

II.

RUCH NA DROGACH I JEGO WPŁYW NA BUDOWĘ DRÓG.

1. Rodzaje ruchu na drogach.

Na drogach są następujące rodzaje ruchu:

a) ruch pieszcy, t. j. ruch ludzi przechodzących bądź luźno (przechodnie) bądź w zwartym tłumie (pochody, procesje i t. p.) lub w kolumnach (wojsko),

b) ruch zwierząt, a przede wszystkim koni; może to być również ruch luźny lub masowy,

c) ruch wozów ciągniętych przez konie lub inne zwierzęta pociągowe,

d) ruch pojazdów mechanicznych: samochodów osobowych i ciężarowych oraz pociągów drogowych, składających się z lokomotyw lub traktorów ciągnących szereg wozów przyczepnych.

Nie wymieniony został pod oddzielną rubryką ruch rowerowy i motocyklowy, gdyż ten rodzaj ruchu w porównaniu do ruchu wozów i pojazdów mechanicznych na ustrój i ukształtowanie drogi oraz zużycie nawierzchni oddziałują w stopniu nieznacznym.

Każdy z wymienionych rodzajów ruchu wymaga od drogi pewnego przystosowania jej do potrzeb i właściwości tego ruchu. Droga winna uwzględniać wymagania tego ruchu, jaki na niej się odbywa; jeżeli droga przeznaczona jest dla wszystkich czterech rodzajów ruchu, winna uwzględniać potrzeby wszystkich rodzajów ruchu; jeżeli jest przeznaczona tylko dla jedne-

go lub tylko kilku z nich, winna być przystosowana tylko dla tego rodzaju ruchu lub tych rodzajów ruchu, jakie są na tej drodze spodziewane.

Należyte przystosowanie drogi dla potrzeb ruchu, jaki jest na niej spodziewany, jest zasadniczym zadaniem przy budowie drogi.

Wymagania poszczególnych rodzajów ruchu co do przystosowania dróg do potrzeb ruchu są różne, zależne od właściwości poszczególnych rodzajów ruchu.

2. Ruch pieszych i zwierząt.

Ruch pieszy ma przede wszystkim charakterystyczną właściwość—dążność do wyodrębnienia się od innych rodzajów ruchu ze względu na bezpieczeństwo idących pieszo. Jako skutek tego dążenia jest takie ukształtowanie dróg, przy którym ruch pieszy może odbywać się niezależnie od innych rodzajów ruchu na specjalnie do tego przeznaczonych częściach drogi: na drogach zamiejskich dla ruchu pieszych przeznaczone są tak zwane pobocza, znajdujące się z jednej lub obydwóch stron jezdni przeznaczonej dla ruchu pojazdów konnych i mechanicznych; na drogach miejskich dla tego celu służą chodniki, odgraniczone w większym stopniu niż pobocza na drogach pozamiejskich, a służące ze względów na bezpieczeństwo ruchu ulicznego wyłącznie dla ruchu pieszego.

Drugą właściwością ruchu pieszego jest stosunkowo małe obciążenie nawierzchni drogi.

W najgęstszym tłumie jeden człowiek przeciętnie zajmuje 0,3 — 0,4 m², a ciśnienie statystyczne stopy człowieka na nawierzchnię drogi, wynoszące 0,3 — 0,5 kg/cm², jest stosunkowo nieznaczne w porównaniu z obciążeniem, wywieranym przez inne rodzaje ruchu.

Na stan nawierzchni silniej oddziałują dynamiczne uderzenia, jakie nawierzchnia drogi otrzymuje od stóp ludzi idących, które mogą być kilkakrotnie większe od obciążenia statycznego, zwłaszcza, kiedy uderzenia te często się powtarzają (t. j. kiedy ruch jest intensywny), a nawierzchnia drogi znajduje się w warunkach niesprzyjających jej trwałości, np. zwykła

droga gruntowa podczas słoty. Wtedy ruch pieszy może wywierać znaczny wpływ destrukcyjny na nawierzchnię drogi.

Wreszcie trzecią właściwość ruchu pieszego stanowi ścieranie nawierzchni; przy stawianiu stóp na ziemi i odejmowaniu powstaje w większym lub mniejszym stopniu — zależnie od indywidualności chodu danego osobnika — tarcie pomiędzy stopą i nawierzchnią drogi. Skutki tego widzimy na starych chodnikach ożywionych ulic miejskich.

Ruch zwierząt a przede wszystkim koni — ma inne właściwości niż ruch pieszy. Przede wszystkim ten rodzaj ruchu rzadziej wymaga oddzielenia go od ruchu pojazdów i przeważnie odbywa się po tej części drogi, po której odbywa się ruch wozów i samochodów. Obciążenie nawierzchni statyczne a również i dynamiczne, zwłaszcza przy szybkim ruchu, np. konia w kłusie, jest daleko większe niż przy ruchu pieszym. Przeciętne obciążenie nawierzchni drogi od kopyta konia wynosi 0,75 — 1.00 kg/cm². Siła uderzenia kopyt koni podczas ruchu jest kilkakrotnie większa, niż obciążenie statyczne. Poważny wpływ na zużywanie nawierzchni ma ta okoliczność, że kopyta końskie są podkuwane, a podkowy często mają wystające części (t. zw. gryfy i hacele).

Zarówno ruch pieszy jak i ruch zwierząt pod względem ukształtowania drogi nie stawia zbyt wysokich wymagań.

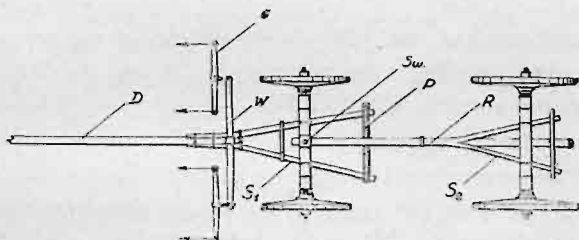
O ile droga ma służyć wyłącznie dla ruchu pieszego lub zwierząt, warunki jej budowy znacznie się ułatwiają w porównaniu do warunków budowy dróg, mających służyć dla ruchu pojazdów: mogą tu być stosowane łuki o bardzo małym promieniu lub załamania trasy nawet pod kątem ostrym, a wzniesienia lub spadki daleko większe.

Ponieważ drogi przeznaczone są zwykle nie tylko dla ruchu pieszych i zwierząt, ale również dla ruchu pojazdów i tylko wyjątkowo mogą być budowane wyłącznie dla ruchu pieszego lub zwierząt (np. w parkach) i ponieważ wymagania ruchu pojazdów są znacznie wyższe, przeto dalej wyłącznie zajmiemy się takimi drogami, które służą nie tylko dla ruchu pieszych i zwierząt ale również dla ruchu pojazdów zarówno konnych jak mechanicznych.

3. Ruch pojazdów konnych.

W olbrzymiej większości wypadków pojazdy te są ciągnięte przez konie; stosunkowo rzadko do tego celu używane są inne zwierzęta pociągowe jak woły, muły i t. p., dla tego też w dalszych rozważaniach uwzględniać będziemy jako siłę pociągową wyłącznie konie.

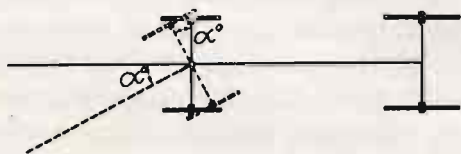
C h a r a k t e r y s t y k a w o z ó w. Wozy bywają dwukołowe i czterokołowe; w Polsce prawie wyłącznie są w użyciu wozy czterokołowe. Zależnie od przeznaczenia wozy bywają: 1) osobowe, przystosowane wyłącznie do przewozu osób; 2) ciężarowe, przystosowane wyłącznie do przewozu ciężarów; w zależności od rodzaju przewożonych ciężarów, przystosowanie ich do przewozu ciężarów bywa różne; 3) wozy rolnicze, służące do przewozu ziemiopłodów i wogóle do potrzeb gospodarstwa rolnego. Typy tych trzech kategorii wozów bywają najrozmaitsze. Zatrzymamy się na trzeciej kategorii wozów, t. j. na wozach rolniczych, które są najwięcej rozpowszechnione i które naogół stawiają drogom większe wymagania, niż pozostałe kategorie wozów, jak to się przekonamy z dalszych rozważań.



Rys. 11. Schemat podwozia wozu rolniczego.

Podwozie wozu rolniczego (rys. 11) składa się z dwóch części: przedniej i tylnej, połączonych przy pomocy sworzennia pionowego (Sw.). Przednia część składa się z osi, na której koła mają nieco mniejszą średnicę niż koła osi tylnej. Dyszel (D) przymocowany jest do przedniej osi prostopadłe do niej przy pomocy przednich śnic (S_1). Do dyszla przymocowana jest waga (W), a do niej orczyki (O). Aby dyszel trzymał się poziomo, zrobiona jest podyma (P), która opiera się o rozworę (R) i zapobiega opuszczaniu się dyszla.

Tylna oś połączona jest z przednią przy pomocy rozwory (R) i sworznia pionowego (S_w). Rozwora utrzymuje się prostopadle do tylnej osi przy pomocy tylnych śnic (S_2). W niektórych wozach rozwora jest tak urządzona, że można w pewnych granicach zmieniać odległość pomiędzy osiami, dzięki czemu długość wozu może się zmniejszać lub powiększać. Pudło wozu leży na osiach, z tylną osią połączone jest ono sztywnie, z przednią, przy pomocy sworznia pionowego (S_w), dzięki czemu przednia oś może się odchylać od położenia prostopadłego do rozwory o pewien kąt; największa możliwa wielkość jego zależna jest od szerokości i kształtu pudła, do którego przednie koła dotkną się przy największym możliwym odchyleniu osi przedniej. (rys. 12).



Rys. 12

Największy kąt, na jaki może odchylić się oś przednia od położenia prostopadłego do rozwory nazywa się kątem skrętu wozu i wynosi zwykle 30° — 35° .

Przy wozach ciężarowych miejskich i przy większości pojazdów osobowych konstrukcja wozu pozwala na kąt skrętu dochodzący do 90° ; dzięki temu wozy te są skrętniejsze, t. j. wymagają dla obrócenia daleko mniej miejsca, niż zwykły wóz gospodarski.

Kąt skrętu pozwala na ruch wozu w łuku; przy największym kącie skrętu, na jaki pozwala konstrukcja wozu, promień łuku, jaki zatacza wóz, będzie najmniejszy. Typów wozów rolniczych w Polsce jest bardzo dużo; w ostatnich czasach zainicjowano dla celów praktycznych znormalizowanie ich w zależności od miejscowych warunków. Normalizacja ta przeprowadzona przez Polski Komitet Normalizacyjny, dotyczy wymiarów i konstrukcji osi i kół oraz dopuszczalnych obciążeń, rozstawu kół (szerokości kolei), nie dotyczy odległości pomiędzy osiami, a więc długości wozu oraz konstrukcji pudła, pozosta-

Budownictwo drogowe interesują wymiary podane w „Pol-

Punkt, w którym
 prostopadła do osi czopu
 zleci, wewnętrzna powierzchnia tuleji
 są potewy

Tuleja PN/T-103

Przerędy obrotu

D ≈ 5 mm

2°

90°

Średnia obrotu

Oś szprychy

ROZSTAW KÓŁ

| Nr. | mm |
|-----|------|
| 1 | 950 |
| 2 | 1125 |
| 3 | 1350 |
| 4 | 1520 |

Odchylenie osi szprychy od płaszczyzny dla wszystkich kół

90°

Rozstaw kół
 mierzony od środków obrotu w
 płaszczyznach osi obrotu kół

mm

Rys. 13. Wymiary znormalizowanych wozów rolniczych.

3

Dla budownictwa drogowego jest nader ważne ciśnienie, jakie koło wozu wywiera na nawierzchnię drogi.

Zwykle obciążenie nawierzchni drogi od koła wozu jest określane w kg. na cm. bież. szerokości obręczy ze względu na to, że przy poszczególnych nawierzchniach jest trudne określenie tej części obwodu koła (a) (p. rys. 14, a), która opiera się o nawierzchnię i wywiera ciśnienie: wielkość a zależna jest z jednej strony od rodzaju nawierzchni: bywa, np., znaczna przy drogach gruntowych, a znacznie mniejsza przy twardych nawierzchniach, np. z kamienia lub betonu, większa wreszcie, niż w ostatnim wypadku bywa przy nawierzchniach elastycznych (np. bitumicznych).

Przy określaniu obciążenia zwykle bywa przyjmowana całkowita szerokość obręczy b (p. rys. 14, a).

Z powyższego wynika, że znormalizowane polskie wozy rolnicze będą miały następujące obciążenia.

| T y p w o z u | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
|--|------|------|------|------|-------|
| Obciążenie w kg. na 1 cm. bież. szeroko- ści obręczy kg. . . | 37,5 | 52,0 | 62,5 | 78,1 | 100,0 |

Ze względu na trwałość nawierzchni drogowych w przepisach międzynarodowej konwencji drogowej ograniczono obciążenie na 1 cm. bież. szerokości obręczy do 150 kg., przytem pozostawiono poszczególnym państwom możność jeszcze dalszych ograniczeń: w Polsce norma ta określona została na 100 kg. na 1 cm. szerokości obręczy. W znormalizowanych wozach rolniczych polskich obciążenie to zaledwie w jednym typie (Typ Nr. 8) dochodzi do tej normy. Normy obciążeń na 1 cm. bież. szerokości obręczy, obliczane jako iloraz z wagi koła przez szerokość całkowitą obręczy (wymiar b na rys. 14, a), są znacznie niższe, niż obciążenia rzeczywiste, gdyż obręcze żelazne kół mają zaokrąglenia, które zmniejszają szerokość, na jakiej obręcz dotyka nawierzchni, zwłaszcza twardych; z drugiej stro-

ny płaskie obręcze wskutek zużycia, z biegiem czasu stopniowo zaokrąglają się i szerokość, na jakiej obręcz dotyka nawierzchni, jeszcze więcej się zmniejsza; rzeczywiste obciążenie na 1 cm. tej części szerokości obręczy, która dotyka nawierzchni (twardych), jeszcze więcej się powiększa. Doświadczenia przeprowadzone w Wiedniu na ulicach miejskich i na drogach w okolicy Wiednia ¹⁾ dają rezultaty bardzo charakterystyczne.

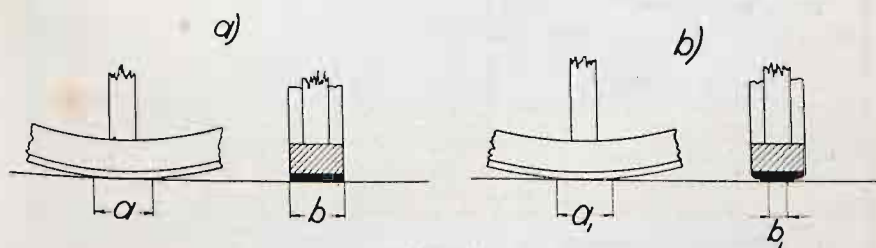
Na ulicach miasta Wiednia przeprowadzono badania z trzema wozami o różnym ciężarze kół i szerokości obręczy.

I typ wozu: ciężar tylnego koła 1550 kg., szer. obr. 16,0 cm., ciśn. teoret. na 1 cm. szer. obręczy 97 kg.

II typ wozu: ciężar tylnego koła 1310 kg., szer. obr. 10,5 cm., ciśn. teoret. na 1 cm. szer. obręczy 125 kg.

III typ wozu: ciężar tylnego koła 800 kg., szer. obr. 8,7 cm., ciśn. teoret. na 1 cm. szer. obręczy 92 kg.

W rzeczywistości otrzymano ciśnienia znacznie większe w zależności od rodzaju nawierzchni, przytem ciśnienie podane w poniżej przytoczonej tablicy (tabl. I na str. 36) określono dla koła po zewnętrznej stronie drogi ze względu na to, że koło wskutek pochylenia wozu, jest więcej obciążone, niż koło idące po stronie wewnętrznej — bliższej osi drogi; pozatem określono wielkość podłużnego dotyku koła (rys. 14, b) t. j. wymiar a_1 , oraz szerokość b_1 , — rzeczywistego dotyku poprzeczne-



Rys. 14.

¹⁾ Przez inż. Lohmann'a. P. opis „Strassenwesen“ 1932 i 1933 r.

go, który, jak się okazało, był znacznie mniejszy niż całkowita szerokość obręczy (b na rys. 14, a); dało to możność określenia zarówno ciśnienia na nawierzchnię w kg/cm^2 jak rzeczywistego ciśnienia w kg/cm . bież. obręczy. Okazuje się, że ciśnienie rzeczywiste jest kilkakrotnie większe, niż ciśnienie teoretyczne i zależne od rodzaju nawierzchni; im koło łatwiej jest wcisnąć w nawierzchnię, tem ciśnienie jest mniejsze

TABLICA I.

Ciśnienie tylnego koła wozów po stronie zewnętrznej drogi¹⁾.

| Rodzaj nawierzchni | Typ wozu | Dług. rzec y- wistego dotyku koła w kierunku poprzecznym | | Dług dotyku koła w kier. podłużnym cm. | Ciśnienie na na- wierzchnię kg/cm ₂ | Ciśnienie na 1 cm. obręczy | |
|--|----------------|---|------------------------|--|---|-------------------------------|-------------------|
| | | cm. | 0/ szer. obrzecz | | | teoret. | rzeczy- wiste |
| | | | | | | kg/cm bież. | |
| Nawierzchnia betonowa . | I II III | 4,1 3,3 3,5 | 24,4 31,5 40,3 | 2,6 2,9 2,4 | 254 327 500 | 97 125 92 | 378 397 228 |
| Kostka kamienna na po- dłożu drogi bitej . . | I | 3,1 | 20,0 | 2,5 | | 97 | 500 |
| Bruk mozaikowy na po- dłożu kamiennem . . | I | 2,6 | 16,6 | 2,5 | | 97 | 597 |
| Asfalt prasowany na po- dłożu betonowym . . | I II III | 7,6 5,6 4,2 | 47,5 53,4 49,0 | 5,7 6,2 6,0 | 35,0 43,6 36,4 | 97 125 92 | 204 234 191 |
| Beton asfaltowy na po- dłożu betonowym . . | I II III | 5,1 3,2 3,5 | 31,9 30,5 40,2 | 6,4 5,7 4,3 | 37,0 44,0 41,6 | 97 125 92 | 304 410 229 |
| Nawierzchnia termakowa | I II III | 6,9 4,6 5,8 | 43,2 43,8 66,7 | 6,5 8,0 5,5 | 27,0 28,4 29,6 | 97 125 92 | 224 284 138 |
| Droga bita powierzchow- nie asfaltowana . . . | I II III | 11,0 8,0 6,3 | 69,4 77,2 72,5 | 7,6 8,5 8,4 | 20,1 29,0 17,4 | 97 125 92 | 141 164 127 |
| Bruk z kostek drewnia- nych | I II III | 5,1 4,6 4,4 | 35,7 43,8 50,7 | 8,9 5,8 4,1 | — 62,4 51,6 | 97 125 92 | 272 284 182 |

1) Doświadczenia wiedeńskie inż. Lohmann'a.

TABLICA II.

Ciśnienie kół tylnych wozów z obręczami żelaznymi na drodze bitej z tłucznia wapiennego średnicy 6—8 cm. — po uwałcowaniu¹⁾.

| Typ wozu | Ciężar koła kg. | Średnica koła cm. | Szer. obręczy cm. | Ciśnienie teor. na 1 cm. szer. obręczy | Tylnie lewe koło | | | | Tylnie prawe koło | | | |
|----------|-----------------|-------------------|-------------------|--|--|----------------|--|---------------------------------------|--|----------------|--|---------------------------------------|
| | | | | | w rzeczywistości koło opiera się na szerokości | | Rzecz. ciśnienie na pow. cm ² | Wielkość ciśnienia kg/cm ² | w rzeczywistości koło opiera się na szerokości | | Rzecz. ciśnienie na pow. cm ² | Wielkość ciśnienia kg/cm ² |
| | | | | | cm | 0/0 szer. obr. | | | cm | 0/0 szer. obr. | | |
| № 1 | 760 | 103 | 10,2 | 74 | 2,0 | 19,4 | 10,1 | 75,2 | 2,2 | 21,6 | 51,1 | 149,0 |
| № 2 | 450 | 102 | 10,0 | 45 | — | — | 12,5 | 36,0 | 2,0 | 20,0 | 7,2 | 62,5 |
| № 3 | 625 | 104 | 7,0 | 89 | 1,7 | 24,4 | 5,6 | 111,6 | 1,2 | 17,2 | 2,4 | 260 |
| № 4 | 500 | 102 | 6,0 | 83,5 | 1,9 | 31,6 | 11,1 | 45,1 | 1,9 | 31,6 | 1,2 | 417,0 |

Tablica II na stronie 37 podaje wyniki doświadczeń przeprowadzonych z różnymi typami wozów konnych o obręczach żelaznych na zwykłej drodze bitej z tłucznia wapiennego.

Zarówno z tablicy I jak i II widzimy, że teoretycznie określone wielkości obciążeń nawierzchni od kół pojazdów konnych o obręczach żelaznych znacznie się różnią od obciążeń rzeczywistych, co trzeba mieć na względzie przy rozpatrywaniu oddziaływania ruchu pojazdów konnych na poszczególne rodzaje nawierzchni.

Wreszcie trzeba zaznaczyć, że dynamiczne oddziaływanie wozów na nawierzchnie dróg, powstające zwłaszcza przy ruchu po nawierzchni nierównej, jest znacznie większe od oddziaływania statycznego i może być kilkakrotnie większe od tego ostatniego.

¹⁾ Doświadczenia inż. Lohmann'a.

Przy dynamicznem oddziaływaniu wozu na nawierzchnię drogi może mieć spory wpływ na powiększenie lub pomniejszenie tego oddziaływania resorowanie pojazdu, gdyż przechylenie pojazdu poprzeczne lub skakanie koła po nierównej nawierzchni może wywoływać znaczne wahania resorów i powiększenie lub zmniejszenie nacisku koła na nawierzchnię w dość znacznych granicach.

Oddziaływanie ruchu wozów na ukształtowanie dróg.

Ruch wozów konnych na drogach wymaga przystosowania dróg do potrzeb tego ruchu w dwóch kierunkach: 1) przystosowania odcinków dróg w łuku, 2) przystosowania odcinków dróg ze wzniesieniem lub spadkiem podłużnym drogi. Rozpatrzmy warunki ruchu wozów konnych: 1) na odcinkach, znajdujących się w łuku, 2) na prostych odcinkach znajdujących się na wzniesieniu lub w spadku, 3) na odcinkach jednocześnie znajdujących się na łuku i na wzniesieniu lub spadku, i określimy te wymagania, jakim odpowiadać winny drogi, aby ruch wozów mógł się na nich odbywać w sposób racjonalny.

Ruch wozów w łukach.

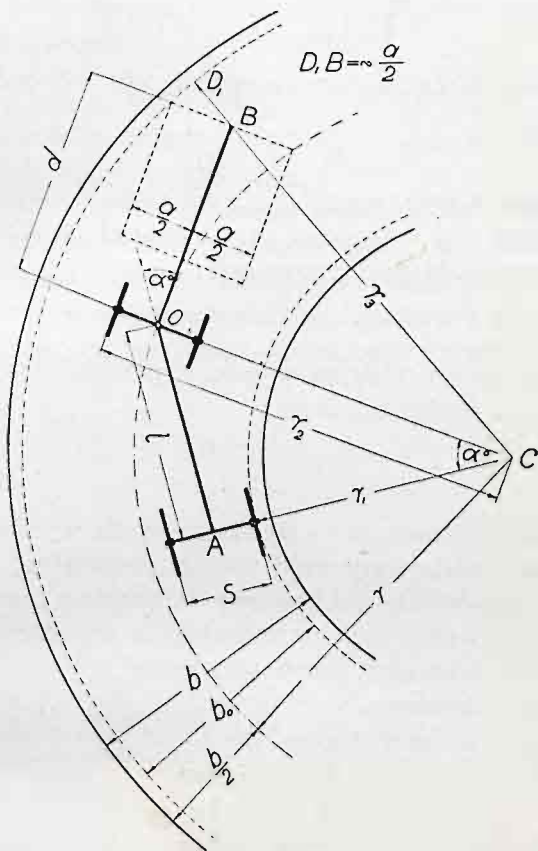
Na odcinkach dróg, znajdujących się w łukach, ruch wozów konnych typu rolniczego jest możliwy dzięki temu, że wozy te posiadają możliwość odchylenia przedniej osi o pewien kąt skrętu. Im kąt skrętu w wozie będzie zastosowany większy, wóz będzie zataczać łuk o promieniu mniejszym.

Przy zastosowaniu największego kąta skrętu, możliwego przy wozach rolniczych, wozy zataczać będą łuki o promieniu najmniejszym. Interesuje nas najmniejszy promień łuku, przy którym ruch wozów rolniczych może się jeszcze odbywać.

Wyprowadzimy zależność między wymiarami wozu, kątem skrętu, a najmniejszym promieniem łuku, po którym ruch wozu może się jeszcze odbywać (rys. 15). Wymiary wozu i zaprzęgu oznaczone są na rysunku. Jeżeli dyszel BO jest odchylony od normalnego położenia o cały kąt skrętu (największy dopuszczalny konstrukcją wozu) α^0 , wtedy promień łuku, jaki

zatacza tylne koło znajdujące się po stronie wewnętrznej łuku, zataczanego przez wóz, będzie r_1 ;

$$r_1 = AC - \frac{s}{2} = AO \cotg \alpha - \frac{s}{2} = l \cotg \alpha - \frac{s}{2} \quad (1)$$



Rys. 15. Wóz rolniczy na odcinku drogi w łuku.

Promień łuku, jaki zataczać będzie przednie koło wozu znajdujące się po stronie zewnętrznej łuku, będzie r_2 ;

$$r_2 = OC + \frac{s}{2} = \frac{l}{\sin \alpha} + \frac{s}{2} \quad (2)$$

Wreszcie zewnętrzny brzeg zaprzęgu będzie zataczać łuk o promieniu r_3 równym D_1C :

$$\begin{aligned} r_3 = D_1C = D_1B + BC &= \frac{a}{2} + \sqrt{OC^2 + OB^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha}\right)^2 + d^2} + \frac{a}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

Szerokość jezdni w łuku potrzebna, aby wóz mógł się zmieścić wynosi:

$$b_0 = r_3 - r_1 \quad (4)$$

Aby ruch w praktyce mógł się odbywać, dodajemy z każdej strony pasy jezdni szerokości przynajmniej po 0,20 m. Wtedy całkowita szerokość jezdni wyniesie:

$$b = b_0 + 2 \cdot 0,20 \quad (5)$$

Wreszcie promień drogi w łuku r , przechodzący przez środek szerokości jezdni wyniesie:

$$r = \frac{r_3 + r_1}{2} \quad (6)$$

Jeżeli we wzorach (1 — 6) wartości dla wymiarów wozów i zaprzęgów podstawimy rzeczywiste przeciętne, otrzymamy dla r_1 , r_2 , r_3 , r i b wartości liczbowe dające nam możliwość orjentowania się w wymiarach najmniejszych dopuszczalnych promieni drogi w łuku oraz szerokości jezdni.

Przykład liczbowy:

Jeżeli przyjmujemy: $\alpha^0 = 30^0$

$$l = 3,0 \text{ m}$$

$$s = 1,2 \text{ m}$$

$$a = 1,8 \text{ m}$$

$$d = 3,0 \text{ m};$$

otrzymamy z wzorów (1 — 6):

$$r_1 = 4,60 \text{ m}$$

$$r_2 = 6,60 \text{ m}$$

$$r_3 = 7,61 \text{ m}$$

$$r = 6,10 \text{ m}$$

$$b = 3,41 \text{ m}$$

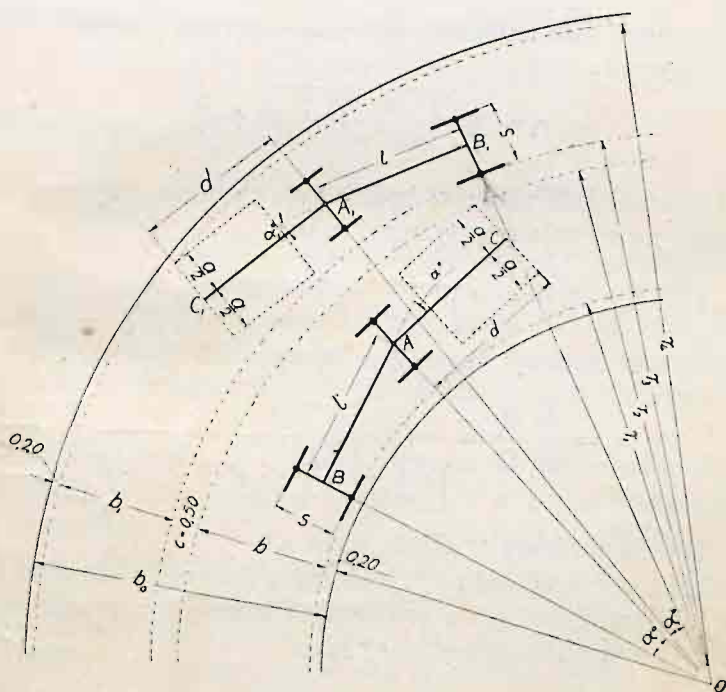
$$r = 6,10 \text{ m};$$

Z wyników tych wyprowadzamy wnioski: 1) dla przeciętnych wozów rolniczych najmniejszy promień łuku, po którym ruch wozu jest możliwy, wyniesi około dwóch długości wozu (rozstawu między osiami), 2) szerokość jezdni winna być większa, niż w odcinku prostym, aby wóz z zaprzęgiem mógł się zmieścić na jezdni; na odcinku prostym przy przyjętych wymiarach wozu szerokość winna wynosić

$$s + 0,20 \times 2 = 1,60 \text{ m},$$

a w odcinku w łuku przy skrócie 30° i innych wymiarach wozu przyjętych jak wyżej — 3,41 m. t. j. przeszło dwa razy więcej.

Dotychczas określony został najmniejszy promień łuku i niezbędna szerokość jezdni jednotorowej, t. j. wystarczającej dla jednego wozu — bez możliwości wymijania się dwóch wozów typu rolniczego w odcinkach dróg znajdujących się w łuku. Na rys. 16 rozpatrzmy warunki, jakim odpowiadać powinny od-



Rys. 16.

ciniki dróg w łuku przy mijaniu się dwóch wozów rolniczych. Dla określenia najmniejszego promienia łuku, przy jakim ruch dwóch tych wozów może się odbywać, przyjmujemy, że przy wozie znajdującym się po stronie wewnętrznej łuku zastosowany został największy kąt skrętu α^0 , dopuszczalny przez konstrukcję wozu, a przy wozie znajdującym się po stronie zewnętrznej łuku zastosowany został kąt skrętu α_1^0 , mniejszy niż dopuszczalny przez konstrukcję wozu, a taki, przy którym odstęp między zewnętrzną stroną zaprzęgu wozu idącego po stronie wewnętrznej i tylnem wewnętrznym kołem wozu idącego po stronie zewnętrznej równać się będzie wartości $c = 0,50$ m, wystarczającej dla swobodnego mijania się wozów.

Otrzymamy wtedy, że promień, jaki zataczać będzie wewnętrzne tylne koło wozu idącego po stronie wewnętrznej łuku:

$$r_1 = l \cotg \alpha - \frac{s}{2} \quad (7)$$

Promień, jaki zataczać będzie zewnętrzna krawędź zaprzęgu tegoż wozu:

$$r_2 = \sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha}\right)^2 + d^2} + \frac{a}{2} \quad (8)$$

Promień, jaki zataczać będzie koło tylne wewnętrzne wozu jadącego po stronie zewnętrznej łuku;

$$r_3 = r_2 + c = \sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha}\right)^2 + d^2} + \frac{a}{2} + c \quad (9)$$

Wielkość kąta α_1^0 określić możemy z $\Delta A_1 B_1 O$, gdyż

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{A_1 B_1}{B_1 O} = \frac{l}{\sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha}\right)^2 + d^2} + \frac{a}{2} + c} \quad (10)$$

skąd określić możemy wielkość kąta α_1^0 .

Mając wielkość kąta α_1^0 , możemy z łatwością określić promień, jaki zataczać będzie zewnętrzna krawędź zaprzęgu wozu jadącego po stronie zewnętrznej łuku

$$r_4 = \sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha_1}\right)^2 + d^2} + \frac{a}{2} \quad (11)$$

Przykład liczbowy: jeżeli przyjmiemy, że:

$$\begin{aligned} \alpha &= 30^\circ \\ l &= 3,0 \text{ m} \\ s &= 1,2 \text{ m} \\ a &= 1,8 \text{ m} \\ d &= 3,00 \text{ m} \\ c &= 0,50 \text{ m} \end{aligned}$$

otrzymamy:

$$\begin{aligned} r_1 &= 4,6 \text{ m} \\ r_2 &= 7,61 \text{ m} \\ \alpha_1 &= 19^\circ \\ r_3 &= 8,11 \text{ m} \\ r_4 &= 10,57 \text{ m} \\ r &= \frac{r_1 + r_3}{2} = 7,51 = \frac{4,6 + 8,11}{2} = 7,58 \\ b &= r_2 - r_1 = 3,01 \text{ m} \\ b_1 &= r_4 - r_3 = 2,46 \text{ m} \end{aligned}$$

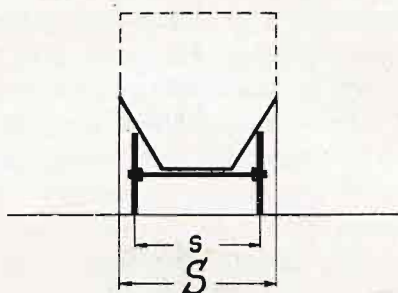
Niezbędna szerokość jezdni

$$b_0 = 0,20 + b + c + b_1 + 0,20 = 6,57 \text{ m.}$$

Widzimy, że na odcinkach dróg dwutorowych w łuku przy zastosowaniu dla wozu jadącego po wewnętrznej stronie łuku największego skrętu, dopuszczalnego przez konstrukcję wozu kąta, ogólna szerokość jezdni musi być znacznie poszerzona w stosunku do szerokości, jaka jest potrzebna na odcinku drogi prostej.

Szerokość jezdni w odcinku prostym byłaby wystarczająca przy powyższych przyjętych wymiarach w przykładzie liczbowym: $b_0 = 0,20 + 1,20 + 0,50 + 1,20 + 0,20 = 3,90 \text{ m.}$, w założeniu, że dla wozów o rozstawie kół 1,20 m. wystarczałaby przestrzeń $c = 0,50 \text{ m.}$ dla swobodnego mijania się, t. j. że obrysie (kontur poprzeczny wozu z ładunkiem) nie jest znacznie szersze, niż rozstaw kół wozu; w rzeczywistości bywa ono niekiedy szersze (rys. 17), (np. w wozach naładowanych słomą); wtedy wymiar c winien być odpowiednio powiększony

przy określaniu szerokości jezdni dwutorowej w odcinku prostym jak również w łuku, w zależności od różnicy $\left(\frac{S}{2} - \frac{s}{2}\right)$

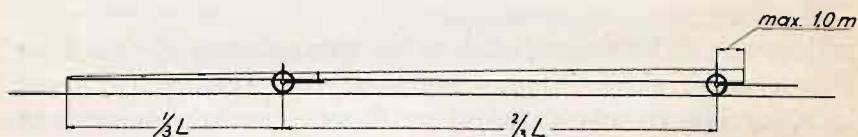


Rys. 17.

o czym mowa będzie w następnych rozdziałach, traktujących o projektowaniu dróg.

Przewóz przy pomocy wozów rolniczych długich kłóców drzewa.

Na ukształtowanie dróg w łukach ma wielki wpływ konieczność przewożenia długich kłóców drzewa.

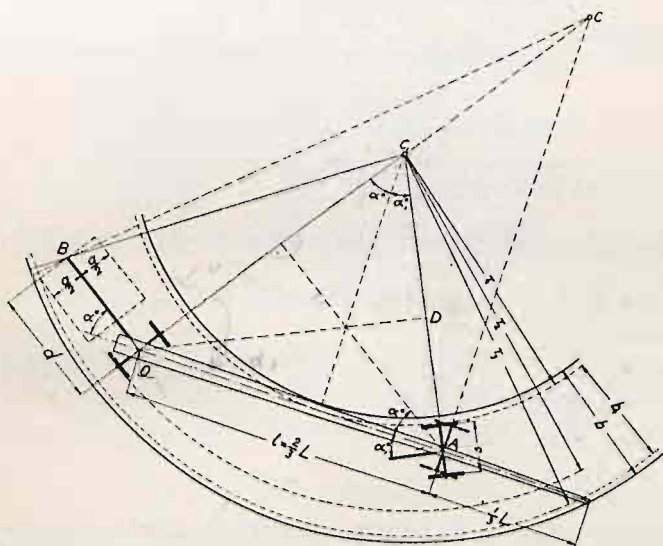


Rys. 18.

Długie kłoc drzewa przewożone są przy pomocy wozów rolniczych w sposób następujący: wóz „rozwodzi się”, t. j. odczepia się przodek wozu od tylnej części wozu; na przodek wozu naładowany jest grubszy koniec kłoca tak, aby koniec jego nie wystawał więcej niż 1,0 m. poza oś przednią i nie przeszkadzał zaprzęgowi; oś tylną umieszcza się w odległości $\frac{1}{3}$ długości kłoca od jego końca, co przy normalnej zbieżności kłóców pozwala na mniej więcej równomierne obciążenie oby-

dwóch osi; pozostała część — cieńszy koniec — zwisa swobodnie.

Ponieważ długość kłoców L dochodzi często do 30 m., przeto odległość pomiędzy osiami wozu rozwiedzionego dochodzi do 20 m. Kąt skrętu α przy przewożeniu długich kłoców drzewa nie może być większy niż $30'' - 35''$, przeto najmniejszy promień łuku osi drogi, po której może przejść wóz przewożący długi kłoc drzewa, wynosić będzie około $2,0 L$ dla drogi jednorodowej i około $2,4 L$ dla drogi dwutorowej: przy rozstawie osi = 20 m., $r = 40$ do 50,0 m. Nie zawsze warunki miejscowe lub terenowe pozwolą na zastosowanie takiego względnie dużego promienia. W tym wypadku użycie t. zw. „tylnego skrętu“ umożliwi przeprowadzenie długiego kłoca drzewa po drodze mającej dużo mniejszy promień łuku: w tym celu odwiązujemy rozworę od kłoca, odciągamy ją w poprzek i skręcamy tylną oś o kąt α_1



Rys. 19.

(rys. 19), dzięki czemu wóz zataczać będzie znacznie mniejszy łuk, a mianowicie: koło tylne wewnętrzne zamiast promienia

$\left(AC - \frac{s}{2}\right)$ będzie zataczać łuk o promieniu

$$r_1 = AC_1 - \frac{s}{2} = \frac{l \cos \alpha}{\sin (\alpha + \alpha_1)} - \frac{s}{2}; \quad (12)$$

koło przednie zewnętrzne zamiast promienia $\left(OC + \frac{s}{2}\right)$ zataczać będzie łuk

$$r_2 = OC_1 + \frac{s}{2} = \frac{l \cos \alpha_1}{\sin (\alpha + \alpha_1)} + \frac{s}{2}; \quad (13)$$

zewnętrzna krawędź zaprzęgu zamiast łuku o promieniu $\left(BC + \frac{a}{2}\right)$ zataczać będzie łuk o promieniu

$$\begin{aligned} r_3 &= BC_1 + \frac{a}{2} = \sqrt{OC_1^2 + OB^2} + \frac{a}{2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{l \cos \alpha_1}{\sin (\alpha + \alpha_1)}\right)^2 + d^2} + \frac{a}{2}; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{Promień osi drogi } r = \frac{r_3 + r_1}{2}; \quad (15)$$

Szerokość jezdni niezbędna dla przepuszczenia wozu

$$b = b_1 + 2 \cdot 0,20 = (r_3 - r_1) + 2 \cdot 0,20 \quad (16)$$

Przykład liczbowy.

Jeżeli dla przewożenia kłosa o długość $L = 30$ m, przyjmiemy:

| | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|
| $l = 20$ m. | otrzymamy z wzoru (12) | $r_1 = 20,29$ m. |
| $\alpha = 30^\circ$ | „ „ „ (13) | $r_2 = 21,99$ m. |
| $\alpha_1 = 25^\circ$ | „ „ „ (14) | $r_3 = 22,25$ m. |
| $s = 1,20$ m. | „ „ „ (15) | $r = 21,27$ m. |
| $a = 1,8$ m. | „ „ „ (16) | $b_1 = 1,96$ m. |
| $d = 3,0$ m. | „ „ „ (16) | $b = 2,36$ m. |

Z wzorów (12 — 16) oraz z przykładu liczbowego widzimy, że przy przeciętnych wozach rolniczych zastosowanie oprócz skrętu przedniego również skrętu tylnego umożliwi przewóz długich kłoców drzewa przy promieniach łuku znacznie mniejszych, niż przy stosowaniu tylko jednego skrętu przedniego; najmniejszy promień osi drogi wynosi w tym wypadku około 1,05 l , t. j. prawie dwa razy mniejszy, niż przy stosowaniu tylko jednego skrętu przedniego.

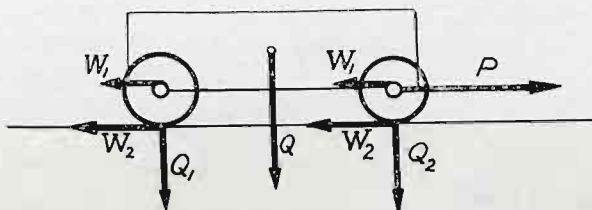
Z powyższych rozważań o ruchu wozów typu rolniczego

w łuku będą dalej wyprowadzone wnioski co do wielkości najmniejszych dopuszczalnych promieni łuków na drogach.

Ze względu na małą stosunkowo szybkość rozwijaną przez wozy konne, dochodzącą najwyżej do 10 km. na godzinę, a przy wozach wiozących znaczniejsze ciężary nie przekraczającą nawet 5 — 6 km. na godzinę, nie rozpatrujemy wpływu siły odśrodkowej na ruch wozów, gdyż przy tych szybkościach jest ona stosunkowo nieznaczna i nie oddziałuje na ukształtowanie dróg w łuku.

Ruch wozów na odcinkach poziomych
i na wzniesieniach lub spadkach.

Siła pociągowa — zwierzęta pociągowe — działa na osie wozów za pośrednictwem dyszla i rozwory.



Rys. 20.

Przy ruchu na odcinku poziomym (rys. 20) pod wpływem ciężaru wozu Q , rozkładającego się na obydwie osie, powstają opory, które przewyciężyć musi siła pociągowa P . Opory te są czterech rodzajów:

1. Opory wewnętrzne wozu: w łożyskach osi (tarcie obrotowe), tarcie na czołach piast i t. p. Opory te mogą być znacznie zmniejszone przez udoskonalenie konstrukcji wozu a mianowicie piast i łożysk oraz przez staranne smarowanie wozu.

2. Opory zewnętrzne, jakie powstają przy toczeniu się kół wozu między nimi i nawierzchnią drogi, czyli tak zwane tarcie potoczyste.

3. Opór, jaki powstaje przy zmianie szybkości wozu wskutek konieczności przewyciężenia bezwładności masy wozu.

4. Opór powietrza, jaki powstaje wskutek ruchu wozu;

wielkość tego oporu przy niewielkich szybkościach jest nieznaczna i wzrasta szybko z powiększeniem szybkości pojazdu; ponieważ szybkość wozów ciągnionych przez zwierzęta pociągowe jest nieznaczna, przeto w tym wypadku możemy nie przyjmować ich pod uwagę; natomiast w dalszych rozważaniach będziemy się z oporem powietrza liczyć przy ruchu pojazdów mechanicznych, rozwijających znacznie większą szybkość niż pojazdy konne.

Przy ruchu wozu na odcinku poziomym liczyć się będziemy z oporami wymienionymi wyżej w punktach 1, 2, 3, a przy ruchu o szybkości stałej — z oporami wymienionymi w punktach 1 i 2.

Oporo wewnętrzne.

Dla określenia oporu wewnętrznego istnieje dużo wzorów opartych na materiale doświadczalnym.

Np. Prof. Laissle podaje dla tego oporu wzór następujący:

$$W_1 = f \cdot Q \cdot \frac{\rho}{r} \quad (17)$$

w którym W_1 — oznacza opór wewnętrzny

Q — obciążenie koła t. j. przypadająca nań część ładunku i wagi własnej wozu

ρ — promień osi

r — promień koła

f — współczynnik tarcia żelaza po żelazie (nasmarowanych) = 0,07.

Stosunek $\frac{\rho}{r}$ w wozach rolniczych = $\sim 0,06$, po podstawieniu wartości f i $\frac{\rho}{r}$ we wzór (17) otrzymamy:

$$W_1 = 0,004 Q \quad (18)$$

Widzimy, że wartość oporów wewnętrznych jest stosunkowo nieznaczna, zwłaszcza w porównaniu do oporów zewnętrznych.

Oporo zewnętrzne.

Dla tarcia potoczystego istnieją różne wzory z doświadczeń otrzymane.

Doświadczenia te były wykonywane przez klasycznych badaczy tego zagadnienia Morin'a, Dupuit, Gerstnera i innych. Np. wzór Morin'a przedstawia się jak następuje:

$$W_2 = \varphi_1 \cdot \frac{Q}{r} \quad (19)$$

we wzorze tym W_2 — oznacza opór zewnętrzny koła wozu (tarcie potoczyste).

φ_1 — współczynnik doświadczalny, drogą doświadczeń określony dla różnych doświadczeń,

Q — obciążenie koła,

r — promień koła,

Wzór Gerstnera:

$$W_2 = \varphi_2 \sqrt[3]{\frac{Q^4}{b \cdot r^2}} \quad (20)$$

we wzorze tym:

W_2 — oznacza opór wewnętrzny koła (tarcie potoczyste),

φ_2 — również współczynnik doświadczalny,

Q — obciążenie koła,

b — szerokość obręczy koła,

r — promień koła.

Ogólny opór W , jaki przewyżczyć musi siła pociągowa, aby wóz poruszał się ze stałą szybkością, otrzymamy, sumując W_1 z wzoru (18) z oporem W_2 z wzoru (19) lub (20), np.

$$W = W_1 + W_2 = f \cdot Q \cdot \frac{\rho}{r} + \varphi_1 \cdot \frac{Q}{r} = \left(f \cdot \frac{\rho}{r} + \frac{\varphi_1}{r} \right) Q.$$

W ostatnich czasach ze względu na to, że opór wewnętrzny W_1 jest stosunkowo mały i stały dla wozu, a opór zewnętrzny jest znacznie większy i różni się znacznie — w zależności od rodzaju nawierzchni, — powszechnie przyjęty jest znacznie prostszy wzór dla oporu W :

$$W = \varphi \cdot Q, \quad (21)$$

w którym W — oznacza opór wozu

Q — oznacza wagę wozu

φ — oznacza współczynnik oporu różny dla różnych wozów i nawierzchni.

W podręcznikach inżynierskich podawane są tablice z wartościami współczynnika φ .

Np. według podręcznika Foerстера mamy tabl. III:

TABLICA III.
współczynniki oporu.

| N A W I E R Z C H N I A | | $\varphi =$ |
|--|------------------------------|-------------|
| Drogi gruntowe | sypki piasek | 0,15 |
| | przeciętna droga gruntowa . | 0,10 |
| | twarda sucha droga gruntowa | 0,05 |
| Drogi bite | tluczeń niewalcowany . . . | 0,125 |
| | droga bita mokra | 0,05 |
| | dobra droga bita sucha . . . | 0,03 |
| | droga bita bitumowana . . . | 0,02 |
| Zwykły bruk w stanie złym | | 0,04 |
| Bruk z drobnej kostki kamiennej. | | 0,02 |
| Dobry bruk z kostki kamiennej dużej. | | 0,018 |
| Bruk klinkierowy w stanie dobrym | | 0,013 |
| Bruk z kostki drewnianej | | 0,018 |
| Nawierzchnia asfaltowa | | 0,01 |
| Tory żelazne. | | 0,005 |
| Tor kolejowy żelazny przy szybkości średniej | | 0,0025 |

Według doświadczeń Morin'a, prof. Baker'a (Stany Zjednoczone Ameryki Północnej) i innych, na wielkość współczynnika oporu φ wpływają różne okoliczności, jak np. szerokość obręczy, średnica kół, szybkość ruchu, stan nawierzchni dróg (nawierzchnia sucha, mokra lub błotnista).

Np. przy szerokości obręczy wozu $b = 3,75 \text{ cm.}; = 5 \text{ cm.}$
dla twardej drogi gruntowej

współcz. oporu $\varphi = 0,074 \text{ cm.}; = 0,054 \text{ cm.}$

dla drogi bitej $\varphi = 0,060 \text{ cm.}; = 0,49 \text{ cm.}$

| Dla dorożki | jadącej stępa | wolnym klusem | szybkim klusem |
|--------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| Na dobrej drodze bitej | $\varphi = 0,020$ | $= 0,0240$ | $= 0,0245$ |
| Na gładkim bruku kamiennym | $\varphi = 0,0155$ | $= 0,0235$ | $= 0,0270$ |

Podane w tabl. III wartości dla φ są przeciętne; dla potrzeb praktycznych wystarcza stosowanie tych przeciętnych wartości.

Opór wozu dla przewyciężenia bezwładności masy wozu.

Przy zmianie szybkości w czasie ruchu jest stosunkowo nieznaczny, ponieważ wahania między szybkościami wozów (mamy tu na myśli przede wszystkim wozy ciężarowe), są stosunkowo nieznaczne, a więc i przyśpieszenie wozu też niewielkie; stosunkowo większy opór ten jest, gdy wóz rusza z miejsca, t. j. powiększa szybkość wozu od $v = 0$ do szybkości przeciętnej wozu ciężarowego $v = 1,0$ m/sek. Jeżeli założymy, że przy ruszaniu z miejsca szybkość ta wzrasta równomiernie w ciągu czasu $t = 5$ sek. i dochodzi w końcu czasu t do 1,0

m/sek., przyśpieszenie $\frac{dv}{dt} = \frac{v}{t} = \frac{1,0}{5} = 0,2$ m/sek.

Opór wozu dla przewyciężenia bezwładności jego masy

$$W_i = M \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{Q}{g} \cdot \frac{v}{t};$$

przy $v = 1,0$ m/sek. osiąganej w ciągu $t = 5$ sek.

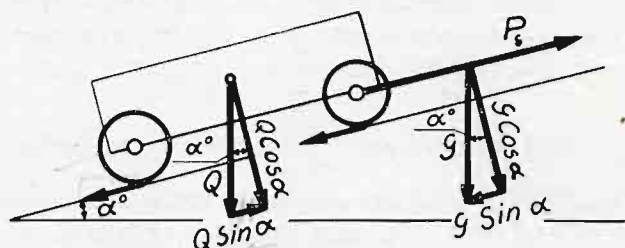
$$W_1 = \frac{0,2}{9,81} Q = 0,02 Q.$$

Ruch na odcinku poziomym, po przewyciężeniu oporu od bezwładności wozu przy stałej szybkości mieć będzie miejsce, gdy siła pociągowa P_0 będzie równa oporowi ruchu obliczonemu z wzoru (21)

$$P_0 = W = \varphi \cdot Q \quad (22)$$

Ruch na wzniesieniu lub spadku.

Odbywa się w innych warunkach, niż na odcinku poziomym, ponieważ wóz poruszać się będzie po drodze pochylonej do poziomu pod pewnym kątem α (rys. 21 i 22) na wzniesieniu lub na spadku; potrzebna siła pociągowa będzie inna.



Rys. 21.

Jeżeli wagę wozu oznaczmy przez Q , wagę konia lub koni przez G , a siły Q i G rozłożymy na składowe równoległe do nawierzchni drogi i prostopadłe do niej, otrzymamy zależność na podstawie wzoru (22)

$$P_s = \varphi Q \cos \alpha + Q \sin \alpha + G \sin \alpha,$$

gdyż siła pociągowa P_s musi pokonać oprócz oporu wywołanego ciśnieniem wozu normalnym do nawierzchni drogi ($\varphi \cdot Q \cos \alpha$) jeszcze składowe siły wozu ($Q \sin \alpha$) i konia (koni) ($G \sin \alpha$).

Jeżeli wzór ostatni podzielimy przez $\cos \alpha$ otrzymamy

$$\frac{P_s}{\cos \alpha} = \varphi Q + (Q + G) \operatorname{tg} \alpha$$

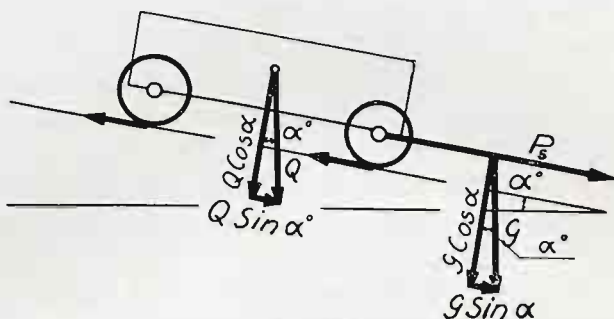
We wzorze tym możemy przyjąć $\cos \alpha \approx 1$, ponieważ przy wzniesieniach stosowanych na drogach $\cos \alpha$ rzadko bywa mniejszy niż 0,98; oznaczając $\operatorname{tg} \alpha = s$, co jest miarą wzniesienia, otrzymamy wzór dla siły pociągowej potrzebnej na wzniesieniu

$$P_s = \varphi Q + (Q + G) s. \quad (23)$$

Jeżeli porównamy wzór (23) z wzorem (22), widzimy, że na wzniesieniu potrzebna jest większa siła pociągowa, niż na odcinku poziomym o wartość $(Q + G) s$; jest to ta część siły pociągowej, którą musimy użyć dla pokonania wzniesienia s .

Przy ruchu na spadku (rys. 22) mamy zależność, przyjmując oznaczenia takie same jak na rys. 21:

$$P_s = \varphi \cdot Q \cdot \cos \alpha - (Q \cdot \sin \alpha - G \cdot \sin \alpha).$$



Rys. 22.

Po podzieleniu tego równania przez $\cos \alpha$, po przyjęciu $\cos \alpha \approx 1$ i po oznaczeniu $\tan \alpha = s$, otrzymamy wzór dla ruchu wozu na spadku:

$$P_s = \varphi Q - (Q + G) s. \quad (24)$$

Siła pociągowa potrzebna na spadku wielkości s jest mniejsza niż na odcinku poziomym o wartość wyrazu $(Q + G) s$.

Aby z wzorów (23) i (24) wyprowadzić wnioski praktyczne, dotyczące wielkości wzniesień lub spadków, jakie można stosować na drogach, należy zapoznać się z charakterystyką pracy zwierząt pociągowych.

Praca zwierząt pociagowych.

Zajmiemy się wyłącznie koniem, jako siłą pociagową najwięcej rozpowszechnioną.

Siła pociągowa roboczego konia, znajdującego się w stanie zdolnym do pracy, zależna jest od wagi własnej konia i wielkość jej jest w stosunku prostym do niej.

Jeżeli przez P oznaczmy siłę pociagową konia i G wagę własną konia, mamy zależność:

$$P = \alpha \cdot G, \quad (25),$$

gdzie współczynnik α dla normalnej pracy bez szkody dla konia waha się w granicach od $\frac{1}{5}$ do $\frac{1}{7}$.

Waga konia waha się od 250 kg. do 800 kg. i nawet 1000 kg. Przeciętna waga wynosi 350 kg.

Wielkość siły pociągowej konia jest ograniczona przez ślizganie się nóg konia po powierzchni drogi. Jeżeli współczynnik tarcia żelaza (podków) po nawierzchni drogi jest f , wielkość graniczna siły pociągowej konia

$$P_{\max.} = f \cdot G,$$

przy $f = 0,45$ (współczynnik tarcia żelaza po kamieniu suchym):

$$P_{\max.} = 0,45 \cdot G.$$

Ze względów praktycznych przyjąć należy pewien współczynnik bezpieczeństwa na ślizganie się kopyt konia po nawierzchni; jako taki współczynnik przyjmujemy 0,5; z powyższego względu siła pociągowa konia będzie zredukowana do połowy.

$$P_{\max.} = 0,5 \cdot f \cdot G. \quad (26)$$

Praca dzienna konia może wahać się w pewnych dość znacznych granicach; w celu zachowania jego zdolności pociągowej, trzeba dla pracy dziennej konia wyznaczyć pewne granice na podstawie doświadczeń.

Gasparin, badacz w tym kierunku, podaje następującą granicę pracy dziennej konia, która może być wykonywana stale codziennie bez szkody dla konia jako żywego motoru:

$$L = 5400 \cdot G. \quad (27)$$

We wzorze tym L — oznacza pracę dzienną w kgm a G waga konia w kg.

Z wzorów (26) i (27) możemy wyprowadzić dzienny przebieg konia x m. z następującego równania

$$0,5 \cdot f \cdot G \cdot x = 5400 \cdot G;$$

$$\text{skąd} \quad x = \frac{10800}{f} \quad (28)$$

Jeżeli przyjmiemy przeciętną wartość $f = 0,33 = 1/3$, otrzymamy z równania (26):

$$P = 1/6 G \quad (29)$$

co mniej więcej odpowiada wartości doświadczalnej z wzoru (25); dzienny przebieg konia w tym wypadku

$$x = 32400 \text{ m.}$$

Siła pociągowa konia normalna obliczona z wzoru (25), względnie z wzoru (29), może być powiększona nawet kilkukrotnie (3 — 4 razy), jednak czas pracy konia przy takim wysiłku musi być odpowiednio zredukowany ze względu na zdrowie konia i zachowania jego zdolności pociągowej.

Praca, jaką wykonywa koń, dzieli się na pracę zewnętrzną — przy ciągnięciu wozu — i pracę wewnętrzną — przy przenoszeniu własnego ciała.

Obserwacje Tredgold'a umożliwiają nam określenie pracy wewnętrznej konia.

Obliczenie to można zrobić na następującej podstawie: przeciętny koń pociągowy wykazuje jednakowe zmęczenie, gdy: 1) przebiega dziennie 70 km., nie wykonywując żadnej pracy pociągowej i 2) gdy przechodzi dziennie 30 — 35 km., wykonywując normalną pracę pociagową. Oznaczmy przez L_w — pracę wewnętrzną przy przebiegu 1 m. i na 1 kg. wagi konia;

l_w — długość przebiegu dziennego bez wykonywania pracy pociągowej;

l_p — długość przebiegu dziennego przy wykonywaniu pracy pociągowej przy zastosowaniu siły pociągowej równej $1/6 G$ (p. wzór 29).

Na zasadzie obserwacji Tredgold'a możemy napisać równanie

$$L_w \cdot G \cdot l_w = L_w \cdot G \cdot l_p + \frac{1}{6} \cdot G \cdot l_p,$$

skąd

$$L_w = \frac{l_p}{6 (l_w - l_p)}.$$

Przy $l_w = 70.000 \text{ m.}$ i $l_p = 32.400 \text{ m.}$ otrzymamy

$$L_w = 0,143 = \sim 1/7.$$

Z tego wynika, że przy pracy pociągowej koń wykonywa pracę wewnętrzną dla przenoszenia własnego ciężaru mniej więcej równą pracy pociągowej.

Przy wykonywaniu pracy pociągowej koń idzie z szybkością stępa (t. j. około 1,0 m/sek.).

Praca użyteczna wynosi wtedy około 54%, a praca wewnętrzna — około 46% całej pracy wykonywanej przez konia. Przy powiększeniu szybkości stosunek ten zmienia się: np. w kłusie użyteczna praca wyniesie zaledwie 13 — 16%, reszta przypadnie na pracę wewnętrzną.

Szybkość ruchu koni. Bockelberg określa szybkość ruchu konia w sposób następujący:

| | |
|--------------------------|---------------------|
| $V = 0,6$ m/sek. | wolny stęp |
| $V = 1,0 — 1,1$ m/sek. | stęp |
| $V = 2,0$ m/sek. | szybki stęp |
| $V = 3,0 — 4,0$ m/sek. | trucht (wolny kłus) |
| $V = 4,0 — 6,0$ m/sek. | kłus |
| $V = 12,0 — 16,0$ m/sek. | galop. |

Wydaźność pracy konia. Jeżeli wydaźność pracy konia oznaczymy przez L , siłę pociągową konia przez P i szybkość ruchu przez V , czas pracy przez T , otrzymamy wzór:

$$L = P \cdot V \cdot T \quad (30)$$

Charakterystyczna cecha konia, jako żywego motoru jest ta, że wydaźność jego pracy jest największa, gdy koń pracuje ze średnim natężeniem (P_0) ze średnią szybkością (V_0) pewną przeciętną ilość czasu (T_0)

$$L_{\max.} = P_0 \cdot V_0 \cdot T_0 \quad (31)$$

Doświadczenia Lechalaś'a wskazują, że największa wydaźność przeciętnego konia roboczego ma miejsce wtedy, gdy koń pracuje przy szybkości $V_0 = 0,8$ m/sek., przy $P_0 = 1/5$ wagi konia w ciągu czasu $T_0 = 8$ godz. dziennie. Jeżeli we wzorze (31) będziemy tak zmieniać P_0 , V_0 i T_0 , żeby iloczyn ich był równy $L_{\max.}$, otrzymamy warunki, przy których koń pracuje przy stałym utrudzeniu:

$$P_0 \cdot V_0 \cdot T_0 = P \cdot V \cdot T.$$

Wzór Maschek'a. W literaturze drogowej rozpowszechniony jest wzór Mascheka, podający zależność siły pociągowej konia od różnych warunków pracy konia.

$$P = P_0 \left(3 - \frac{V}{V_0} - \frac{T}{T_0} \right) \quad (32)$$

Wzór ten jednak daje rezultaty zgodne z rzeczywistością tylko wtedy, gdy wartości V i T niezbyt różnią się od normalnych wartości V_0 i T_0 .

Jeżeli we wzorze (32) przyjmiemy $P_0 = 75$ kg., $V_0 = 1,1$ m/sek. ($= 4$ km/godz.) i $T_0 = T = 8$ godz., otrzymamy:

$$P = P_0 \left(2 - \frac{V}{V_0} \right) \quad (33)$$

Dla różnych wartości V otrzymamy odpowiednie wartości dla P , np.:

Przy $V=0,61$ m/sek. (2,2 km/godz.) mamy: $P=1,45 P_0=108$ kg.
 $V=0,83$ m/sek. (3,0 km/godz.) . . . $P=1,24 P_0= 93$ kg.
 $V=1,00$ m/sek. (3,6 km/godz.) . . . $P=1,09 P_0=109$ kg.
 $V=1,1$ m/sek. (4,0 km/godz.) . . . $P= P_0= 75$ kg.
 $V=1,5$ m/sek. (7,9 km/godz.) . . . $P=0,64 P_0= 48$ kg.

Siła pociągowa wielokonnych zaprzęgów. Na zasadzie badań Bockelberga przy wielokonnych zaprzęgach konnych siła pociągowa koni nie jest wyzyskiwana całkowicie. Im więcej jest koni w zaprzęgu, tem w mniejszym stopniu jest wyzyskiwana ich normalna siła pociągowa. Tłumaczy się to brakami w urządzeniu uprzęży oraz nieskoordynowaniem wysiłków koni pracujących w wielokonnym zaprzęgu.

Następujące zestawienie daje pogląd, w jakim stopniu jest nieekonomiczne zastosowanie wielokonnych zaprzęgów.

| Liczba koni w zaprzęgu | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Stopień wyzyskania siły pociągowej konia | 100% | 98% | 87% | 80% | 73% | 64% | 55% | 49% |

Z zestawienia powyższego wynika, że stosowanie w zaprzęgu większej ilości koni niż cztery jest nieekonomiczne.

Dopuszczalne wielkości wzniesień i spadków na odcinkach prostych przy ruchu wozów konnych.

Jeżeli przez Q oznaczmy wagę wozu Q_1 wraz z ładunkiem Q_2 , czyli $Q = Q_1 + Q_2$, przez P siłę pociągową potrzebną do przewożenia tego wozu wraz z ładunkiem na odcinku poziomym, φ — współczynnik oporu nawierzchni drogi, mamy zależność dla odcinka poziomego (p. str. 51, wzór 22)

$$P_0 = \varphi \cdot Q.$$

Przy ruchu tegoż wozu na wzniesieniu, którego tg α kąta pochylenia do poziomu $= s$, mamy dla siły pociągowej P_s w tym wypadku zależność (p. str. 52 wzór 23)

$$P_s = \varphi \cdot Q + s(Q + G).$$

Siła pociągowa P_s przy ruchu wozu na wzniesieniu będzie większa, niż siła pociągowa przy ruchu tegoż wozu po odcinku poziomym, o wyraz $s \cdot (Q + G)$.

Jeżeli założymy, że przy ruchu wozu po odcinku poziomym siła pociągowa zaprzęgu konnego będzie wyzyskana w stosunku normalnym, t. j. będzie wynosić $P_0 = 1/7$ do $1/5 G$, na wzniesieniu s będzie ona większa.

Na zasadzie doświadczeń możemy dopuścić, aby siła pociągowa na wzniesieniu P_s była dwa razy większa niż normalna; bez szkody dla konia można dopuścić to, o ile odcinki z takim wzniesieniem będą nie dłuższe niż 500 — 600 m.; jeżeli są dłuższe, winny być podzielone na odcinki po 500 — 600 m. długości, między niemi zaś powinny być odcinki — chociażby krótkie — w poziomie lub z małym wzniesieniem, na których konie po zwiększonym wysiłku mogłyby wypocząć.

Przy powyższem założeniu mamy zależność z wzorów (22) i (23)

$$P_s = 2 P_0 = \varphi \cdot Q + s(Q + G) = 2 \varphi Q,$$

skąd możemy oznaczyć wielkość wzniesienia

$$s = \frac{\varphi \cdot Q}{Q + G} \quad (34)$$

Ponieważ G waga koni w zaprzęgu jest stosunkowo mała w stosunku do Q , możemy G we wzorze (34) opuścić i wtedy w przybliżeniu otrzymujemy

$$s = \varphi. \quad (35)$$

Stąd wyprowadzamy wniosek: o ile mamy na drodze wzniesienia, których wielkość (mierzona w $\text{tg } \alpha$, gdzie α — kąt pochylenia drogi po poziom) s równa się współczynnikowi oporu nawierzchni danej drogi, konie pociągowe na takie wzniesienia o długości dochodzącej do 500 — 600 m. wciągają takie same ładunki, jak na odcinkach poziomych, przy dwukrotnie powiększonej sile pociągowej w stosunku do normalnej i bez szkody dla ich zdolności pociągowej; ładunek wozu, obliczony na zupełne wykorzystanie siły pociągowej na odcinku poziomym, w tym wypadku nie będzie zmniejszany dla przewożu na wzniesieniu.

Przykład liczbowy na obliczenie ładunku wozu, który bez zmniejszenia go i bez powiększenia ilości koni w zaprzęgu może być przewożony na wzniesieniu wielkości s .

Siła pociągowa przeciętnego konia $P_0 = \frac{G}{7}$ do $\frac{G}{5}$.

Przy przeciętnej wadze konia $G=350$ kg, $P_0=50$ do 70 kg.

Dla drogi bitej zwykłej $\varphi = 0,03$.

Ciężar wozu otrzymamy z wzoru $P_0 = \varphi \cdot Q$.

Dla jednego konia w zaprzęgu:

$$Q = \frac{P_0}{\varphi} = \frac{50}{0,03} \text{ do } \frac{70}{0,03} = 1500 \text{ do } 2000 \text{ kg.}$$

Dla pary koni

$$Q = 2 \cdot 1500 \cdot 0,98 \text{ do } 2 \cdot 2000 \cdot 0,98 = \sim 3000 \text{ do } 4200 \text{ kg.}$$

W powyższem obliczeniu nie przyjęty został współczynnik redukcji siły pociągowej 0,98 przy dwukonnym zaprzęgu.

Ponieważ $Q = Q_1 + Q_2$, gdzie Q_1 — waga wozu = 400 do 1000 kg; Q_2 — waga ładunku, ładunek użyteczny wozu otrzymamy: $Q_2 = Q - Q_1$; przy $Q_1 = 800$ kg. Q_2 dla jednego konia wyniesie 700 do 1300 kg; Q_2 dla dwóch koni wyniesie 2200 do 3600 kg. Jeżeli warunek $s = \varphi$ (p. wzór 35) ma być

na pewnej drodze zachowany, największe dopuszczalne wzniesienia $s_{\max.}$ nie mogą przekraczać wielkości współczynnika oporu φ nawierzchni, jaka jest na danej drodze, t. j. wartości podanych w tabl. III na str. 50; $s_{\max.}$ będzie więc zależne od wielkości współczynnika nawierzchni i będzie, w zależności od rodzaju nawierzchni, wahać się w dużych granicach.

Np. dla zwykłej drogi bitej $s_{\max.} = 0,03$, dla bruku z drobnej kostki kamiennej $s_{\max.} = 0,02$, dla nawierzchni asfaltowej $s_{\max.} = 0,008$ i t. d., a dla dróg gruntowych wynosić może nawet $s_{\max.} = 0,15$.

W rzeczywistości warunek $s_{\max.} = \varphi$ może być zachowany względnie rzadko, — gdy miejscowość jest płaska; w większości wypadków warunek ten nie może być zachowany i będą musiały na drogach być odcinki ze wzniesieniami większemi niż $s = \varphi$, zwłaszcza w miejscowościach pagórkowatych lub górskich.

W tych wypadkach, gdy stosujemy wzniesienia $s > \varphi$, możemy albo pozostawić bez zmiany ciężar Q , obliczony na pełne normalne wyzyskanie siły pociągowej na odcinku poziomym, i na odcinkach o wzniesieniu większem $s > \varphi$ powiększać siłę pociągową przez doprzężanie dodatkowych koni, tak, aby na tych wzniesieniach siła pociągowa koni w zaprzęgu nie przekraczała podwójnej siły pociągowej normalnej $2P_0$, lub też zredukować ciężar wozu Q w takim stopniu, aby potrzebna na tych wzniesieniach siła pociągowa nie przekraczała dwukrotnej siły normalnej pociągowej konia lub koni $2P_0$; w tym jednak wypadku przy ruchu wozów po wzniesieniach mniejszych, niż te maksymalne, dla których została obliczona siła pociągowa, lub na odcinkach poziomych siła pociągowa nie będzie wyzyskana całkowicie.

Redukowanie ciężaru wiezionego Q może być zrobione ze względów na koszt przewozu ładunków tylko do pewnej granicy. W praktyce, np., dopuszcza się taka redukcja ciężaru wozu Q , aby stosunek wagi ładunku do wagi własnej wozu $\frac{Q_2}{Q_1}$ w miejscowościach równinnych nie był mniejszy niż 2, a dla miejscowości pagórkowatej lub górskiej — niż $1\frac{1}{2}$.

Z tego założenia zmniejszenia Q wychodząc i przyjmując pod uwagę normalne typy wozów do przewozu ciężarów rozpo-

wszechnione w danej okolicy, możemy określić dopuszczalne wzniesienia.

Przykład liczbowy. Mamy normalny wóz dwukonny o wadze własnej $Q_1 = 800$ kg.

Waga wozu z ładunkiem $Q = Q_1 + Q_2 = 800 + 1200 = 2000$ kg.

Waga koni $G = 2.350$.

Normalna siła pociągowa 2 koni $P_0 = 2.50 \cdot 0,98$

Spółczynnik oporu dla zwykłej drogi bitej $\varphi = 0,03$

Do wzoru $P_s = 2P_0 = \varphi Q + s(Q + G)$.

podstawiamy powyższe wartości

$$2 \cdot 2.50 \cdot 0,98 = 0,03 \cdot 2000 + s(2000 + 2 \cdot 350),$$

zkaąd

$$s = 0,06.$$

Jeżeli dla trudnych warunków topograficznych (dla miejscowości górskich) przyjąć $s_{\max.} = 2\varphi$, wtedy pojazdy nieobciążone ładunkiem z łatwością przejdą po takich wzniesieniach, a na wozach ciężarowych trzeba ograniczyć ciężar wozu mniej więcej do połowy ciężaru wozu dopuszczalnego dla tej samej siły pociągowej i tej samej nawierzchni.

Dla siły pociągowej na wzniesieniu $s = 2\varphi$ mamy:

$$\begin{aligned} P_s &= \varphi Q_s + s(Q_s + G) = \varphi Q_s + \\ &+ 2\varphi(Q_s + G) = 3\varphi Q_s + 2\varphi \cdot G, \end{aligned} \quad (36)$$

gdzie Q_s zredukowany dla wzniesienia $s = 2\varphi$ ciężar wozu. Siła pociągowa na wzniesieniu $s = 2\varphi$ nie powinna być ze względu na racjonalne wykorzystanie siły pociągowej koni większa niż podwójna normalna siła pociągowa.

Dla P_s mamy zależność:

$$P_s = 2P_0 = \varphi Q_0 \cdot 2 \quad (37)$$

gdzie Q_0 — ciężar wozu obliczony na całkowite wyzyskanie na odcinku poziomym normalnej siły pociągowej konia.

Z równań (36) i (37) mamy zależność

$$2\varphi \cdot Q_0 = 3\varphi Q_s + 2\varphi \cdot G,$$

skąd

$$Q_s = \frac{2}{3} Q_0 - \frac{2}{3} G. \quad (38)$$

Widzimy, że przy wzniesieniu $s = 2\varphi$ trzeba ograniczyć ciężar wozu Q_0 obliczony na normalne wyzyskanie siły pociągowej na odcinkach poziomych w przybliżeniu do 0,5 — 0,6.

Przy ruchu wozu na spadku mamy zależność (str. 53 — wzór 24)

$$P_s = \varphi \cdot Q - (Q + G) s.$$

Jeżeli w powyższym wzorze przyjmiemy $s = \varphi$ i odrzucimy G , jako kilkakrotnie mniejsze niż Q , otrzymamy:

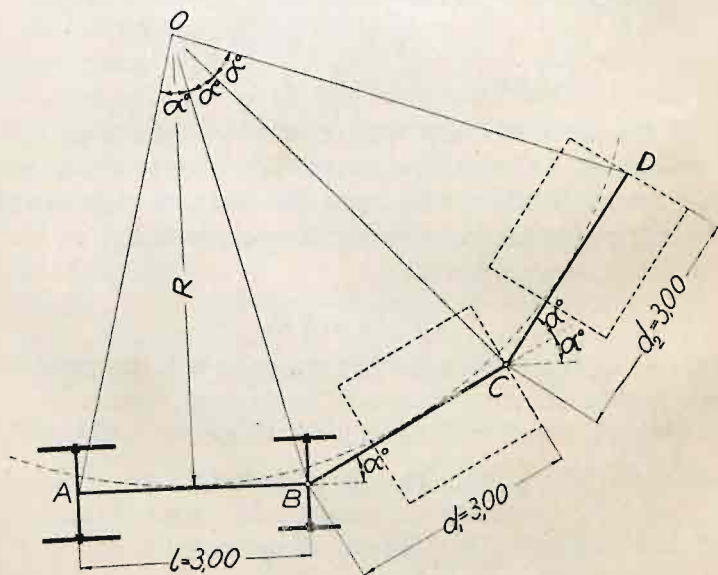
$$P_s = 0,$$

— wóz sam się toczy bez żadnego wysiłku ze strony siły pociągowej.

Gdy $s > \varphi$ mamy $P_s < 0$, t. j. siła pociągowa winna być użyta na hamowanie wozu i skierowana w kierunku przeciwnym.

Ruch wozów na wzniesieniach położonych w łuku.

Przy ruchu wozów na wzniesieniach położonych w łuku siła pociągowa skierowana jest pod pewnym kątem do osi podłużnej wozu, wskutek czego może przy ruchu wozów tylko w części być wykorzystana.



Rys. 23.

Dla przykładu weźmiemy wóz o zaprzęgu czterokonnym o rozstawie osi $l = 3,0$ m. i długości zaprzęgów pierwszej pary $a_1 = 3,0$ m. i drugiej pary koni $d_2 = 3,00$ m.

Przy ruchu na odcinku prostym na wzniesieniu s mamy zależność według wzoru 23, str. 52.

Możemy uprościć ten wzór, opuszczając w nim G (wagę koni), jako wpływającą w nieznacznym stopniu na wartość P_s ; mamy więc

$$P_s = (\varphi + s) Q. \quad (39)$$

Oznaczając przez P siłę pociągową jednego konia rozwijaną, w zaprzęgu czterokonnym na wzniesieniu s mamy:

$$P_s = 4P = (\varphi + s) Q.$$

Jeżeli wóz będzie poruszać się w łuku i na wzniesieniu, wtedy przy małych przesunięciach wozu a skierowanych po stycznej do promienia R łuku, jaki zatacza wóz i zaprzęg, siła pociągowa pierwszej pary koni będzie skierowana w odniesieniu do kierunku tego przesunięcia wozu pod pewnym kątem, a mianowicie pod kątem α , siła pociągowa drugiej pary koni będzie skierowana w odniesieniu do kierunku przesunięcia a pod innym kątem, który przy wymiarach wozu i zaprzęgu $l = d_1 = d_2$ będzie równy 2α .

Rzut siły pociągowej 2 par koni na kierunek przesunięcia a równa się

$$2P \cdot \cos \alpha + 2 \cdot P \cdot \cos 2\alpha = 4P \cdot \frac{\cos \alpha + \cos 2\alpha}{2},$$

oznaczając $\frac{\cos \alpha + \cos 2\alpha}{2} = m$, mamy tę siłę, która

powoduje przesunięcie wozu a , równą $4 \cdot P \cdot m$.

Ponieważ m jest mniejsze niż 1,0, przeto siła pociągowa powodująca przesunięcie będzie mniejsza niż na odcinku prostym. Jeżeli na odcinku prostym zastosowane zostało maksymalne wzniesienie s w zależności od Q i P_s , to na odcinku w łuku i na wzniesieniu przy tym samym wozie i zaprzęgu, wzniesienie winno być zastosowane mniejsze (wzniesienie zredukowane); oznaczmy go przez s_r .

Wychodząc z założenia, że przy przesunięciu wozu a praca siły pociągowej winna być równa pracy oporów, mamy:

1. W odcinku prostym na wzniesieniu s :

$$4. P. a = Q (\varphi + s) \cdot a.$$

2. W odcinku w łuku na wzniesieniu s_r :

$$4. P. m \cdot a = Q (\varphi + s_r) \cdot a.$$

Stąd mamy zależność $s_r = m (\varphi + s) - \varphi$, dającą nam możność określania potrzebnej redukcji spadku w łukach.

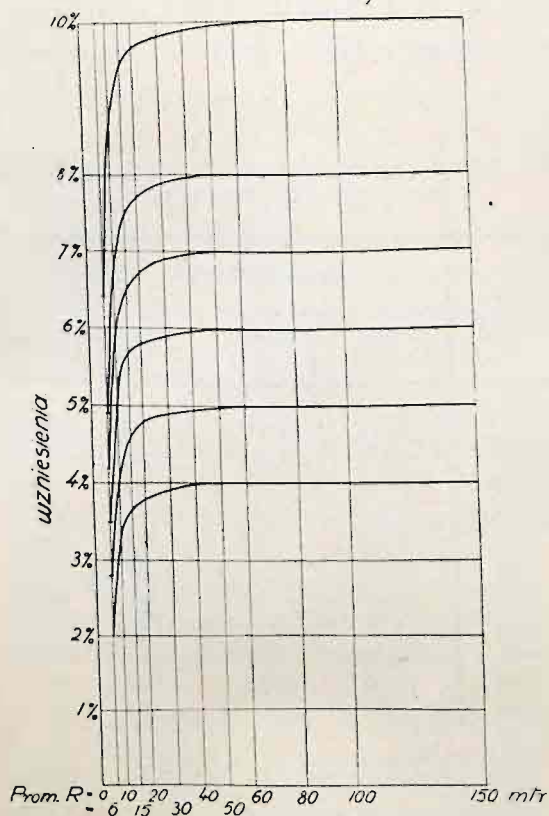
TABLICA IV.

redukcji spadków na łukach dla 4 konnych wozów.

| Promień łuku m. | $\lg \frac{l}{2} = \frac{l}{2R}$ | α | Spółcz. redukcji $m = \frac{\cos \alpha + \cos 2\alpha}{2}$ | $s_r = m (\varphi + s) - \varphi$ przy $\varphi = 0,03$ i przy $s =$ | | | | | |
|-----------------|----------------------------------|----------|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,10 |
| 6 | 0,250 | 28° 4' | 0,7199 | 0,020 | 0,028 | 0,035 | 0,042 | 0,049 | 0,064 |
| 10 | 0,150 | 17° 4' | 0,8918 | 0,033 | 0,041 | 0,050 | 0,059 | 0,068 | 0,086 |
| 15 | 0,100 | 11° 23' | 0,9512 | 0,037 | 0,046 | 0,057 | 0,065 | 0,075 | 0,094 |
| 20 | 0,075 | 8° 34' | 0,9724 | 0,038 | 0,048 | 0,058 | 0,067 | 0,077 | 0,096 |
| 30 | 0,050 | 5° 44' | 0,9877 | 0,039 | 0,049 | 0,059 | 0,069 | 0,079 | 0,098 |
| 40 | 0,038 | 4° 22' | 0,9928 | 0,040 | 0,049 | 0,059 | 0,069 | 0,079 | 0,099 |
| 50 | 0,030 | 3° 26' | 0,9955 | 0,040 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 | 0,099 |
| 60 | 0,025 | 2° 56' | 0,9968 | 0,040 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 | 0,100 |
| 80 | 0,019 | 2° 10' | 0,9983 | 0,040 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 | 0,100 |
| 100 | 0,015 | 1° 42' | 0,9990 | 0,040 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 | 0,100 |
| 150 | 0,010 | 1° 10' | 0,9995 | 0,040 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 | 0,100 |

Dla wymiarów wozu i zaprzęgu podanych na rysunku 23 i dla zwykłej drogi bitej, dla której współczynnik oporu został przyjęty $\varphi = 0,03$, tablica IV daje nam obraz potrzebnej redukcji spadków w odcinkach położonych w łuku, a wykres (rys. 24) podaje nam to samo w formie łatwiejszej do zapamiętania. Widzimy, że dla przyjętego typu wozu i zaprzęgu czterokonnego redukcja spadków maksymalnych nie jest potrzebna dla łuków o promieniach powyżej 50 — 60 m., natomiast konieczna jest przy promieniach łuku $< 50 — 60$ m. a zwłaszcza poczynając od 20 m. i niżej; dochodzi przy promieniu $R = 6$ m. prawie do 50%.

Wykres zmniejszenia wzniesień na łukach
dla ruchu wozów konnych



Rys. 24.

Gdyby wziąć wóz zaprzężony nie w 2 pary koni, a w cztery i zastosować metodę obliczenia taką samą, jaka wyżej zastosowana została do wozu czterokołowego, trzeba by jeszcze w większym stopniu zredukować max. s w łukach, gdyż siła pociągowa trzeciej i czwartej pary koni skierowana jest pod kątem jeszcze większym do kierunku przesunięcia wozu, niż kąty, pod którymi skierowana jest siła pociągowa pierwszej i drugiej pary.

Obliczenia inż. E. Dumetz'a¹⁾ dla wozu zaprzężonego

1) E. Dumetz. Déclivités des Voies de Terre dans les courbes.

w 4 pary koni o wymiarach innych, niż w podanym wyżej przykładzie przeciętnego wozu polskiego

$$(l = 4,0 \text{ m}, d_1 = 4,00 \text{ m}, d_2 = d_3 = d_4 = 2,50)$$

dają znacznie większą redukcję spadków, jak widać z tablicy V.

TABLICA V.

Redukcja spadków przy ośmiokonnym wozie
podług E. Dumetz'a.

| R promień łuku w m. | Spół- czynnik redukcji m | $s_r = m(\varphi + s) - \varphi$ przy $\varphi = 0,025$ | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | przy s = 0,05 | przy s = 0,06 | przy s = 0,07 | przy s = 0,08 | przy s = 0,10 |
| 6 | 0,192 | -0,011 | -0,009 | -0,007 | -0,005 | -0,001 |
| 10 | 0,519 | 0,014 | 0,019 | 0,024 | 0,029 | 0,040 |
| 15 | 0,763 | 0,032 | 0,040 | 0,047 | 0,055 | 0,070 |
| 20 | 0,861 | 0,040 | 0,048 | 0,057 | 0,065 | 0,083 |
| 30 | 0,937 | 0,045 | 0,055 | 0,064 | 0,073 | 0,092 |
| 40 | 0,964 | 0,047 | 0,057 | 0,067 | 0,076 | 0,095 |
| 50 | 0,977 | 0,048 | 0,058 | 0,068 | 0,078 | 0,097 |
| 60 | 0,984 | 0,049 | 0,059 | 0,068 | 0,078 | 0,098 |
| 80 | 0,991 | 0,049 | 0,059 | 0,069 | 0,079 | 0,099 |
| 100 | 0,994 | 0,050 | 0,059 | 0,069 | 0,079 | 0,099 |
| 150 | 0,998 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 | 0,100 |

Przy małych promieniach (np. przy $R = 6$ m.) otrzymamy nawet z wzoru $s_r = m(\varphi + s) - \varphi$ wartości ujemne, ponieważ przy ośmiokonnym zaprzęgu otrzymuje się znacznie mniejszy współczynnik redukcji m , niż przy zaprzęgu czterokołowym. W dalszych rozważaniach przekonamy się, że redukcja spadków dla pojazdów mechanicznych jest potrzebna znacznie mniejsza niż dla pojazdów konnych i że normy zmniejszenia maksymalnych spadków na łukach są większe dla tego ostatniego rodzaju ruchu.

4. Ruch pojazdów mechanicznych.

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat technika budowy i użytkowania pojazdów mechanicznych rozwinęła się nadzwyczajnie: jako skutek tego widzimy w niektórych krajach na