

Granica rozwoju materiałów drogowych.

Przy budowie nowych dróg bitych i ich utrzymaniu wydatną rubrykę stanowią koszty rozwoju materiałów nawierzchniowych, budowlanych i pomocniczych.

Zajmiemy się bliżej rozwózką materiałów, aby zbadać warunki, pod jakimi koszt tej czynności będzie najmniejszy.

Miejszem załadowania materiałów na środki przewozowe będą punkty, położone poza obrębem trasy drogowej, rozwój zaś i wyładowanie na poboczach i na składach obok drogi odbywać się będzie wzdłuż całej trasy.

Materiałami, które tu wchodzi w rachubę, są:

1. Kamień łamany, wszelki brukowiec, tłuczeń, kamień ciosowy na słupki kilometrowe i graniczniki. Dla tych materiałów miejscem załadowania będą: kamieniołomy, szutrowiska rzeczne lub stacje kolejowe odbiorcze.

2. Piasek kopany w piaskowniach lub z koryt rzecznych i tamże załadowany.

3. Cegła, klinkiery, krawężniki i płytki betonowe, dostarczone z cegielni, betoniarni lub sprowadzone koleją żelazną.

4. Cement, drut i siatki dla nawierzchni betonowych, wreszcie maź, smoła i asfalt używane przy żwirówkach maziowych i asfaltowanych.

Do grupy materiałów pomocniczych zaliczają się:

1) Woda do kropienia podczas wałowania i służąca do zasilenia kotła wału parowego, czerpana z rzek, stawów lub studni.

2. Materiały pędne dla wałków parowych i spalinowych, więc: węgiel, koks, drzewo, benzyna i smary dowieszone ze stacji kolejowej.

Materiałów pomocniczych nie składamy wzdłuż drogi, tylko ich zapotrzebowanie i użycie będzie równomierne na całej przestrzeni; przyjmujemy więc, że czynność rozwoju materiałów pomocniczych odbywać się będzie podobnie jak przy materiałach budowlanych, gdyż ta okoliczność, że materiał po dowieszeniu będzie leżał czas jakiś na składowiskach, czy też natychmiast zużytym zostanie, na koszty samego przewozu wpływać nie będzie.

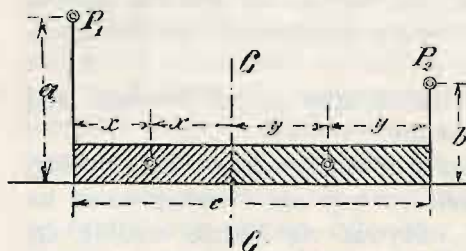
Ponieważ materiały wyżej wymienione przewozi się w znacznych objętościach i na wielkie odległości, więc zajmiemy się transportem za

pomocą tych narzędzi przewozowych, które do tego celu będą stosowane, a mianowicie:

1. podwoje (furmanki czterokołowe konne),
2. wózki kolebkowe poruszane na torach żelaznych od ręki,
3. wózki kolebkowe ciągnięte po torze roboczym przez konie.

1. Ogólne rozwiązanie zadania.

Weźmy pod rozwagę część trasy drogowej w sytuacji (rys. 1) oddzieloną dwoma „dojazdami” a i b. Punkty końcowe dojazdów P_1 i P_2 nazwiemy „początkiem rozwoju” będą to: stacje kolejowe, kamieniołomy studnie i t. p., skąd potrzebny materiał pobieramy. Część trasy między drogami dojazdowymi a i b nazwiemy „sekcją rozwoju” o długości c.



Rys. 1.

Zadaniem naszym jest określenie „granicy rozwoju” G G która podzieli sekcję na takie dwie części, że na lewo od niej rozwozimy z początku P_1 zaś na prawo z początku P_2 , przyczem winien spełnić się warunek, że sumaryczny koszt rozwoju na całej sekcji osiągnie wartość najmniejszą.

Koszt przewozu jednostki ciężaru, względnie objętości pewnego materiału po drodze poziomej będzie funkcją odległości przewozu l.

Jeżeli pracujemy bez torów roboczych i nie uwzględniamy zużycia i amortyzacji narzędzi transportowych, to jednostkowy koszt jest funkcją liniową pierwszego stopnia względem odległości przewozu l według znanego wzoru ¹⁾ ogólnie:

$$K = A + B \cdot l \quad \dots \dots \dots 1$$

Gdy przewozimy materiały kolejkami roboczymi, to całkowity koszt jednostkowy będzie sumą: kosztów robocizny K_r — kosztów zakupu lub wypożyczania wózków K_w — i kosztów zakupu lub wypożyczenia toru roboczego, jego ułożenia, podbicia, przekładania i zużycia K_t .

Koszt K_r i K_w przedstawiają się wzorami stopnia pierwszego względem odległości przewozu l.

$$K_r = m + n l \quad \dots \dots \dots 2 a.$$

$$K_w = o + p l \quad \dots \dots \dots 2 b.$$

zaś koszt toru funkcją stopnia drugiego względem l o formie:

$$K_t = t + u l + w l^2 \quad \dots \dots \dots 2 c.$$

¹⁾ Skwarczyński. Podręcznik budowl. $K = \frac{z}{8L} \left(\frac{2l}{v} + c \right)$

²⁾ Georg Osthoff Kostenberechnung. Dr. Ign. Hans Nitsche. Bauführung und Veranschlagungen bei Ingenieurbauten.

Koszt całkowity będzie po podst. 2 a, b, c i wykonaniu działań :

$$K = K_r + K_w + K_t = (m + n l) + (T + U l + W l^2) \quad 2$$

Gdy droga przewozu leży w spadzie, to długość l we wzorze 1 i w pierwszym wyrazie wzoru 2 będzie zależną od nachylenia drogi. Wyraz drugi od wpływu spadu zupełnie będzie wolny.

Jeżeli cała droga przewozu jest pozioma, to we wzorze 2 możemy wykonać działania i otrzymamy:

$$K = A_1 + B_1 l + C_1 l^2 \quad 3$$

W naszym przypadku z powodu jednostajnego rozdziału materiału wzdłuż sekcji c, środki ciężkości części rozdzielonych granicą G G będą leżały w połowie działek w niewiadomych na razie odstępach x i y od początków sekcji tak, że:

$$c = 2x + 2y \quad 4$$

Średnie odległości przewozu będą:
z punktu P_1 do środka działki lewej:

$$l_x = a + x \quad 5a$$

z punktu P_2 do środka działki prawej:

$$l_y = b + y \quad 5b$$

Wynika z tego, że także i objętość Q , potrzebna na całej sekcji podzieli się na dwie części o wartościach:

$$Q_x = 2 \cdot q \cdot x \quad 6a$$

$$Q_y = 2 \cdot q \cdot y \quad 6b$$

przyczem:

$$Q_x + Q_y = Q \quad 7$$

gdzie q oznacza ilość materiału na jednostkę długości trasy.

Całkowity koszt rozwoju K będzie na sekcji c sumą kosztów częściowych na jej częściach. Jeżeli oznaczymy odpowiednio przez K_x i K_y koszt jednostkowy na l_x i l_y , to

$$K = K_x Q_x + K_y Q_y \quad 8$$

Gdy wstawimy we wzór 8 wartości na K_x i K_y odpowiednio z wzorów 1, 2 lub 3, wartości na l_x i l_y z 5 a i 5 b, oraz na Q_x i Q_y z 6 a i 6 b, to otrzymamy jedno równanie względem obu niewiadomych x i y . Eliminując y wzorem 4, otrzymamy równanie na koszt całkowity jako funkcję potęgową pierwszego lub drugiego stopnia o formie:

$$K = f_1 (C', x, x^2) \text{ lub, gdy wyeliminujemy } x \text{ o formie:}$$

$$K = f_2 (C'', y, y^2)$$

Bierzemy pierwszą pochodną względem x albo y , przyrównamy ją do zera i otrzymamy równanie warunkowe dla najmniejszości kosztów zawsze stopnia pierwszego.

$$\frac{dK}{dx} = 0 \text{ i podobnie } \frac{dK}{dy} = 0 \quad 9$$

Rozwiązanie równań 9 jednego względem x , a drugiego względem y daje nam połowę odległości granicy rozwoju od początków sekcji.

Jako kontrola dobroci operacji rachunkowych posłuży wzór 4:

$$c = 2x + 2y.$$

2. Przypadki szczególne.

A) Trasa i oś dojazdu w poziomie, jednostkowa cena materiału loco początek P_1 i P_2 ta sama, opory ruchu, czyli rodzaj i stan nawierzchni na długości a , b i c jednaki.

1. Przewóz podwodami (bez torów) (fig. 1).

Według wzoru 1. częściowe koszty na l_x i l_y będą:

$$K_x = A + B l_x; K_y = A + B l_y \quad 10$$

Całkowity koszt rozwoju według 8. po wstawieniu wartości na Q_x i Q_y z 6 a i 6 b będzie:

$$K = K_x Q_x + K_y Q_y = q A (2x + 2y) + 2 B q (x l_x + y l_y) \quad 11$$

Podstawiamy w wyraz pierwszy wartość z 4, zaś na l_x i l_y z wzoru 5 a i 5 b, wreszcie z wzoru 4.

$$y = \frac{c}{2} - x$$

otrzymamy po uporządkowaniu:

$$\frac{K}{2q} = \frac{Ac}{2} + B \left[2x^2 + x(a - b - c) + \frac{2}{c}(b + \frac{c}{2}) \right] \quad 12$$

Dla minimum K pierwszą pochodną względem x przyrównujemy do zera:

$$\frac{dK}{dx} = B(4x + a - b - c) = 0 \quad 13$$

Ponieważ $B \leq 0$, więc wyraz w nawiasie musi być równy 0 stąd:

$$x = \frac{c + b - a}{4} \quad 14 a.$$

Wartość y otrzymamy przez podstawienie w wzór 14 a, wartości

$$x = \frac{c}{2} - y$$

$$y = \frac{c + a - b}{4} \dots \dots \dots 14 b.$$

Z wzorów na położenie granicy rozwoju (14 a i 14 b) wynika, że granica zależy dla tego przypadku, jedynie od długości dróg dojazdowych i długości sekcji.

Założmy, że $a > b$ to ponieważ

$$x = \frac{c}{4} - \frac{(a - b)}{4}, \quad y = \frac{c}{4} + \frac{(a - b)}{4}$$

zaś $(a - b) > 0$ więc $y > x$.

Stąd reguła: Granica rozwoju jest przesunięta w stronę dłuższego dojazdu.

II. Przewóz kolejką roboczą ręczną lub konną.

Koszt jednostkowy na działkach $2x$ i $2y$ przedstawi się według wzoru 3.

$$K_x = A_1 + B_1 l_x + C_1 l_x^2; K_y = A_1 + B_1 l_y + C_1 l_y^2 \quad 15$$

Koszt całkowity po wstawieniu wartości na Q_x Q_y , uporządkowaniu, wstawieniu wartości l_x i l_y , i wyeliminowaniu wzorem 4 zmiennej y jest funkcją drugiego stopnia względem x .

Dla minimum pierwszą pochodną przyrównamy do zera.

$$\begin{aligned} \frac{dK}{dx} = & -[B_1(b + c - a) + C_1(b^2 - a^2 + 2bc + \frac{3}{4}c^2)] + \\ & + 4[B_1 + C_1(a + b + \frac{3}{4}c)]x = 0 \dots \dots \dots 16 \end{aligned}$$

Dzielimy obie strony przez $4 B_1$, rozwiązujemy na x i otrzymamy odległość granicy:

$$x = \frac{\frac{c + b - a}{4} + \frac{C_1}{4 B_1}(b^2 - a^2 + 2bc + \frac{3}{4}c^2)}{1 + \frac{C_1}{B_1}(a + b + \frac{3}{4}c)} = \frac{L_x}{M} \quad 17 a.$$

Analogiczne postępowanie jak poprzednio doprowadzi do wyniku na y :

$$y = \frac{\frac{c + a - b}{4} + \frac{C_1}{4 B_1}(a^2 - b^2 + 2ac + \frac{3}{4}c^2)}{1 + \frac{C_1}{B_1}(a + b + \frac{3}{4}c)} = \frac{L_y}{M} \quad 17 b.$$

Na sprawdzenie dobroci rachunku mamy wzór 4.

$$c = 2x + 2y$$

Z wzorów 17a i 17b widać, że położenie granicy rozwoju, przy zastosowaniu kolejek roboczych zależy nie tylko od długości a , b i c lecz również od stosunku współczynników przy pierwszej i drugiej potęgze wzoru 3 na jednostkowy koszt transportu. Przez analogiczną jak poprzednio dyskusję równania na x i y otrzymamy przy $a > b$; $a^2 > b^2$; $2ac > 2bc$ i tem więcej $x < y$ i tu zatem granica rozwoju leży bliżej dłuższego dojazdu.

B) Trasa i dojazd poziome, opory ruchu na trasie i dojazdach jednakie, ceny jednostkowe materiału loco początek rozwoju różne: $K_1^0 \leq K_2^0$, przy równej dobroci materiału.

Różnica cen jednostkowych, materiału, początkach rozwoju może być spowodowana, większym kosztem dowozu do jednego i do drugiego początku rozwoju, albo nierównym wydatkiem na wyprodukowanie lub dobycie materiału. Wielkości K_1^0 i K_2^0 wynikną z analizy cen i kalkulacji kosztów dostawy do początku P_1 i P_2 .

1. Przewóz podwodami czterokołowymi konnymi.

Cena jednostkowa materiału w początku P_1 niech będzie K_1^0 , zaś w P_2 cena K_2^0 . Pozatem oznaczenia jak na fig. 1.

Całkowity koszt materiału rozwiezonego będzie sumą ceny materiału w początku rozwoju i wydatku na rozwiezenie.

$$K = Q_x (K_1^0 + K_x) + Q_y (K_2^0 + K_y) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 18$$

Koszty K_x i K_y wyrażą się jak poprzednio wzorami 3, wzgl. 15, Q_x i Q_y wzorem 6a, 6b, zaś l_x i l_y wzorami 5a i 5b. Po wykonaniu działań, uporządkowaniu i wyrugowaniu y równaniem 4, pierwsza pochodna względem x przyrównana do zera da nam warunek dla minimum kosztów:

$$\frac{dK}{dx} = K_1^0 - K_2^0 + B(4x + a - b - c) = 0 \quad 19$$

stąd:

$$x = \frac{c + b - a}{4} + \frac{K_2^0 - K_1^0}{4B} \quad 20 a.$$

i analogicznie

$$y = \frac{c + a - b}{4} - \frac{K_2^0 - K_1^0}{4B} \quad 20 b.$$

Z wzorów 20a i 20b widać, że długości dojazdów i sekcji wpływają identycznie jak w przypadku A 1. Prócz tego zależy granica rozwoju od cen jednostkowych materiałów i od współczynnika B we wzorze 1 na jednostkowy koszt przewozu.

Założmy, że $K_1^0 < K_2^0$ to wtedy $K_2^0 - K_1^0 > 0$ więc także

$$\frac{K_2^0 - K_1^0}{4B} > 0$$

Wprowadzając nierówność we wzór 20 a dostaniemy:

$$\frac{c + b - a}{4} < x + \frac{K_2^0 - K_1^0}{4B}$$

to znaczy, że granica przesuwana się w stronę tego dojazdu, z którego pobieramy jednostkowo droższy materiał bez względu na wpływ długości dojazdów.

II. Przewóz wózkami kolebkowymi ręcznymi lub konnymi po torach żelaznych.

Koszt sumaryczny tak jak i poprzednio we wzorze 18 będzie sumą kosztów transportu i materiału. Wprowadzając na K_x i K_y wartości z wzoru 3. i podstawienia na Q_x, Q_y, l_x, l_y , rugujemy niewiadomą wzorem 4 i otrzymamy koszt całkowity.

Tworzymy pochodną i przyrównujemy do zera:

$$\frac{dK}{dx} = 0$$

a stąd po podzieleniu przez $4B_1$ i rozwiązaniu na x otrzymamy:

$$x = \frac{L_x}{M} + \frac{\frac{K_2^0 - K_1^0}{4B_1}}{M} \quad 21 a.$$

Analogiczne rozwiązanie daje wartość na drugą odległość:

$$y = \frac{L_y}{M} - \frac{\frac{K_2^0 - K_1^0}{4B_1}}{M} \quad 21 b.$$

Przyczem L_x, L_y i M są wyrazy identyczne jak we wzorze 17 a i b.

Zależność położenia granicy od czynników a, b, c i stosunku $\frac{C_1}{B_1}$ jest takasama jak we wzorze 17 a i 17 b. Jeżeli zbadamy zaś wpływ ceny K_1^0 i K_2^0 podobnie jak w wypadku B I., to wysnujemy regułę, że i tu granica rozwoju ciąży ku wyższej cenie jednostkowej materiału i w stronę dłuższego dojazdu.

C) Obie lub jedna droga dojazdowa w spadzie, trasa pozioma lub pochyła oporu ruchu na a, b, c jednakowe, ceny jednostkowe K_1^0 i K_2^0 te same.

1. Długość sprowadzona (zastępcza).

Aby wyznaczyć granicę rozwoju, gdy odbywa się on po drodze pochyłej, wprowadzimy pojęcie długości sprowadzonej czyli zredukowanej (zastępczej).

Długością zredukowaną drogi przewozu leżącej w spadzie nazywamy taką idealną, poziomą odległość l_0 , na której koszt przewozu jednostki ładunku jest taki sam, jak koszt przewozu na drodze rzeczywistej, leżącej w spadzie s o długości rzutu poziomego l .

Przy przewozie ciężaru płacimy za czas zużyty na jazdę z ładunkiem przejazd powrotny wozem pustym, ładowanie, nawroty i t. d.

Oznaczmy długość rzutu drogi rzeczywistej leżącej w spadzie s przez l , chyżość przejazdu w jedną stronę przez c_1 , a z powrotem przez c_2 , chyżości na długości sprowadzonej v_1 i v_2 , zaś długość zastępczą l_0 . Stratę czasu na ładowanie, ruchy boczne i t. p., przyjmijmy t licząc na jednostkę ładunku. Średnią chyżością v na długości zastępczej l_0 nazwiemy taką chyżość wspólną dla jazdy w jednym i drugim kierunku, przy której strata czasu jest taka sama, jak przy jeździe w jednym kierunku z chyżością v_1 , zaś w przeciwnym v_2 .

$$\text{Zatem: } \frac{2l_0}{v} = \frac{l_0}{v_1} + \frac{l_0}{v_2} \text{ stąd } v = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} \quad . \quad . \quad . \quad 22.$$

Strata czasu na przejazd po drodze rzeczywistej będzie:

$$\frac{l}{c_1} + \frac{l}{c_2} + t \cdot G = T$$

Cały czas zużyty na transport w spadzie dla równości kosztów winien być równy czasowi, potrzebnemu na przejazd długości zastępczej l_0 z chyżością średnią w obu kierunkach, z uwzględnieniem strat na ładowanie:

$$\frac{2l_0}{v} + G \cdot t = \frac{l}{c_1} + \frac{l}{c_2} + G \cdot t$$

wreszcie:

$$\frac{2l_0}{v} = \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right) \cdot l \quad 23.$$

Oznaczmy: ciężar ładunku, dopuszczalny dla jazdy w spadzie lub określony z innych względów przez G
 ciężar stosowny do jazdy w poziomie i wogóle większy od G . . . G_0
 ilość motorów żywych potrzebnych na spadzie n
 ilość motorów dla drogi poziomej n_0
 cena za jedną godzinę pracy z

Koszt przewozu jednostki ładunku na długości rzeczywistej w spadzie równy kosztowi na długości zastępczej poziomej będzie:

$$\frac{n \cdot z}{G} \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right) \cdot l = \frac{n_0 z}{G_0} \cdot \frac{2}{v} \cdot l_0 \quad 23 a.$$

Stąd stosunek długości sprowadzonej do rzeczywistej:

$$\frac{l_0}{l} = \frac{v}{2} \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right) \frac{n}{n_0} \cdot \frac{G_0}{G} \quad 24$$

Jeżeli we wzorze powyższym wyznaczymy jeszcze v , c_1 i c_2 to będziemy mieli jednoznacznie określoną długość zastępczą l_0 .

Przeważna część dotychczas używanych sposobów redukcji transportu w spadzie, nie uwzględnia wszystkich czynników, jakie na koszt przewozu mogą mieć wybitny wpływ.

Najodpowiedniejsze dla naszych celów będą wzory Winklera (Eisenbahnbau 1877) cytowane przez Osthoffa, Bircka i Löwego. Ustawione są bowiem dla rozmaitych środków przewozowych, dla jazdy w górę i w dół, uwzględniają opory ruchu, stosowny ciężar ładunku i wielkość siły pociągowej.

Brak jednak u niego sposobu redukcji w razie użycia podwód i zaprzęgów konnych, którymi przy rozwoju materiałów drogowych najczęściej i w szerokiej mierze posługiwać się będziemy.

Celem otrzymania jednolitych prawideł, opartych na wspólnych przyjęciach i zasadach, ustawimy poniżej wzór redukcyjny na przewóz ciężarów po drodze pochyłej podwodą parokonną, a kierować się będziemy tokiem postępowania Winklera, podanym przez niego dla innych środków przewozowych.

2. Wzór na długość zastępczą dla podwód.

Jako podstawowe założenia przyjmujemy, ¹⁾:

Średnia siła pociągowa konia o wadze $G_k = 350$ kg. $P_0 = 75$ kg.

Stosowna chyżość w poziomie przy stałym ośmiogodzinnym utrudzeniu :

$c = 1 \cdot 10$ m/sek.

Zmniejszenie stosownego ładunku z powodu użycia pary koni $\eta = 0 \cdot 98$.

Ciężar własny wozów i ich dopuszczalne obciążenie dla stosunków polskich jest:

| Rodzaj pojazdu | Tara | Netto | Brutto |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|
| Wóz parokonny włościański | 300—380 | 900—1120 | 1200—1500 |
| „ ciężarowy jednokonny | 500—600 | 1400—1500 | 2000 |
| „ „ parokonny | 900—1200 | 2000—2800 | 4000 |

¹⁾ Loeve : Strassenbaukunde. 1895.

Powyżej podane obciążenie jest górną granicą ze względu na wytrzymałość wozu i siłę pociągową koni.

Stosunek ciężaru wozu do użytecznego ładunku:

$$w = \frac{W}{G} \quad 25.$$

otrzymamy:

| | | |
|---------------------------------------|-----------|---------------------|
| dla wozów lekkich: 300, 380 i 500 kg. | | $w = 0.30$ |
| „ „ ciężkich: 600, 900 i 1200 kg. | | $w = 0.23$ i 0.25 |
| średnio | | $w = 0.25$ |

Mamy więc sprawdzenie zasady przyjętej przez Winklera, że stosunek wagi wozu do ciężaru ładunku jest ilością stałą.

Stosunek ten uzależnimy w dalszym ciągu od rodzaju drogi i od oporów ruchu, a mianowicie:

na drogach ziemnych i szutrowanych źle utrzymanych o oporze:

$$f = \frac{1}{7} - \frac{1}{20}; \quad w = 0.30 \quad 26 \text{ a.}$$

na drogach o dobrej nawierzchni lub brukowanych dla:

$$f = \frac{1}{25} - \frac{1}{50}; \quad w = 0.25 \quad 26 \text{ b.}$$

Przyjęcie to odpowiadać będzie stosunkom realnym. W okolicy, w której przeważają drogi ziemne, źle utrzymane lub o znacznych spadach, koniecznym jest zmniejszenie ładunku, aby nadmiernie nie przeciążać koni. Dla lekkiej ładugi użycie ciężkiego wozu jest bezcelowe, zastępuje się zatem wozy lekkie, a tem samem zmniejszy się ciężar martwy na korzyść ładunku użytecznego.

Współczynniki oporu ruchu podaje „Hütte“, T. III., str. 599. (to samo Loeve i Esselborn).

Stosowny ładunek dla przewozu ciężaru przy pomocy podwoju z parokonnym zaprzęgiem z rozwinięciem stosownej chyżości $c = 1.10$ m/sek. po drodze p o z i o m e j, bez powrotu wozu pustego będzie według ogólnego wzoru (Winkler) po wstawieniu wartości szczególnych:

$$G_0' = \frac{n_0 P_0 \eta}{(1 + w) \cdot f} = \frac{147}{(1 + w) \cdot f} \text{ kg.} \quad 27.$$

Ponieważ jazda powrotna odbywa się wozem pustym, możemy według badań Winklera zwiększyć ciężar ładunku i osiągnąć zupełne wykorzystanie siły pociągowej koni. Odpowiedni ładunek będzie wtedy:

$$G_0 = 1.16 G_0' \quad 28.$$

Mając ładunek, wyznaczamy teoretycznie odpowiedni ciężar wozu według wzoru 25.

$$W = w \cdot G_0 \quad 29.$$

Z wzorów 27, 28 i 29, możemy określić wszystkie czynniki, potrzebne do wyznaczenia chyżości przewozu w poziomie. Jest nią chyżość stosowna $c_0 = 1'10$ m/sek. pod warunkiem, że ciężar ładunku i wozu będzie wyznaczony z tych związków.

Gdy transport odbywa się pod górę, następuje przy niezmiennym ładunku zmniejszenie chyżości stosownej z c_0 na c_2 .

Stosunek zmiany chyżości c , w zależności od siły pociągowej P_0 przy stosownej chyżości c_0 , do potrzebnej siły zaprzęgu P z powodu spadku, przy stałym utrudzeniu konia, określają wzory doświadczalne: Maschecka, Launhardta, Bouguer'a i in.

Idąc w ślad Winklera, zastosujemy wzór Bouguer'a:

$$\frac{P}{P_0} = 2 - \frac{c}{c_0} \text{ czyli } P = P_0 \left(2 - \frac{c}{c_0} \right) \quad 30.$$

Jest to wielkość siły pociągowej, potrzebnej do zmiany chyżości z c_0 na c .

Z drugiej strony przy danym ładunku G , ciężarze wozu W i ciężarze konia G_k potrzebna siła pociągowa na spadzie będzie według znanego prawidła ruchu na równi pochyłej:

$$n P = (W + G) \cdot (f + s) + n \cdot G_k \cdot s \quad 31.$$

Łącząc wzór 30 i 31. znakiem równości, rozwiążemy stosunek $\frac{c}{c_0}$ i otrzymamy ogólnie:

$$\frac{c}{c_0} = 2 - \frac{G_k s}{P_0} - \frac{W + G}{n P_0} \cdot (f + s) \quad 32.$$

a po podstawieniu wartości szczególnych dla podwody:

$$G_k = 350 \text{ kg. } P_0 = 75 \text{ kg. } n = 2 \text{ konie,}$$

będzie przy jeździe wozem pełnym:

$$\frac{c}{c_0} = 2 - \frac{(W + G) f}{150} - \left[4'67 + \frac{(W + G)}{150} \right] \cdot s \quad 33.$$

zaś wozem pustym.

$$\frac{c}{c_0} = 2 - \frac{W \cdot f}{150} - \left(4'67 + \frac{W}{150} \right) \cdot s \quad 34.$$

Chyżość przewozu ciężaru w górę i w dół przedstawia się tym samym wzorem 33, gdy w miejsce spadu $+s$ (do góry) wstawimy $-s$ (na dół). To samo stosuje się do wzoru 34. dla jazdy wozem pustym.

Aby wyznaczyć średnią chyżość v na długości zastępczej przyjmujemy we wzorach 33 i 34 $s = 0$ i w miejsce chyżości rzeczywistych c_1 i c_2 wstawimy v_1 i v_2 chyżości zastępcze.

Dla jazdy z ciężarem będzie:

$$\frac{v_1}{c_0} = 2 - \frac{(W + G) f}{150} \quad 35 \text{ a.}$$

gdy jedzie pusty wóz:

$$\frac{v_2}{c_0} = 2 - \frac{W f}{150} \quad 35 \text{ b.}$$

Stąd obliczymy chyżość średnią na długości zastępczej poziomej wzorem 22.

$$v = \left(\frac{2 v_1 v_2}{v_1 + v_2} \right) \frac{c_0^2}{c_0}$$

Wreszcie przez podstawienie wartości v , c_1 , c_2 we wzorze 24. otrzymamy długość zastępczą l_0 .

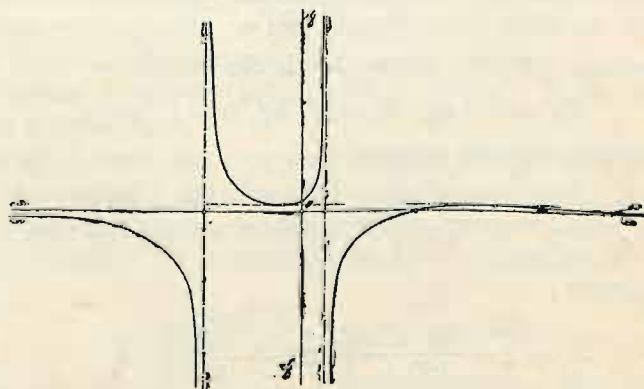
We wzorze 24. będzie $n = n_0$ gdyż pracujemy parą koni bez przyprzążki.

Długość zastępcza przedstawi się w formie ogólnej wzorem:

$$\frac{l_0}{l} = \frac{(1 - \alpha s) \delta}{1 - \beta s - \gamma s^2}$$

Jest to funkcja stopnia trzeciego względem zmiennej niezależnej s ważna w naszym przypadku tylko przy dodatnich wartościach $\frac{l_0}{l}$.

Gdy $\delta = \frac{G_0}{G} = 1$, i dla $s = 0$ wtedy $\frac{l_0}{l} = 1$; długość zredukowana równa się wprost długości drogi.



Rys. 2.

Krzywa długości zastępczych posiada trzy gałęzie (fig. 2.) i ma dwie asymptoty prostopadłe do osi odciętych, określone dwoma pierwiastkami równania:

$$1 - \beta s - \gamma s^2 = 0.$$

Trzecią asymptotą jest oś x .

Gdybyśmy przy przewozie ciężaru do góry przyjęli ładunek w wielkości G_0 (stosownej w poziomie), to funkcja $\frac{l_0}{l}$ rośnie bardzo szybko wraz ze wzrostem zmiennej niezależnej s tak, że już przy kilku procentach wzniesienia osiąga wartość nieskończenie wielką (dodatnią). Jest to znak, że ciężar G_0 jest za duży i dla przewozu nieekonomiczny.

Dla przewozu ciężaru w dół pozostaje stałe ładunek G_0 i część krzywej zbliżona najbardziej do osi x , między $s=0$ a $s < f$.

Założenie $f > s$ wyznacza nam spadek tak mały, że przy jeździe w dół opory są większe od spadku i konie muszą jeszcze pracować, by ruch był możliwy.

Z chwilą, gdy

$$s > f$$

wtedy $P < O$. Musimy wóz przyhamować tak silnie, aby konie nie potrzebowały ani ciągnąć wozu ani go wstrzymywać.

Zmiana chyżości czy wóz pusty czy pełny hamowany jedzie na dół, t. j. gdy $0 > s > f$ przedstawi się wzorem:

$$\frac{c_2}{c_0} = 2 + 4.67 s. \quad 37 \text{ b.}$$

Dalsze obliczenie długości sprowadzonej, będzie takie samo jak, gdy $s < f$. Ostateczny wzór stosunku $\frac{l_0}{l}$ będzie również krzywą stopnia trzeciego.

Stosunek długości sprowadzonej do rzeczywistej nazwiemy współczynnikiem redukcyjnym i oznaczmy:

$$\frac{l_0}{l} = \rho$$

Użycie odmiennych metod redukcji, będzie bez wpływu na formę wzorów, służących do określania granicy rozwoju na drodze w spadzie z tem zastrzeżeniem, że zastosowana metoda uwzględni dostatecznie rodzaj narzędzia, opory ruchu i spadek.

1. Przewóz podwodami parokonnymi.

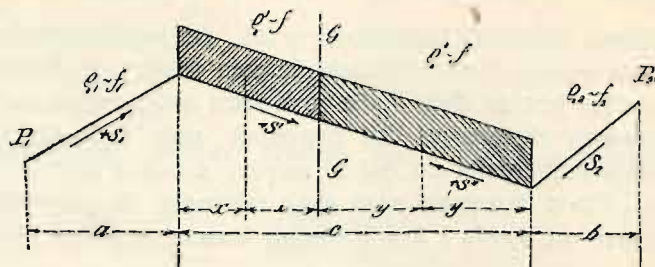
a) Oba dojazdy i trasa pochyłe, opory ruchu dowolne, ceny materiałów w początkach P_1 i P_2 równe ($K^0_1 = K^0_2$.)

Oznaczenie uwidocznione na fig. 3., gdzie dojazdy i trasa przedstawione są w rozwiniętym rzucie tłowym. Transport ciężaru na dojazdach może być w górę lub w dół.

Koszt całkowity materiału będzie sumą kosztów częściowych, a więc:

$$K = Q_x \cdot K_x + Q_y \cdot K_y \quad 38.$$

Redukcję uskuteczniemy na długości x dla jazdy w dół, zaś na długości y w górę, biorąc odpowiednie współczynniki redukcyjne ρ' i ρ'' , zaś na dojazdach ρ_1 i ρ_2 .



Rys. 3.

Jednostkowy zatem koszt przewozu będzie według wzoru 1. po wstawieniu wartości z wzorów 5 a i b i uskutecznieniu redukcji:

$$K_x = A + B (a \rho_1 + x \rho'); K_y = A + B (b \rho_2 + y \rho'') \quad 39$$

$$\frac{K}{2q} = \frac{A \cdot c}{2} + B [x^2 (\rho' + \rho'') + x (a \rho_1 - b \rho_2 - c \rho'') + \frac{c}{2} (b \rho_2 + \frac{c}{2} \cdot \rho'')] \quad 40$$

Pierwsza pochodna kosztu całkowitego będzie:

$$\frac{dK}{2q \, dx} = B [2x (\rho' + \rho'') + (a \rho_1 - b \rho_2 - c \rho'')] = 0 \quad 41$$

$$x = \frac{c \rho'' + b \rho_2 - a \rho_1}{4 \left(\frac{\rho' + \rho''}{2} \right)} \quad 42$$

i podobnie

$$y = \frac{c \rho' + a \rho_1 - b \rho_2}{4 \left(\frac{\rho' + \rho''}{2} \right)} \quad 43$$

b) Oba dojazdy pochyłe, trasa pozioma, współczynniki oporu dowolne, ceny materiału w P_1 i P_2 równe ($K_1^0 = K_2^0$).

Położenie granicy otrzymamy wprost z wzorów 42 i 43, gdy z powodu $s=0$ wstawimy $\rho' = \rho'' = 1$. Będzie wtedy:

$$x = \frac{c + b \rho_2 - a \rho_1}{4}; y = \frac{c + a \rho_1 - b \rho_2}{4} \quad 44$$

c) Oba dojazdy i trasa pochyłe, opory ruchu na a, b, c dowolne, ceny jednostkowe materiału w P_1 i P_2 różne $K_1^0 \neq K_2^0$.

Oznaczenie jak na fig. 3.

Wzory na x i y zawierać będą jak poprzednio pod 20 a i 20 b wy.

$$\text{razy} \pm \frac{K_2^0 - K_1^0}{4 B}$$

$$x = \frac{c \rho'' + b \rho_2 - a \rho_1}{4 \left(\frac{\rho' + \rho''}{2} \right)} + \frac{K_2^0 - K_1^0}{4 B \left(\frac{\rho' + \rho''}{2} \right)} \quad 45 a.$$

$$y = \frac{c \rho' + a \rho_1 - b \rho_2}{4 \left(\frac{\rho' + \rho''}{2} \right)} - \frac{K_2^0 - K_1^0}{4 B \left(\frac{\rho' + \rho''}{2} \right)} \quad 45 b.$$

d) Oba dojazdy pochyłe, trasa w poziomie, współczynniki oporu dowolne, cena jednostkowa w początkach P_1 i P_2 rozmaita $K_1^0 \neq K_2^0$.

Biorąc pod uwagę analogię wzorów 43 i 44, otrzymamy wprost z formuł 45 a i 45 b położenie granicy, gdy podstawimy w tych ostatnich $\rho' = \rho'' = 1$.

II. Przewóz kolejką roboczą.

Na uwzględnienie nachylenia torów mamy gotowe wzory redukcyjne Winklera w formie równań drugiego stopnia względem spadu s .

Opory ruchu przyjęto przy ich ustawieniu

$$\begin{aligned} f_1 = f_2 = f &= 0.01 \\ \rho = \frac{l_0}{l} &= 1 + \alpha s + \beta s^2 \end{aligned} \quad 46$$

W granicach $s = \pm 0.025$ wynoszą współczynniki stałe α i β w równaniu 46 dla wózków kolebkowych ręcznych $\alpha = 80$, $\beta = 3870$ dla wózków kolebkowych konnych $\alpha = 71$, $\beta = 3560$.

Jeżeli $s > \pm 0.025$, to dla wypadku, gdy transport ciężaru odbywa się w dół, a robotnicy jadą na wózkach i hamują, zaś puste wózki wyciągają w górę:

$$\rho = \frac{l_0}{l} = 0.112 - 38 s - 83 s^2 \quad 47$$

Gdy pełne wózki puszcza się w dół, próżne wyciąga się do góry końmi, to redukuje się wzorem:

$$\rho = \frac{l_0}{l} = -46 s + 890 s^2 \quad 48$$

Wzór na jednostkowy koszt przewozu musimy wziąć w formie rozwiniętej wzór 2.

$$K = (m + n l) + (T + U l + W l^2)$$

Redukcję z powodu spadu przeprowadzimy tylko wyrazie pierwszym, gdyż drugi jako koszt taboru i torów od spadu zależeć nie będzie.

a) Trasa i oba dojazdy w spadzie opory ruchu jednakie na całym torze, cena materiałów w początkach równa $K_1^0 = K_2^0$ (fig. 3).

Rozwiązanie według ogólnego sposobu da nam wartości:

$$x = \frac{n(c\rho'' + b\rho_1 - a\rho_1) + U(c + b - a) + W(b^2 - a^2 + 2bc + \frac{3}{4}c^2)}{4 \left[n \frac{(\rho' + \rho'')}{2} + U + W(a + b + \frac{3}{4}c) \right]} = \frac{L'_x}{M'} \quad 49a.$$

podobnie:

$$y = \frac{n(c\rho' + a\rho_1 - b\rho_2) + U(c + a - b) + W(a^2 - b^2 + 2ac + \frac{3}{4}c^2)}{4 \left[n \frac{(\rho' + \rho'')}{2} + U + W(a + b + \frac{3}{4}c) \right]} = \frac{L'_y}{M'} \quad 49b.$$

b) Trasa i jeden z dojazdów poziomy, albo oba dojazdy w spadzie a trasa pozioma, opory na całym torze jednakowe, koszt materiałów P_1 i P_2 równy ($K_1^0 = K_2^0$).

Wzór na granicę otrzymamy wprost z wzorów 49a i 49b., gdy odnośny współczynnik redukcji przyjmujemy równy jedności.

c) Trasa i oba dojazdy pochyłe, lub jeden albo dwa z tych elementów poziome, opory ruchu jednakowe. Cena materiału w P_1 i w P_2 różna $K_1^0 \neq K_2^0$.

Z powodu jednakowego oporu na całym torze możemy użyć wzoru 49a i 49b, tylko w liczniku dla x będzie jeszcze wyraz $+(K_2^0 - K_1^0)$, zaś dla y wyraz $-(K_2^0 - K_1^0)$. Dla elementów poziomych wstawimy odpowiedni współczynnik redukcji $\rho = 1$.

$$x = \frac{L'_x}{M'} + \frac{K_2^0 - K_1^0}{M'}; \quad y = \frac{L'_y}{M'} - \frac{K_2^0 - K_1^0}{M'} \quad 50$$

d) Trasa i oba dojazdy poziome lub dwa z tych elementów poziome lecz opory rozmaite; $K_1^0 \neq K_2^0$.

Stosować się to będzie tylko do podwód.

Z powodu rozmaitych oporów chyżości na a , b , c będą różne.

Zredukujemy dojazdy na długość równorzędną co do kosztów ze sekcją c .

Nazwijmy G_1^0 , G_2^0 , G_3^0 stosowny ciężar w poziomie dla jazdy z pełnym w jedną a pustym wozem w drugą stronę na długościach a , b i c o oporze f_1 , f_2 i f_3 . Ogólnie będzie:

$$G^{0'}_n = \frac{n \cdot P \cdot \eta}{(1 + w) f_n} = \frac{147}{(1 + w) f_n} \quad 51$$

$$G^0_n = 1.16 G^{0'}_n \quad 52$$

Chyżości będą dla jazdy:

$$\text{z pełnym } \frac{v'_n}{c_0} = 2 - \left(\frac{W + G^0_n}{150} \right) \cdot f_n \quad 53a.$$

$$\text{z pustym } \frac{v''_n}{c_0} = 2 - \frac{W f_n}{150} \quad 53 \text{ b.}$$

gdzie wskaźnik $n = 1, 2, 3$.

Chyżość średnia :

$$v_n = \frac{2 v'_n v''_n}{v'_n + v''_n} \quad 54$$

Jednostkowy koszt na jednostce odległości sekcji c będzie :

$$K_3 = \frac{n_0 \cdot z}{G_3^0} \cdot \frac{2}{v_3} \cdot 1 \quad 55$$

Na dojazdach będzie inna chyżość zatem i inny jednostkowy koszt przewozu na odległość jednostki drogi. A mianowicie :

$$K_1 = \frac{n_0 \cdot z}{G_1^0} \cdot \frac{2}{v_1} \cdot 1; \quad K_2 = \frac{n_0 \cdot z}{G_2^0} \cdot \frac{2}{v_2} \cdot 1 \quad 56 \text{ a.}$$

Nazwijmy długość zredukowaną dojazdu a przez l_1^0 zaś b przez l_2^0 .

Jednostka długości sekcji i sprowadzone długości dojazdów będą proporcjonalne do odpowiedniego kosztu przewozu :

$$\frac{l_1^0}{1} = \frac{K_1}{K_3} ; \quad \frac{l_2^0}{1} = \frac{K_2}{K_3} \quad 57$$

więc po wstawieniu wartości z wzoru 56 a i b :

$$\frac{l_1^0}{1} = \frac{G_3^0 v_3}{G_1^0 v_1} = \rho_1^0; \quad \frac{l_2^0}{1} = \frac{G_3^0 v_3}{G_2^0 v_2} = \rho_2^0 \quad 58$$

W ten sposób możemy sprowadzić drogi o rozmaitych oporach do wspólnej podstawy i stosować wprost wzory podane poprzednio na wyznaczenie granicy, jak gdyby opory na wszystkich elementach a, b, c były jednakie.