O RUCHU POCIĄGÓW

PO TORACH DRÓG ŻELAZNYCH

UŁOŻONYCH NA WZNIESIENIACH

PRZEZ

Romana bar. Gostkowskiego

Naczelnika ruchu kolei Arcyksięcia Albrechta w Galicyi.

(Dokończenie.)

Największa prędkosć jazdy na wzniesieniach.

Prędkość biegu pociągu po torze ułożonym na wzniesieniu może się zwiększać tylko do pewnej granicy. Ponieważ w miarę wzrostu prędkości zmniejsza się natężenie siły przewozowej, a opór ruchu wzrasta według drugiej potęgi z prędkości, przeto z chwilą, w której siła przewozowa równoważy opór ruchu, prędkość jazdy dosięga najwyższej swej wartości.

Wartość tę można oznaczyć wykreślnie w sposób następujący. Jeżeli odcięte Oa, Ob, Oc (Fig. 1 Tab. XI) przedstawiają prędkości jazdy, a rzędne Aa, Bb, Cc, — odpowiadające im siły przewozowe, to krzywa ABC łącząca końce rzędnych, daje obraz zmian, jakim podlega natężenie siły przewozowej w czasie jazdy.

Odnosząc na tychże rzędnych wielkości oporów A_1a, B_1b, C_1c, odpowiadających prędkościom Oa, Ob, Oc, otrzymujemy krzywą $A_1B_1C_1$, przedstawiającą zmianę wielkości oporów w czasie biegu pociągu. Dwie te krzywe przecinają się w punkcie M, którego rzędna MP, przedstawia wielkość oporu równoważnego sile przewozowej, a odcięta OP prędkość jazdy, przy której opór ruchu wyrównywa sile przewozowej, a więc największą prędkość biegu.

Gdybyśmy chcieli znaleźć największą prędkość dla innego pociągu np. cięższego od poprzedniego n razy, to wykreśliwszy linię oporów odpowiadającą temuż pociągowi, znaleźlibyśmy punkt przecięcia się takowej z już wykreśloną krzywą sił przewozowych. Rzędna odpowiadająca punktom przecięcia przedstawiałaby w takim razie wielkość oporu i natężenie siły przewozowej, odpowiadające największej prędkości jazdy — a odcięta tegoż punktu, szukaną prędkość.

Wykreślenie krzywej oporów dla każdego pociągu oddzielnie okaże się zbytecznem, gdy zważymy, że wszystkie te linie muszą być względem siebie równoległe, że zatem rzędna odpowiadająca największej prędkości jazdy będzie dla pociągu n razy cięższego, n razy dłuższą. I rzeczywiście jeżeli O przedstawia opór w kilogramach, na jaki natrafia każda tonna ciężaru pociągu, ważącego T tonn, to całkowity opór odpowiadający pewnej prędkości jazdy tegoż pociągu wynosi OT kilogramów, gdy tymczasem opór innego pociągu ważącego n razy więcej, wynosi OnT kilogramów; wynika stąd, iż rzędna przedstawiająca opór ruchu dla pociągu ważącego nT tonn, jest n razy większą od rzędnej, przedstawiającej opór odpowiadający pociągowi ważącemu T tonn.

Ażeby znaleźć największą prędkość jazdy, z jaką poruszać się może po wzniesieniu m na tysiąc pociąg ważący nT tonn, dość jest odszukać rzędną odpowiadającą punktowi przecięcia się krzywej siły przewozowej z krzywą oporów, wykreślonych dla pociągu ważącego T tonn i rzędną tę n razy zwiększoną przesuwać po osi odciętych tak długo w lewą stronę, dopóki koniec jej nie trafi na krzywą sił przewozowych.

W taki sposób otrzymamy odciętą OP', która nam da szukaną wartość największej prędkości jazdy pociągu ważącego n T tonn, biegnącego po wzniesieniu m na tysiąc.

Przykład. Przypuśćmy, że siły przewozowe parowozu obsługującego pociągi osobowe wynoszą:

przy prędkości 7 metrów na sekundę			2542 kgr.
„ „ 10 „ „ „	$S =$		1898 „
„ „ 13 „ „ „			1463 „

zaś opory, na jakie natrafia pociąg ważący 100 tonn, biegnąc po wzniesieniu 0,010 są następujące:

przy prędkości 7 metrów na sekundę			1500 kgr.
„ „ 10 „ „ „	$O =$		1600 „
„ „ 13 „ „ „			1740 „

Zachodzi pytanie z jaką największą prędkością powyższy pociąg będzie mógł się poruszać?

Odnosząc na rzędnych odpowiadających odciętym 7, 10, 13, (Fig 1 Tab XI) wielkości sił przewozowych i oporów, otrzymujemy dwie krzywe, z których *ABC* przedstawia siły przewozowe, zaś A_1 B_1 C_1 całkowite opory odpowiadające prędkościom 7, 10 i 13 metrów na sekundę. Krzywe te przecinają się w punkcie M, a rzędna MP odpowiadająca temuż punktowi, przedstawia jednocześnie opór i siłę przewozową wtedy — gdy odcięta OP daje największą prędkość jazdy po wzniesieniu 0,010 pociągu ważącego 100 tonn. Bezpośredni pomiar wskazuje, że odcięta OP przedstawia 11 metrów.

Gdybyśmy wiedzieli z jaką największą prędkością może biedz po temże samem wzniesieniu pociąg ważący 150 tonn, dość byłoby wziąść w otwór cyrkla linią $1\frac{1}{2}$ razy dłuższą od linii MP i posuwać ją po osi odciętych w kierunku strzałki tak długo dopókiby jej koniec M nie trafił na krzywą sił przewozowych. Spuszczając z punktu M prostopadłą MP na oś odciętych otrzymujemy odciętą OP dającą nam szukaną prędkość.

Największe wzniesienia, po których mogą przebiegać pociągi.

Podawszy powyżej sposób oznaczenia największej prędkości jazdy na danem wzniesieniu dla pociągów równego ciężaru, wykażemy obecnie po jakich wzniesieniach biedz może pociąg danego ciężaru przy różnych prędkościach jazdy.

Największe wzniesienie, podobnie jak i poprzednio największą prędkość oznaczymy sposobem wykreślnym.

Parowóz obsługujący pociąg ważący T tonn i biegnący z prędkościami $c_1 c_2 c_3$ metrów na sekundę, dostarcza siły przewozowej wynoszącej $S_1 S_2 S_3$ kilogramów.

Siła przewozowa przypadająca na każdą tonnę ciężaru pociągu wynosi więc

$$\frac{S_1}{T}, \frac{S_2}{T}, \frac{S_3}{T}$$

kilogramów.

Odnosząc prędkości c_1 c_2 c_3 jako odcięte (fig. 1, tab. IX), zaś jednostkowe siły przewozowe mające powyższe wartości, jako odpowiadające im rzędne i łącząc końce tych ostatnich, otrzymujemy krzywą uzmysławiającą nam jednostkowe siły przewozowe. Łącząc zaś końce rzędnych przedstawiających jednostkowe opory O_1 O_2 O_3 odpowiadające powyższym prędkościom c_1 c_2 c_3 przy jeździe po linii poziomej, otrzymujemy drugą linię krzywą dającą nam obraz zmiany wielkości oporów.

Prostopadła spuszczona z punktu przecięcia się krzywych na oś odciętych trafia takową w punkcie P, a odległość jej spodka od początku spółrzędnych t. j. linia OP przedstawia największą prędkość jazdy, gdy tymczasem długość rzędnej MP wyraża opór jednostkowy, równoważny jednostkowej sile przewozowej.

Otrzymane w ten sposób krzywe przedstawiają siły przewozowe i opory odpowiadające jednej tonnie ciężaru pociągu, gdy tymczasem krzywe, któremi zajmowaliśmy się w poprzednim rozdziale dawały nam obraz całkowitych sił przewozowych i całkowitych oporów.

Jeżeli O_1 oznacza opór jednostkowy na wzniesieniu m^1 na tysiąc, zaś u średnią prędkość jazdy na temże wzniesieniu, to jak wiadomo:

$$O_1 = \left(4 + m^1 + \frac{600}{r} + \frac{u_1}{50}\right)$$

kilogramów, gdzie r oznacza wyrażony w metrach promień łuku, w którym położony jest tór. Nazywając:

$$m^1 + \frac{600}{r} = m,$$

możemy wyrazić jak następuje opór odpowiadający jednej tonnie ciężaru pociągu,

$$O_1 = \left(4 + m + \frac{O_1}{50}\right) \text{ kilogramów,}$$

przyczem m oznacza wzniesienie w milimetrach na 1 metr poziomej długości, większe od rzeczywistego o $\frac{600}{r}$ milimetrów.

Jeżeli $m = 0$, to ruch odbywa się po linii poziomej i prostej a opór jednostkowy O wyraża się w takim razie przez:

$$O = 4 + \frac{u^2}{50}$$

mamy zatem:

$$O_1 = O + m$$

skąd wynika, że różnica $(O_1 - O)$ pomiędzy oporem na wzniesieniu i oporem na poziomej, wynosi na każdą tonnę ciężaru pociągu tyle kilogramów, ile milimetrów na 1 metr poziomej długości wznosi się tór.

Jeśli siła parowozu jest należycie wyzyskaną, jednostkowa siła przewozowa musi być równą jednostkowemu oporowi, jeżeli więc S przedstawia jednostkową siłę przewozową, w takim razie $S = (O + m)$ skąd wynika $m = (S - O)$, czyli że wzniesienie wyrazić się daje przez różnicę pomiędzy jednostkową siłą przewozową i jednostkowym oporem, przy jeździe po torze poziomym.

Biorąc pod uwagę którąkolwiekbądź rzędną np. BE (Fig. 2 Tab. XI) widzimy, że

$$Bb = BE - Eb,$$

że zaś BE przedstawia siłę jednostkową odpowiadającą prędkości OE a Eb opór jednostkowy odpowiadający tejże samej prędkości, przeto $Bb = (S - O)$, czyli że linia Bb przedstawia różnicę pomiędzy jednostkową siłą przewozową i jednostkowym oporem, przy jednej i tejże samej prędkości OE metrów na sekundę, czyli szukane największe wzniesienie toru, wyrażone w milimetrach na 1 metr poziomej długości. Części rzędnych położone pomiędzy krzywą jednostkowych sił przewozu i krzywą jednostkowych oporów, przedstawiają zatem wzniesienia w milimetrach, a odcięte odpowiadające rzędnym, mierzone od początku spółrzędnych idąc po osi odciętych od lewej ku prawej stronie — prędkości w metrach na sekundę, z jakiemi przebiegać można wzniesienie.

Siłę parowozu wyzyskujemy w zupełności, gdy pociąg ważący T tonn biegnie po wzniesieniu

wynoszącem	Aa	milimetrów	na	tysiąc	z prędkością	OD	metrów.
	Bb	„	„	„	„	OE	„
	zero	„	„	„	„	OP	„

W miarę wzmagania się prędkości jazdy zmniejsza się wielkość wzniesienia, które pociąg danego ciężaru przebiegać może. Pociąg ważący T tonn, może biedz z prędkością OP tylko po wzniesieniu zero milim. na tysiąc a więc po linii poziomej, prędkość zaś biegu OF, większą od OP, może posiadać już nie na wzniesieniu lecz na spadku, wynoszącym Cc milimetrów na 1 metr poziomej długości.

Ponieważ profil drogi żelaznej przedstawia rozmaite wzniesienia, mniej lub więcej łagodne, przeto parowóz prowadzący pociąg pracując z jednakowem natężeniem, musi zwalniać bieg swój, gdy stromość wzniesienia zwiększa się i odwrotnie, tak iż każdemu z osobna wzniesieniu odpowiada pewna oznaczona prędkość jazdy.

Prędkości jazdy odpowiadające danym wzniesieniom można wyznaczyć w sposób następujący.

Znając wymiary parowozu obliczamy przedewszystkiem dla dowolnie przyjętych prędkości OD, OE, OP, OF itd., siły przewozowe, wyrażone w kilogramach.

Dzieląc otrzymane wartości przez ciężar pociągu, który przewozić mamy, wyrażony w tonnach, otrzymujemy jednostkowe siły przewozowe wyrażone w kilogramach i siły te przedstawiamy wykreślnie jako rzędne AD, BE, MP, CF (Fig. 2. Tab. XI), Krzywa łącząca końce rzędnych t. j. punkty A, B, M, C, daje nam obraz jednostkowych sił przewozowych.

Następnie obliczamy wielkość oporów jednostkowych w czasie jazdy po linii poziomej przy prędkościach OD, OE, OP, OF a to za pomocą wzoru (3), czyniąc w takowym $m = 0$; i otrzymane w ten sposób wartości przedstawiamy wykreślnie jako rzędne aD, bE, MP, CF.

Odcinki Aa, Bb, Cc..., położone pomiędzy krzywemi ABC i abc, przedstawiają wzniesienia (wyrażone w milimetrach na 1 metr poziomej długości), po których jechać można z prędkością OD, OE, OF metrów na sekundę. Odcinki znajdujące się po lewej stronie punktu M, w którym się przecinają krzywe ABC i abc, jak Aa, Bb itp. przedstawiają wzniesienia, zaś odcinki z prawej strony punktu przecięcia jak Cc itp. odpowiednie spadki.

W punkcie M znika wszelka różnica pomiędzy wielkością siły przewozowej i oporu, odcinek staje się równym zeru, zatem z prędkością OP metrów na sekundę nie można jechać ani na wzniesieniu ani na spadku, a więc tylko po torze położonym w poziomie.

Przykład. Parowóz pracujący z dopływem 80% wytwarza

przy prędkości	5 metrów na sekundę, siłę przewozową	5953 kgr.
	8 „ „ „ „ „	4438 „
	10 „ „ „ „ ,	3857 „
	15 „ „ „ „ „	2831 „

Zachodzi pytanie, z jaką prędkością prowadzić można będzie pociąg ważący 643 tonny na wzniesieniu 0,0016 i tenże sam pociąg na wzniesieniu 0,0477?

Prędkościom:

$$5, \quad 8, \quad 10, \quad 15$$

metrów na sekundę, odpowiadają poniższe jednostkowe siły przewozowe:

$$\frac{5953}{643}, \quad \frac{4438}{643}, \quad \frac{3857}{643}, \quad \frac{2831}{643}$$

a więc

$$9{,}2, \quad 6{,}9, \quad 6{,}0, \quad 4{,}4$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, zaś opory jednostkowe, obliczone według wzoru:

$$O = 4 + \frac{c^2}{50},$$

wstawiając w takowy za c wartości 5, 8, 10, 15, wynoszą:

4,5, 5,3, 6,0, 8,5

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru pociągu. Na podstawie powyższych danych wykreślamy krzywą jednostkowych sił przewozowych $ABMC$ (fig. 2, Tab. XI)

Odcięte obydwóch krzywych mają następujące wartości:

	$OD = 5$	$OE = 8$	$OP = 10$	$OF = 15$
odpowiednie zaś rzędne				
krzywej $ABMC$	$AD = 9{,}2$	$BE = 6{,}9$	$MP = 6$	$CF = 4{,}4$
krzywej $abMc$	$aD = 4{,}5$	$bE = 5{,}3$	$MP = 6$	$cF = 8{,}5$

Obie krzywe przecinają się w punkcie M, którego rzędna $MP = 6$ przedstawia opór jednostkowy na linii poziomej i jednostkową siłę przewozową, odpowiadającą prędkości $OP = 10$ metrów. Wartości odcinków Aa, Bb, M, Cc, wynoszące

$+ 4{,}7$ $+ 1{,}6$ 0 $- 4{,}1$

przedstawiają wzniesienia w milimetrach, odpowiadające prędkościom

$OD = 5$, $OE = 8$, $OP = 10$, $OF = 15$

metrów na sekundę.

Widzimy więc, że na wzniesieniu:

0,000 można jechać z prędkością 10 metrów na sekundę
0,0016 " " " 8 " "
0,0047 " " " 5 " "

i że na spadku 0,0041 prędkość biegu dosięgnąć może wartości 15 metrów na sekundę.

Jeżeli tór znajdujący się na wzniesieniu 0,0047 położony jest w linii prostej, w takim razie w mowie będący parowóz może prowadzić pociąg ważący 643 tonny co najwyżej z prędkością 5 metrów na sekundę.

Gdyby zaś tór położony był w łuku zatoczonym promieniem r metrów, to ażeby prędkość jazdy wynosiła i w tym razie 5 metrów na sekundę, liczba 4,7 może wyrażać ilość kilogramów oporu odpowiadającego jeździe na wzniesieniu wynoszącem x milimetrów na tysiąc i po torze położonym w łuku o promieniu r metrów, czyli innemi słowy, potrzeba żeby $4{,}7 = x + \frac{600}{r}$ (wzór (3))

Jeżeli $r = 600$, w takim razie $4{,}7 = x + 1$ czyli $x = 3{,}7$; widzimy więc że jazda z prędkością 5 metrów na sekundę, może mieć miejsce na wzniesieniu 0,0047 w linii prostej jak również i na wzniesieniu 0,0037 położonem w łuku zatoczonym promieniem = 600 metrów.

Chcąc wreszcie wiedzieć, z jaką największą prędkością można będzie jechać na wzniesieniu 0,008, bierzemy w otwór cyrkla wielkość 8, a przesuwając cyrkiel od punktu M w lewą stronę, szukamy położenia, przy którem takowa wielkość mieści się, jako linia pionowa pomiędzy obiema krzywemi. Odcięta odpowiadająca temu położeniu przedstawia szukaną prędkość.

Związek zachodzący pomiędzy ciężarem pociągu, prędkością jazdy i stromością wzniesienia.

Ponieważ natężenie siły przewozowej zmniejsza się wraz ze zwiększaniem się prędkości jazdy, przeto parowóz tem mniejsze może przewozić ciężary, im spieszniejszym jest jego bieg, że zaś siła przewozowa musi zawsze równoważyć całkowity opór, na jaki natrafia ruch pociągu, a opór ten zależnym jest od ciężaru pociągu i od prędkości jazdy, przeto otrzymujemy szukany związek, przyrównywając siłę przewozową do oporu.

Jeżeli każda tonna ciężaru pociągu natrafia na opór, wynoszący O kilogramów, a pociąg waży T tonn, to całkowity opór ruchu wynosi OT kilogramów. Skoro zaś S przedstawia siłę przewozową odpowiadającą tej prędkości, która wywołuje O kilogramów oporu, na każdą tonnę ciężaru pociągu, to mieć będziemy

$$S = OT$$

a stąd

$$T = \frac{S}{O} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

wzór, służący do obliczania ciężaru pociągu, w którym

T oznacza ciężar pociągu, włącznie z ciężarem parowozu, wyrażony w tonnach,

S — całkowitą siłę przewozową, wyrażoną w kilogramach odpowiadającą pewnej prędkości jazdy v wyrażonej w metrach na sekundę,

O — opór jednostkowy wyrażony w kilogramach czyli opór, na jaki natrafia każda tonna ciężaru pociągu, przebiegającego v metrów na sekundę, a ważącego T tonn.

Jeżeli np. siła przewozowa parowozu, odpowiadająca prędkości 9 metrów na sekundę, wynosi 4000 kilogramów, a opór ruchu przy tejże prędkości 10 kilogramów na tonnę przewozowego ciężaru, to całkowity pociąg może w takim razie ważyć:

$$T = \frac{4000}{10} = 400$$

tonn; odliczając zaś na ciężar parowozu wraz z tendrem 50 tonn, widzimy, iż przewożony ciężar może wynosić 350 tonn.

W powyżej podanym wzorze (9) tak S jak i O są funkcyą prędkości jazdy. Gdyby związek zachodzący pomiędzy siłą przewozową i prędkością jazdy, był równie znanym, jak związek zachodzący pomiędzy prędkością i oporem ruchu, to w takim razie ciężar, jaki parowóz może przewozić z daną prędkością po pewnem wzniesieniu dałby się z łatwością oznaczyć.

Wzór (1) poucza np. że siła przewozowa $S = Ap$ kilogr. gdy $A = \frac{d^2 S}{S_1}$ oznacza liczbę stałą dla każdego parowozu, a p średnie ciśnienie pary, będące funkcyą x, jeżeli x oznacza prędkość jazdy w metrach na sekundę.

Że zaś opór O wyrazić można w funkcyi x, przyjmując

$$O = 4 + m + \frac{600}{r} + \frac{x^2}{50} = B + \frac{x^2}{50}$$

przeto mamy: $S = A\,f(x)$

$O = B + \frac{x^2}{50}$, przedstawiając zaś wzór (9) pod postacią $A\,f(x) = \left(B + \frac{x^2}{50}\right) y$, albo też $y = \dfrac{A\,.\,f(x)}{B + \frac{x^2}{50}}$, moglibyśmy oznaczyć dla dowolnie przyjętej wartości na x, odpowiadającą wartość dla y. Gdy jednakże funkcya x nie przedstawia się jako wyrażenie skończone, przeto niemożebnem jest obliczać w taki sposób ciężary pociągów, poruszających się z różnemi prędkościami po różnych wzniesieniach, lecz należy uciec się w tym celu do drogi pośredniej, którą poniżej wskazujemy.

Do obsługi pociągów mamy parowóz, który przy prędkościach biegu wynoszących v_1 v_2 v_3.... metrów na sekundę, wytwarza siły przewozowe S_1 S_2 S_3.... kilogramów.

Biorąc pod uwagę wzniesienia m_1 m_2 m_3.... na tysiąc i odpowiadające im przy powyższych prędkościach, opory O_1 O_2 O_3...., możemy obliczyć ze wzoru (3) za pomocą wzoru (9), ciężary, jakie parowóz uciągnie pracując z siłą S_1 i biegnąc z prędkościami v_1 v_2 v_3.... po wzniesieniach m_1 m_2 m_3.... a to dzieląc kolejno liczbę S_1 przez opory O_1 O_2 O_3.... Podobnież dzieląc liczbę S_2 przez odpowiednie opory, otrzymujemy ciężary odpowiadające tej sile przewozowej itd.

Postępując w podobny sposób, możemy sporządzić tabliczkę wykazującą ciężary, jakie przyczepiać można do parowozu, który ma biedz z pewną prędkością na danem wzniesieniu.

Poniższy przykład objaśnia wskazany przez nas sposób obliczenia ciężaru pociągu.

Przykład.

Do obsługi pociągów mamy parowóz, który biegnąc z prędkością:

5 metrów na sekundę, wytwarza siłę przewozową		5953 kgr.
8 „ „ „ „ „	$S =$	4438 „
10 „ „ „ „ „		3857 „
15 „ „ „ „ „		2831 „

Opory, na jakie natrafia każda tonna ciężaru pociągu, poruszającego się z prędkościami 5, 8, 10 i 15 metrów na sekundę, na wzniesieniach 0,000 — 0,005 — 0,007 — 0,010 — 0,012 — 0,015, obliczone według wzoru $O = 4 + m + \frac{c^2}{50}$ uwidocznia następująca tabliczka:

Prędkości wyrażone w metrach na sekundę	wzniesienia na tysiąc 0	5	7	10	12	15
5	4,5	9,5	11,5	14,5	16,5	14,5
8	5,3	10,3	12,3	15,3	17,3	20,3
10	6,0	11,0	13,0	16,0	18,0	21,0
15	8,5	13,5	15,5	18,5	20,5	23,5

Wzniesienia 0, 5, 7, 10., odnoszą się tak do torów ułożonych w linii prostej, jak do torów położonych w łukach o promieniu r metrów. Jeżeli bowiem pewne wzniesienie np. 10 na tysiąc, przypada w łuku zatoczonym promieniem 1200 metrów, to zamiast takowego wzniesienia należy mieć na względzie wzniesienie:

$$x + \frac{600}{1200} = x + \frac{1}{2} \quad \text{a zatem} \quad x + \frac{1}{2} = 10, \text{ skąd } x = 9,5$$

Jest więc wszystko jedno, czy pociąg biegnie po wzniesieniu 0,010 i po linii prostej, czy też po wzniesieniu 0,0095 położonem w łuku zatoczonym promieniem = 1200 m.

Ciężary, jakie dany parowóz uciągnąć może na odpowiednich wzniesieniach przy prędkości biegu wynoszącej 5 metrów na sekundę, otrzymamy, dzieląc kolejno 5953 przez liczby zawarte w pierwszym szeregu poziomym powyższej tabliczki, t. j. przez liczby 4,5 — 9,5 — 11,5 i t. d.

Dzieląc kolejno 4438 przez liczby podane w drugim poziomym szeregu tabliczki, otrzymujemy odpowiednie ciężary przy prędkości biegu wynoszącej 8 metrów na sekundę i t. d.

Postępując w podobny sposób sporządziliśmy poniższą tablicę:

Na wzniesieniu na tysiąc:	Przy prędkości jazdy wynoszącej na sekundę metrów: 5	8	10	15
	dany parowóz może ciągnąć ciężar wynoszący łącznie z ciężarem własnym i ciężarem tendra tonn.			
0	1320	837	643	333
5	627	430	350	209
7	518	360	296	182
10	410	290	241	153
12	360	256	214	138
15	305	218	183	120

Oznaczanie ciężaru pociągów sposobem wykreślnym.

Jeżeli NB (fig. 3 Tab. XI) przedstawia krzywą całkowitych sił przewozowych, a CD krzywą jednostkowych oporów na wzniesieniu m na tysiąc (zamiast m należy mieć na względzie $m + \frac{600}{r}$ jeżeli wzniesienie położone jest w łuku o promieniu r metrów), to prędkości OE metrów na sekundę odpowiada siła przewozowa $S = NE$ kilogramów i opór jednostkowy O wynoszący rE kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu ważącego T tonn, a stosunek długości rzędnych NE i rE daje ciężar pociągu wyrażony w tonnach. Mamy bowiem $\frac{NE}{rE} = \frac{S}{O}$, a według wzoru (9) $\frac{S}{O} = T$.

Z powyższego widzimy, że chcąc oznaczyć ciężar pociągu przebiegającego tór ułożony na wzniesieniu m na tysiąc z prędkością OE metrów na sekundę, należy podzielić rzędną siły przewozowej przez rzędną oporu, przyczem obie rzędne odpowiadać muszą jednej i tejże samej prędkości. Dzielenie wykonać możemy sposobem wykreślnym jak następuje:

Od punktu E, w którym rzędna NE spotyka oś odciętych, odnosimy na tejże osi spółrzędnych długość $EH = 1$, i otrzymany punkt H łączymy z punktem r tj. z punktem, w którym rzędna NE przecina krzywą CD. Prowadząc z punktu przecięcia rzędnej NE z krzywą sił przewozowych t. j. z punktu N linią równoległą do rH aż do przecięcia się z osią odciętych w punkcie F, otrzymujemy długość EF przedstawiającą nam w tonnach szukany ciężar pociągu. I rzeczywiście uważając 2 trójkąty prostokątne NEF i rEH mamy:

$$\frac{NE}{EF} = \frac{rE}{EH} = \frac{rE}{1} = rE,$$

a stąd $\frac{NE}{rE} = EF$; że zaś $\frac{NE}{rE} = T$, przeto $EF = T$.

Biorąc wielkość EF, w otwór cyrkla i zakreślając z punktu E jako środka, łuk przecinający przedłużoną rzędną NE poniżej osi odciętych, otrzymujemy punkt K należący do krzywej ciężarów. Łącząc ze sobą punkty otrzymane powyższym sposobem dla innych prędkości, możemy wykreślić krzywą dającą ciężary pociągu odpowiadające różnym prędkościom na temże samem wzniesieniu i przy użyciu tegoż samego parowozu.

Dla oznaczenia powyższym sposobem ciężarów, które przewozić można przy różnych prędkościach po innem wzniesieniu, jak m na tysiąc, posługując się tymże samym parowozem, należy wprzód wykreślić krzywą jednostkowych oporów, odpowiadających różnym prędkościom jazdy na temże wzniesieniu. Co się tyczy krzywej NB, to takowa będąc zależną nie od wzniesienia, lecz od parowozu — może w dalszym ciągu służyć do wyznaczenia szeregu punktów odpowiedniej krzywej ciężarów. Otrzymane w ten sposób wyniki zestawione w tabliczkę, uwidoczniają możliwe ciężary pociągów w czasie jazdy po różnych wzniesieniach ze zmiennemi prędkościami.

Wzniesienie krańcowe.

Tór drogi żelaznej, tylko w wyjątkowych razach położony jest na całkowitej przestrzeni pomiędzy dwiema sąsiedniemi stacyami w poziomie i w linii prostej, zwykle zaś oprócz poziomych części drogi napotykamy wzniesienia i spadki, a tak jedne jak i drugie mogą się znajdować albo w liniach prostych albo też w łukach.

Dopóki pociąg pozostaje w poziomie i w linii prostej, bieg jego może się odbywać z największą prędkością, gdy zaś wchodzi na wzniesienie lub w łuk, prędkość biegu zmniejsza się w skutek zwiększenia się oporu ruchu. Skoro opór ruchu dosięga swego maximum zależnego od profilu drogi, prędkość biegu spada do minimum.

Przypuśćmy, że najmniejsza prędkość jazdy wynosi c metrów na sekundę i że z tą prędkością pociąg biegnie po najbardziej stromem wzniesieniu. Jeżeli wzniesienie, które mamy na względzie było znaczne a ciężar pociągu był do takowego zastosowany, to prędkość biegu na łagodnych wzniesieniach, a tembardziej w liniach prostych położonych w poziomie, mogłaby dosięgnąć znacznej nieraz wartości.

W rzeczywistości ze względów oszczędności lub też z powodu stanu budowy wierzchniej, zarząd każdej drogi żelaznej oznacza największą prędkość jazdy, której przekraczać nie dozwala.

Wzniesienie, po którem pociąg danego ciężaru może biedz z największą dozwoloną prędkością nazywamy *wzniesieniem krańcowem.*

Największa przepisana prędkość jazdy nie może być przekroczoną na wzniesieniach łagodniejszych od wzniesienia krańcowego, ani też w poziomych i prostych częściach drogi.

Z powyżej podanej tabliczki widzimy, że parowóz, który mieliśmy na względzie prowadząc pociąg ważący 300 tonn, może biedz po wzniesieniu:

0,015	z prędkością	5	metrów na sekundę
0,010	"	8	" " "
0,007	"	10	" " "
0,000	"	15	" " "

Gdyby na drodze żelaznej, którą obsługuje powyższy parowóz przepisana największa prędkość jazdy wynosiła 10 metrów na sekundę, to możliwa na wszystkich wzniesieniach łagodniejszych od 0,007 i w poziomych częściach drogi prędkość jazdy przekraczałaby już przepisaną granicę. Wzniesienie 0,007 byłoby zatem dla pociągu ważącego 300 tonn, wzniesieniem krańcowem. Prędkość jazdy na wzniesieniach bardziej stromych od wzniesienia krańcowego można oznaczyć według sposobu powyżej przez nas wskazanego, co się zaś tyczy prędkości jazdy po wzniesieniach łagodniejszych od krańcowych lub poziomych częściach drogi, to takowa zachowuje wartość niezmienną i wynosi w obecnym wypadku 10 metrów na sekundę.

Powyżej przypuszczaliśmy, że wzniesienie 0,007 jest położone w linii prostej, gdyby zaś tór był ułożony w łuku o promieniu r metrów, to odpowiadające prędkości 10 metrów na sekundę wzniesienie krańcowe otrzymalibyśmy z wyrażenia $7 = m + \frac{600}{r}$ czyli równoważne wzniesienie krańcowe wynosiłoby w takim razie $\left(7 - \frac{600}{r}\right)$; jeżeli $r = 300$, — wzniesienie krańcowe przy danym ciężarze pociągu i przy największej przepisanej prędkości $=$ 10 metrom na sekundę, wynosiłoby $7 - \frac{600}{300} = 5^0/_{00}$ (0,005).

Ciężar pociągu w czasie przebiegu przestrzeni ograniczonej dwiema sąsiedniemi stacyami pozostaje niezmiennym, gdy tymczasem wzniesienia znajdujące się na tejże przestrzeni mogą być więcej lub mniej strome, aniżeli wzniesienie krańcowe. Jazda po wzniesieniach więcej stromych aniżeli wzniesienie krańcowe odbywa się z różnemi prędkościami, nie przekraczającemi jednakże największej dozwolonej wartości, natomiast bieg pociągu po wzniesieniach łagodniejszych od wzniesienia krańcowego odbywa się zawsze z jedną i tą samą prędkością a mianowicie, z największą przepisaną wartością takowej.

Z powyższego wynika, iż tylko na wzniesieniach bardziej stromych aniżeli krańcowe można należycie wyzyskać siłę przewozową, gdyż jakkolwiek ze względu na ciężar pociągu, możnaby przebiegać wzniesienia łagodniejsze od krańcowego z prędkością większą od największej przepisanej prędkosci, to jednakże względy oszczędności stają temu na przeszkodzie.

Określiwszy powyżej znaczenie *wzniesienia krańcowego*, możemy takowe w każdym przypadku z łatwością oznaczyć. Jeżeli odcięta OE (fig. 3, Tab. XI) przedstawia dla pewnego pociągu największą dozwoloną prędkość jazdy, to ponieważ powyższej prędkości odpowiada wzniesienie Bb na tysiąc, przeto wzniesienie to jest wzniesieniem krańcowem czyli wzniesieniem, po którem jazda odbywa się z największą prędkością. Wszystkie wzniesienia przedstawione na figurze z lewej strony wzniesienia krańcowego są bardziej strome, aniżeli wzniesienie krańcowe i przeciwnie, wzniesienia położone z prawej strony wzniesienia krańcowego są od takowego łagodniejsze. Jazda po wzniesieniach wykazanych z lewej strony wzniesienia krańcowego odbywać się będzie z różnemi prędkościami nie przekraczającemi największej przepisanej wartości, natomiast bieg pociągu po wzniesieniach wykazanych na figurze po prawej stronie wzniesienia krańcowego odbywać się będzie z niezmienną prędkością, której wartość jest przepisana przez zarząd drogi żelaznej.

Poniższy przykład uprzystępni sposób obliczania krańcowego wzniesienia.

Przykład.

Do obsługi pociągów towarowych na drodze żelaznej, której zarząd ze względów oszczędności przyjął największą prędkość jazdy, wynoszącą 7 metrów na sekundę (25,2 kilometrów na godzinę) przeznaczony jest parowóz, którego siły przewozowe obliczone sposobem powyżej podanym wynoszą:

przy prędkości 4 metrów na sekundę		6086
„ „ 5 „ „ „		5894
„ „ 6 „ „ „		5678
„ „ 7 „ „ „	$S =$	4902
„ „ 8 „ „ „		4038
„ „ 9 „ „ „		3833
„ „ 10 „ „ „		2716

Powyższy parowóz ma prowadzić pociągi ważące 500 tonn, — zachodzi więc pytanie, od jakiego wzniesienia począwszy, można będzie jechać z największą dozwoloną prędkością t. j. z prędkością 7 metrów na sekundę.

Dzieląc wartość sił przewozowych przez ciężar pociągu, otrzymujemy jednostkowe siły przewozowe, zatem siły przewozowe odpowiadające jednej tonnie ciężaru anego pociągu obliczymy z wyrażenia $\sigma = \frac{S}{500}$, a jednostkowe opory ze wzoru $O = 4 + \frac{v^2}{50}$, w którym v oznacza prędkość jazdy w metrach na sekundę. Wykonywając odpowiednie działania otrzymujemy poniższą tabliczkę.

v	σ	O	$(\sigma - O)$	m
4	12,17	4,32	+ 7,85	+ 8
5	11,79	4,50	+ 7,29	+ 7
6	11,36	4,72	+ 6,64	+ 6
7	9,80	4,98	+ 4,82	+ 5
8	8,08	5,28	+ 2,80	+ 3
9	7,67	5,62	+ 2,05	+ 2
10	5,43	6,00	— 0,57	— $^1/_2$

Różnica $(\sigma - O)$ pomiędzy jednostkową siłą przewozową i jednostkowym oporem, przy danej prędkości daje nam jak to już powyżej wykazaliśmy wzniesienie, wyrażone w milimetrach, odpowiadające tejże prędkości. Zaokrąglone wartości wyrażenia $(\sigma - O)$ podaliśmy w ostatniej kolumnie, w której m oznacza tym sposobem wzniesienie na tysiąc, odpowiadające prędkości v.

Powyższa tabliczka poucza, że dany parowóz prowadząc pociąg ważący 500 tonn, z chwilą wstąpienia na wzniesienie 0,00482 czyli 0,005, biedz będzie z prędkością 7 metrów na sekundę Że zaś powyższej prędkości przekraczać nie wolno, przeto wzniesienie 0,005 jest w obecnym razie wzniesieniem krańcowem skąd wynika, iż na wzniesieniach łagodniejszych jak np. 0,004 i 0,002 jazda odbywać się będzie z prędkością 7 metrów na sekundę, gdyż prędkości 8 i 10 metrów na sekundę nie są dozwolone.

Jazda po wzniesieniach więcej stromych, jak wzniesienie 0,005, odbywać się będzie z prędkościami mniejszemi aniżeli 7 metrów na sekundę; powyższa tabliczka wykazuje, że na wzniesieniu 0,006 prędkość jazdy wynosić będzie 6 metrów

„ 0,007 „ „ „ „ 5 „

„ 0.008 „ „ „ „ 3 „

na sekundę.

Jeżeli wzniesienie nie jest położone w linii prostej, lecz w łuku zatoczonym promieniem r metrów, to odpowiednie wartości wzniesienia zawarte w tabliczce należy zmniejszyć o ilość $\left(\frac{600}{r}\right)$ milimetrów. I tak np. prędkości 3 metrów na sekundę odpowiada wzniesienie 0,008 t. j. wzniesienie wynoszące 8 milimetrów na 1 metr bież. i położone w linii prostej, jeżeli zaś wzniesienie położone jest w łuku o promieniu 600 metrów, to tejże prędkości odpowiada wzniesienie $\left(8 - \frac{009}{600}\right)$ milimetrów na 1 metr poziomej długości czyli wzniesienie 0,007. Powyższe zestawienie wykazuje nadto, że w warunkach danego przykładu nie można jechać po wzniesieniu z prędkością 10 metrów na sekundę, albowiem odpowiednia wartość na m opatrzona znakiem ujemnym wyraża spadek 0,002.

Oznaczenie wartości wzniesienia krańcowego jest potrzebnem do obliczenia czasu trwania biegu pociągów na przestrzeni pomiędzy dwiema stacyami.

Długość wzniesienia ciągłego.

Przestrzeń, jaką pociąg przebiegać może po wzniesieniu bez zatrzymania się w czasie jazdy, zależy nietylko od zapasu paliwa i wody, lecz nadto i od wielu innych jeszcze okoliczności.

Wzniesieniom staramy się zwykle dawać takie długości, ażeby w czasie przebiegania takowych nie zachodziła potrzeba zasilania wodą kotła parowozu, albowiem podczas pompowania takowej temperatura w kotle obniża się zawsze, a okoliczność ta oddziaływa niekorzystnie na wytwarzanie się pary. Unikając pompowania zaoszczędzamy przytem mechaniczną pracę, potrzebną do poruszania pompy.

Ażeby maszynista mógł nie zasilać kotła parowozu, potrzeba ażeby poziom wody przy rozpoczęciu jazdy był w kotle możebnie najwyższym, przy końcu zaś wzniesienia możebnie najniższym.