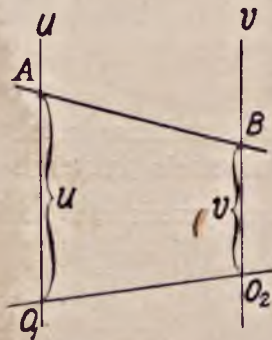
$$T_r = T_n \pm k_1 T_n \pm k_2 T_n \dots \dots \dots (33)$$

skąd

$$\frac{T_r}{T_n} + \frac{v}{v_n} + \frac{t}{t_n} = 3 \dots \dots \dots (34)$$

Na podstawie równania (34) możemy przedstawić wielkość siły pociągowej, jaką można od danego konia uzyskać, w postaci funkcji dwóch zmiennych v i t . Wobec tego, obrazowe przedstawienie tego równania przed rozwojem Nomografii, można było dać tylko w postaci figury przestrzennej, względnie zapomocą rzutów aksonometrycznych, lub izometrycznych. W pracy niniejszej przedstawimy równanie (34) zapomocą nomogramy o trzech skalach równoległych. Do tego potrzebne nam jest pojęcie współrzędnych równoległych.

Współrzędnymi równoległymi u i v prostej AB nazywamy dwa odcinki $u = O_1A$ i $v = O_2B$ odłożone na dwóch równoległych do siebie prostych od punktów O_1 i O_2 (rys. 10). W takim układzie



Rys. 10

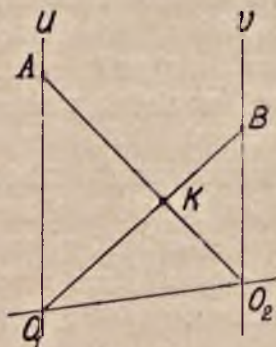
współrzędnych każde równanie liniowe względem u i v typu

$$au + bv + c = 0 \quad (35)$$

odpowiada pewnemu punktowi K . Istotnie, zakładając w równaniu (35) $u = 0$, otrzymujemy, iż $v = -\frac{c}{b}$, zaś zakładając tu $v = 0$, znajdujemy $u = -\frac{c}{a}$. Ponieważ wielkość c , b i a możemy dobrać w ten sposób, aby

$$O_2 B = -\frac{c}{b} \quad O_1 A = -\frac{c}{a} \quad (36)$$

więc współrzędne $u = 0$ i $v = -\frac{c}{b}$ mogą odpowiadać jednej z prostych, przechodzących przez punkt K (prostej $O_1 B$), a współrzędne $v = -\frac{c}{a}$ i $v = 0$ drugiej z tych prostych (prostej $A O_2$). Przecięcie się obydwóch prostych określa więc położenie punktu K (rys. 11).



Rys.11

Podobny sposób przedstawiania prostych i punktów znajduje analogię w odcinkowym równaniu prostej¹⁾.

Równanie (34) możemy przedstawić sobie w postaci:

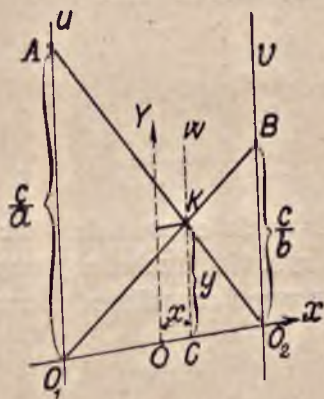
$$f_1(v) + f_2(t) = f_3(T) \quad (37)$$

¹⁾ Por. M. d'Ocagne: „Traité de Nomographie“, Paris, 1899, str. 129 i następne.

gdzie funkcje f_1 , f_2 i f_3 mają odpowiednio kształt:

$$\begin{aligned} f_1(v) &= \frac{v}{v_m} & f_2(t) &= \frac{t}{t_n} \\ f_3(t) &= 3 - \frac{T}{T_n} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (38)$$

Aby móc przedstawić równanie (37) we współrzędnych równoległych, ustalamy przedewszystkiem wzory przejścia do tych współrzędnych z układu współrzędnych Karterjusza. Przyjmujemy więc, iż współrzędne punktu K w układzie XOY są to x i y , a równanie (35) wyraża ten sam punkt w układzie O_1u, O_2v (rys. 12); niech będzie pozatem $O_1O = OO_2 = \delta$.



Rys. 12

Z podobieństwa trójkątów O_1AK i O_2BK znajdujemy:

$$\frac{c}{a} : \frac{c}{b} = (x + \delta) : (x - \delta) \quad \dots \dots \dots (39)$$

skąd

$$x = \delta \cdot \frac{b - a}{b + a} \quad \dots \dots \dots (40)$$

Z trójkątów O_1AO_2 i KO_2C mamy:

$$-\frac{c}{a} : y = 2\delta : (\delta - x) \quad \dots \dots \dots (41)$$

skąd

$$y = -\frac{c}{a + b} \quad \dots \dots \dots (42)$$

Z podobieństwa trójkątów O_1AK i O_2BK wynika wreszcie:

$$\frac{O_1C}{O_2C} = -\frac{b}{a} \quad \dots \quad (43)$$

Aby na podstawie wzorów (40), (42) i (43) sporządzić nomogram równania (37), obliczamy poszczególne wartości funkcji f_1, f_2, f_3 , odpowiadające jednakowo oddalonym od siebie wartościom zmiennych niezależnych v, t oraz T i zakładamy:

$$\begin{aligned} u &= l_1 f_1 \\ v &= l_2 f_2 \end{aligned} \quad \dots \quad (44)$$

gdzie l_1 i l_2 oznaczają pewne dowolnie obrane współczynniki skali. Rozwiązujemy równania (44) względem f_1 i f_2 i wstawiamy otrzymane wyrażenia w dane równanie (37):

$$f_1 = \frac{u}{l_1} \quad f_2 = \frac{v}{l_2} \quad \dots \quad (45)$$

$$\frac{u}{l_1} + \frac{v}{l_2} = f_3 \quad \dots \quad (46)$$

Aby otrzymane równanie odpowiadało we współrzędnych równoległych punktowi K (rys. 12), trzeba, aby współczynniki jego przy zmiennych były równe współczynnikom równania (35), czyli, aby

$$a = \frac{1}{l_1} \quad b = \frac{1}{l_2} \quad c = -f_3 \quad \dots \quad (47)$$

Wobec tego mamy, że

$$\begin{aligned} x &= \delta \cdot \frac{(l_1 - l_2)}{l_1 + l_2} & y &= \frac{l_1 l_2}{l_1 + l_2} f_3 \\ \frac{CO_1}{CO_2} &= -\frac{l_1}{l_2} \end{aligned} \quad \dots \quad (48)$$

Jeżeli teraz na prostej C_w równoległej do O_1u i O_2v odłożymy odcinek

$$w = l_3 f_3 \quad \dots \quad (49)$$

gdzie

$$l_3 = \frac{l_1 l_2}{l_1 + l_2} \quad \dots \quad (50)$$

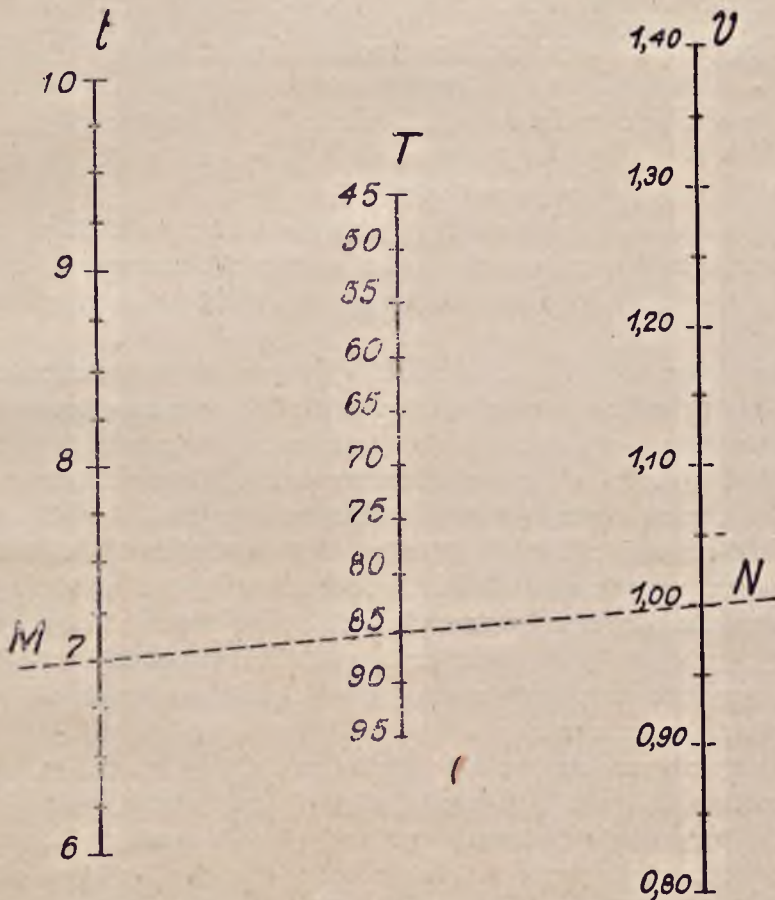
to jak wynika z równań (48), odcinek ten określi we współrzędnych równoległych poszukiwany punkt K .

Stąd wynika następujący sposób sporządzenia nomogramy równania (37).

Przeprowadzamy dwie dowolne linie równoległe O_1A i O_2B , oraz między nimi trzecią linię do nich równoległą, której odległości od tamtych dwóch mają się w stosunku wyrażonym wzorem (48).

Od dowolnej prostej, przecinającej wymienione trzy proste, odkładamy wielkości u, v, w , dla różnych wartości zmiennych niezależnych, przyczem jedna z wielkości l jest dowolnie wybrana, a dwie pozostałe uzależnione przez równania (48) i (50).

Poszukiwana nomograma przedstawiona jest na rys. 13. Tu $l_1 = 1, l_2 = 20 \text{ cm}, l_3 = 20 \text{ cm}, l_3 = 10 \text{ cm}$. Dowodem prosta, przecinająca proste t i v na określonych podziałkach, przecina środkową prostą T na podziałce, odpowiadającej danym wartościom t i v według równania (34).



Rys. 13

Wykres 13 wykonany jest dla stosunkowo mało wahających się wartości zmiennych niezależnych, chodzi bowiem o to, iż jak wskazuje doświadczenie, przy większych odchyleniach wielkości T , v , t , od wielkości T_n , v_n , t_n równanie (34) i wykres 13 zawodzą. A więc np. przy $v = 2v_n$ i $t = t_n$ z równania tego wynika, że $T = 0$, co nie odpowiada rzeczywistości.

Przewozy po leśnych drogach bezszynowych odbywają się najczęściej na niewielkich odcinkach drogi, jako dostawa drewna do linii kolejowych leśnych, albo też do różnych punktów przeładunkowych. Wobec tego po danym odcinku drogi wozy przechodzą w ciągu dnia w obydwóch kierunkach, a więc w kierunku ładownym i w kierunku próżnym. Ponieważ prędkość ruchu w kierunku ładownym jest naogół różna od prędkości w kierunku przeciwnym, przy korzystaniu z wykresu 13 powinniśmy przyjmować za wielkość v średnią z prędkości ruchu w obydwóch kierunkach.

Przyjmując więc np. dla prędkości w kierunku ładownym $v = v_n = 1$ m/sek., a w kierunku próżnym $v = 1,70$ m/sek., otrzymujemy średnią prędkość ruchu $v = 1,35$ m/sek. Dla tej prędkości oraz dla $t_n = 8$ g. odczytujemy z wykresu siłę pociagową $T = 55$ kg, mniejszą od przyjętej tu za normalną siły $T = 70$ kg.

Otrzymaną z wykresu siłę pociagową należy uważać za stałą w ciągu dnia siłę maksymalną, jaką w danych warunkach, co do prędkości ruchu i dziennego czasu pracy, można od danego konia, nie nadużywając go, uzyskać.

W powyższym obrachunku nie są brane pod uwagę okoliczności, które mogą mieć wpływ na wielkość siły pociagowej konia, które jednak nie poddają się obrachunkowi; są to okoliczności takie, jak wiek konia, mniej lub więcej staranna opieka, pewne włożenie się konia do pracy, rodzaj i obfitość pokarmu, jego wrażliwość i t. p.

Porównywując konia z maszyną parową, można stwierdzić, iż wprawdzie w koniu dla rozwinięcia jego energii, musi podobnie, jak w maszynie, odbyć się proces chemiczny połączenia węgla, tlenu i wody, ma on jednak tu miejsce przy względnie niskiej temperaturze i przy znacznie mniejszych, niż w silniku parowym, stratach energii w postaci ciepła.

Inną ważną zaletą konia, w porównaniu z parowozem jest to, że siła pociagowa konia, gdy chodzi o krótki czas pracy, może przekroczyć bez szkody dla organizmu konia jego normalną siłę pociagową, podczas gdy w parowozie nie jest to możliwe. Podobna własność żywego silnika ma duże znaczenie dla ruchu po drogach nierównych, na których różne wypadkowe przeszkody w postaci kamieni, zagłębień drogi i t. d. wymagają w pewnych momentach siły

pociągowej znacznie większej od normalnej. Doświadczenie uczy, iż nawet dwukrotne zwiększenie siły pociągowej na krótkich odcinkach drogi nie wpływa ujemnie na stan konia i jego zdolność do pracy. Okoliczność ta może być do pewnego stopnia wyzyskana przy projektowaniu wzniesień na drogach; na krótkich odcinkach drogi wzniesienia te mogą być mianowicie projektowane jako stromsze od tych, które może koń przewycięzać, rozwijając swą siłę normalną, lub też siłę T_r odpowiednio zredukowaną, ze względu na różniące się od normalnych wielkości v i t .

Jeżeli nie obawiać się nadmiernego wysiłku dla konia, to, jak wykazały przytoczone wyżej badania amerykańskie, siła pociągowa konia na krótki przeciąg czasu może być powiększona nawet więcej, niż 10-krotnie.

Przy wielkim wysiłku ze strony konia, może być również zwiększona i prędkość jego ruchu, co łącznie ze zwiększeniem siły pociągowej doprowadza do zwiększenia jego mocy. Moc ta była doprowadzona w przytaczanych wyżej doświadczeniach niemal do 15 HP.

5. WYZNACZENIE PRZELOTNOŚCI DROGI.

Pod przelotnością danej arterji komunikacyjnej rozumiemy na ogół ilość ładunków, w danym razie drewna, która może być w ciągu doby po niej przewieziona.

Miernikiem przelotności linii kolejowej, jest, jak wiadomo, liczba par pociągów, które ta linja jest zdolna przepuścić w ciągu doby. Przy ustalonym składzie pociągów jest więc przelotność linii kolejowej zależna od sposobu rozstawienia na niej mijanek. Na leśnych drogach bezszynowych, z wyjątkiem wąskich dróg górskich, mijanie się pojazdów nie natrafia zwykle na trudności i dlatego przelotność tych linii uzależniona jest tylko od prędkości posuwania się po niej pojazdów, od liczby będących do rozporządzenia wozów, oraz od ilości dającego się na nie załadować drewna.

Ilość dopuszczalnego ładunku dla wozu na danej drodze zależy przede wszystkim od największego wzniesienia na danej drodze i wyznacza się w sposób następujący.

Niech będzie q największe obciążenie wozu, q_0 ciężar wozu, C_k ciężar konia.

Stosujemy tu równanie (2). Wyrażenie dla oporu R przybiera w związku z danymi paragrafów 2 i 3 postać:

$$R = (q_0 + q) (r_w + i) + C_k (r_k + i) \dots \dots (51)$$

a równanie (2) postać:

$$(q_0 + q) (r_w + i) + C_k (r_k + i) = T_w \quad . \quad . \quad . \quad (52)$$

Równanie (52) wyraża zależności między największym wzniesieniem na danej drodze a ładunkiem wozu. Dla drogi o danym wzniesieniu największym i_m z równania tego wyznaczamy największe dopuszczalne obciążenia wozów:

$$q = \frac{T_r - C_k (r_k + i_m)}{r_w + i} - q_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

Wchodząca we wzory (52) i (53) siła pociągowa T_r jest największą siłą, jaką można od danego konia w danych warunkach pracy uzyskać przy wysiłku normalnym, przyczem jak wykazano wyżej $T_r \leq T_n$.

Po wyznaczeniu właściwego obciążenia wozu możemy wyznaczyć prędkość ruchu na różnych wzniesieniach. W tym celu uciekamy się do wykresu siły pociągowej, podanego na rys. 9. Wykreślowi temu nadajemy postać przedstawioną na rys. 14. Wymienione wykresy różnią się tem od siebie, że na drugim z nich umieszczona jest w granicach prędkości, zmieniających się od 0 do 1 m/sek. największa siła pociągowa dwukrotnie powiększona, co odpowiada możliwości zwiększania siły pociągowej ponad normalną przy krótkich, wyjątkowo stromych wzniesieniach, t. j. przy $i > i_m$. Przy większych prędkościach niż $v = 1$ m/sek., podobne powiększenie rzędnych T niema celu, gdyż w tych razach zwiększenie siły pociągowej może być osiągnięte drogą zmniejszenia prędkości ruchu.

Ruszanie wozów ma miejsce, jak zaznaczono wyżej, przy $T > R$, do czego właśnie nieraz musi być zastosowana siła pociągowa większa do normalnej. Przy zatrzymywaniu wozu, o ile ono odbywa się na spadku, a więc przy $i < 0$ może zająć potrzeba zastosowania hamowania, a więc wprowadzenia dodatkowego oporu jednostkowego r_h według wzoru:

$$R = (q_0 + q) (r_w - i + r_h) + C_k (r_k - i) \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

Dla ułatwienia zatrzymania wozu na spadku zmuszamy niekiedy konia do wywierania nacisku na wóz w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu, czyli do rozwijania siły pociągowej ujemnej, przyczem równanie (1) przybiera wówczas postać:

$$\frac{C_w + C_k}{g} v' = C_w (r_w - i + r_h) + C_k (r_k - i) + T_h \quad . \quad (55)$$

gdzie q oznacza przyśpieszenie ziemskie, a $C_w = q_0 + q$ ciężar wozu wraz z ładunkiem. Siła pociągowa, jaką koń może rozwinać, poru-

szając się tyłem, jest znacznie mniejsza od siły, jaką rozwija idąc przodem, przyczem wynosi zwykle nie więcej niż 50% tej ostatniej¹⁾.

O ile hamowanie niema miejsca, a ruch wozu możemy uważać za jednostajny, wówczas w myśl powiedzianego w paragrafie 1, prędkość ruchu v znajdujemy z równania (2).

Opór R na różnych wzniesieniach danej drogi możemy obliczyć ze wzoru (51). Będzie on, jak to wynika z paragrafu 3, przy małych prędkościach ruchu od v niezależny, a przy większych będzie funkcją v^2 . Opór ten wyraża się w tych samych jednostkach, co siła pociągowa, może więc być dla różnych wartości i naniesiony na wykres 14. Krzywe, wyrażające opory R ruchu dla różnych i jako funkcje v , przetną krzywą przedstawiającą siłę pociagową T , jako funkcję v , w szeregu punktów I, II i t. d. Odcięte, odpowiadające wymienionym punktom przecięcia, dadzą prędkości ruchu na odpowiednich wzniesieniach.

Ponieważ przy ruchu ładownym rzadko bywa rozwijana siła pociągowa mniejsza od normalnej, prędkość ruchu w tym przypadku pozostaje przeważnie równą około $v = v_n = 1$ m/sek., gdyż większe jej zmniejszenie nie wywołuje już zwiększenia siły pociągowej, utrudnia bowiem ruch koniowi.

W wypadkach, gdy opór R przekracza normalną siłę pociagową i musimy stosować siłę większą od normalnej (na rys. 14 punkt I), prędkość ruchu pozostaje oczywiście również w wymienionych granicach.

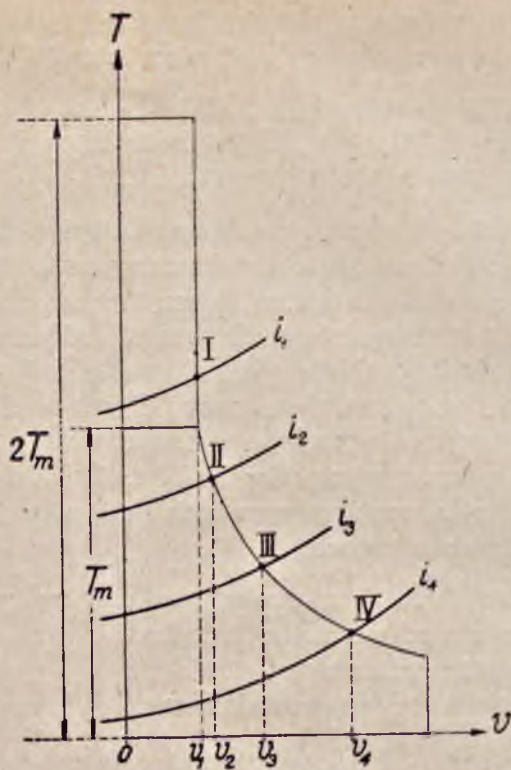
W kierunku próżnym (a więc przy $q = 0$ i $C_w = q_0$) potrzebna siła pociągowa bywa nieraz mniejsza od normalnej i dla tych właśnie wypadków ma przedewszystkiem znaczenie wykres 14.

Przy jeździe po stromych spadkach, prędkość ruchu nie może być już otrzymana z wymienionego wykresu, gdyż przekroczyłaby ona wówczas prędkość dopuszczalną ze względu na bezpieczeństwo jazdy. Wobec tego istnieje pewna wartość v (na wykresie $v = 4$ m/sek.), która przekroczona być nie powinna.

Dla każdej prędkości ruchu v możemy obliczyć tę ilość czasu, która musi być zużyta dla przejazdu 1 km drogi przy tej prędkości, a więc po odpowiedniemu wzniesieniu. Ilości takie otrzymujemy z wzoru:

$$c = \frac{1}{v} \dots \dots \dots (56)$$

¹⁾ Por. Kühnel: „Drogi“, 1922.



Rys. 14

wobec czego czas, potrzebny do przejazdu po pewnym wzniesieniu, ciągnącym się na długości l km., wynosi cl .

Jeżeli czas, potrzebny do naładowania wozu drewnem, oznaczymy przez τ_1 , czas potrzebny na jego rozładowanie przez τ_2 i wreszcie czas na ewentualne odpoczynki konia w ciągu pracy przez τ_3 , to całkowity czas, potrzebny na jeden obrót wozu, t. j. na przewiezienie drewna do miejsca przeznaczenia i powrót po nowe drewno, wyrazi się wzorem:

$$\Theta = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \Sigma cl \quad \dots \dots \dots (57)$$

gdzie sumowanie dotyczy wszystkich odcinków drogi w obydwóch kierunkach.

Ponieważ przez t oznaczyliśmy liczbę godzin dziennej pracy, więc:

$$n = \frac{t}{\Theta} \quad \dots \dots \dots (58)$$

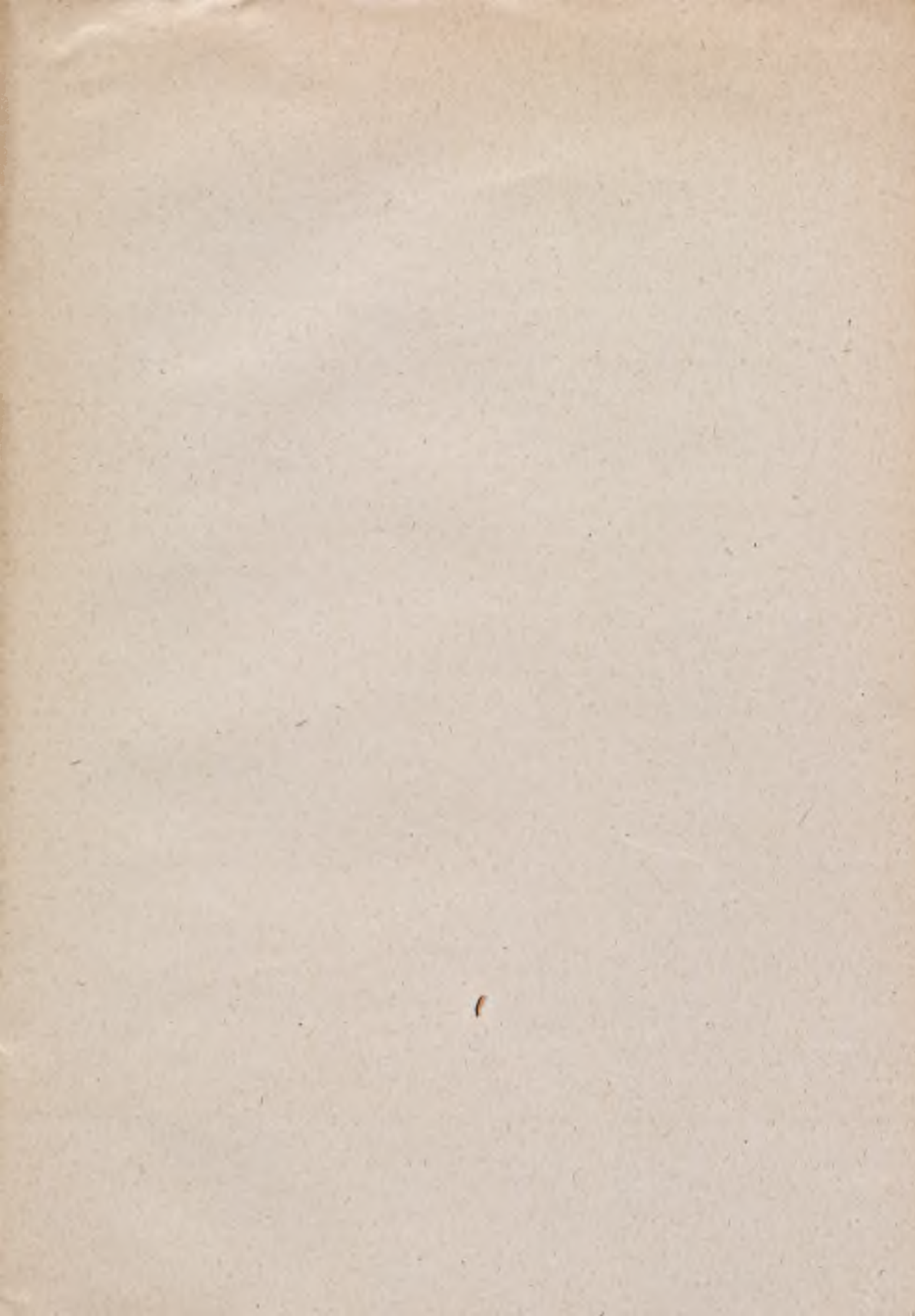
wyraża liczbę obrotów jednego wozu, a nq ilość drewna, wywiezionego przez ten wóz z lasu w ciągu jednego dnia pracy.

Wreszcie liczbę wozów, potrzebnych do przewiezienia danej ilości drewna Q w ciągu dnia otrzymamy z wzoru:

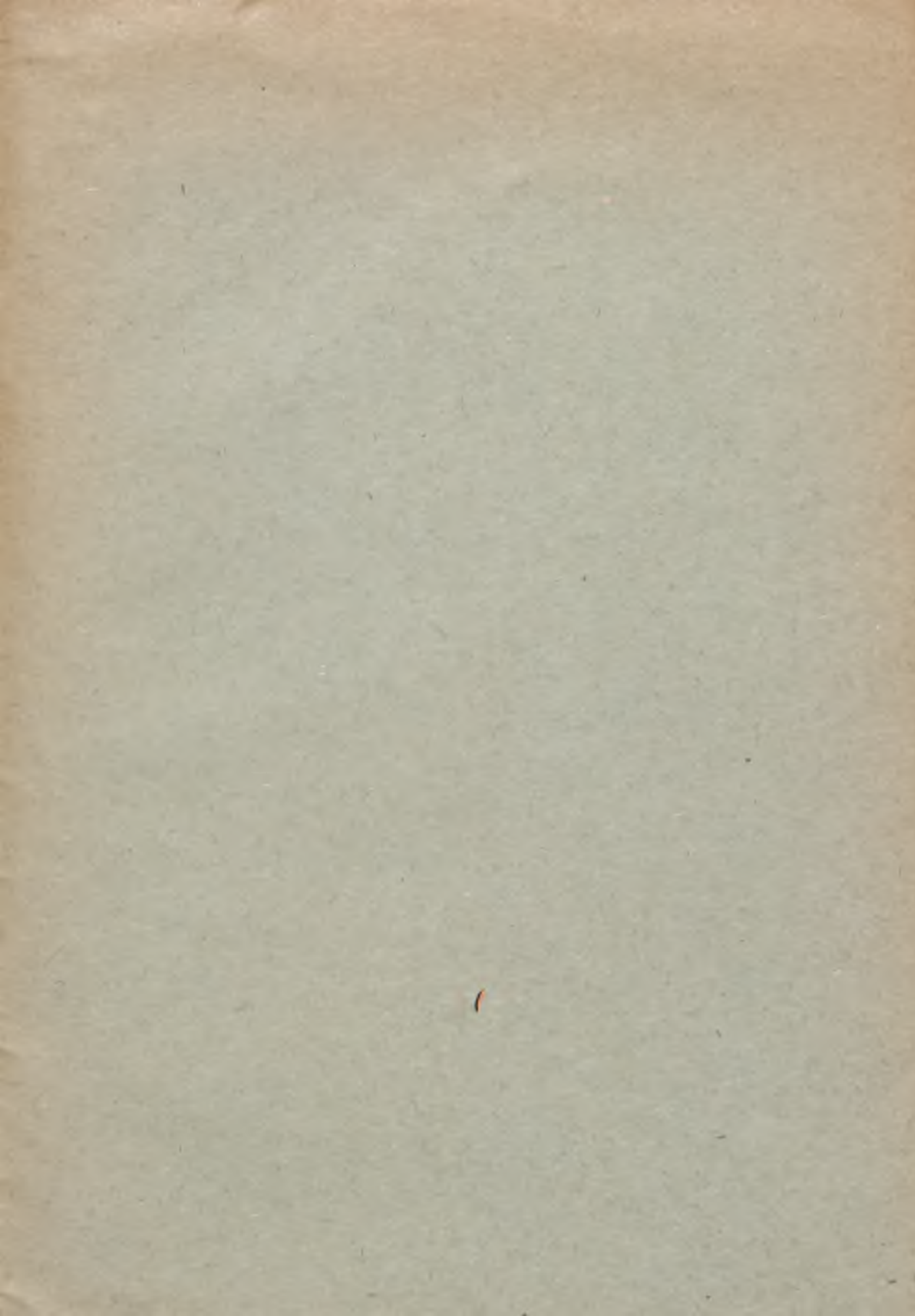
$$n_1 = \frac{Q}{nq} \dots \dots \dots (59)$$

Wszystkie powyższe obliczenia dotyczyły wozów jednokonnych. Znajdują one zastosowanie i do wozów o większej liczbie koni w zaprzęgu, przyczem opór ruchu koni można uważać za wzrastający proporcjonalnie do ich liczby, a siłę pociągową za wzrastającą powolniej od liczby koni, a więc przy dwóch koniach siła pociągowa wynosi $1,96 T$, przy trzech $2,61 T$ i t. d. ¹⁾.





10



2857