

Różnica ($\sigma - 0$) 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 ($\sigma - 0$) 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.

Różnica powyższych wysokości poziomu odpowiada zwykle $\frac{3}{4}$ tonnom wody, z którym to zapasem można jechać 20—30 minut.

Im dłużej parowóz będzie biegł bez zatrzymywania się, tem wcześniej znajdzie konieczność smarowania niektórych jego składowych części, a ponieważ nie wszystkie części smarować można w czasie jazdy, przeto takową za każdym razem trzeba będzie przerwać, skoro okaże się konieczność smarowania tych ostatnich.

Im dłuższe jest wzniesienie, tem mniejsze jest prawdopodobieństwo, iż jazda po takowem odbywać się może bez zatrzymania, zatrzymywanie zaś pociągów na wzniesieniach, uważać należy ze względu na łączniki za rzecz niezupełnie bezpieczną.

Kiedy parowóz idący pod górę pracuje silnie, a więc ze znacznym dopływem, wtedy prąd powietrza, wzniesany kłębami pary wchodzącej przez dmuchawkę, łatwo ze sobą porywa niedopalone szczątki węgla lub drzewa, przenosząc je przez wnętrza rur płomiennych aż na drugą stronę paleniska t. j. do dymnicy. Gdy ta ostatnia nie jest szczelnie zamkniętą, porwane niedopałki przechodzą w żar, lub też gromadząc się coraz więcej zasypują dymnicę.

Ze względu na powyżej przytoczone okoliczności, wzniesienia dłuższe nad 15 kilometrów, nie okazują się być korzystnymi.

Dopóki opór ruchu nie osiąga wielkości siły przewozowej, dopóty długość wzniesienia (ze względu na przewóz) tylko podrzędną odgrywa rolę, albowiem parowóz zwalczając opór, biegnąć może w kierunku wzniesienia tak długo, o ile tylko starczy para.

Rzecz się inaczej przedstawia, skoro siła przewozowa mniejszą jest od oporu.

Wyobraźmy sobie drogę żelazną, na której poza torami ułożonemi w poziomie następuje wzniesienie. Dopóki pociąg biegł po torze poziomym, jazda odbywała się z jednostajną prędkością, gdyż siła przewozowa zwalczała jednostajny opór. Na wzniesieniu zwiększa się opór w miarę stromości a takowy w danym razie przezwyciężyć może wielkość siły przewozowej.

W miarę posuwania się pod górę prędkość jazdy zmniejszać się będzie, aż wreszcie przyjdzie chwila, w której takowa spadnie do wartości zera t. j. w której pociąg pod górę wcale już postępować nie będzie. Jeżeli zaś wzniesienie skończy się wprzód zanim prędkość jazdy spadnie do wartości zera, to wzniesienie takie można będzie przebyć pomimo, iż opór ruchu przewyższa siłę przewozową, jednakże jazda nie będzie się w takim razie odbywać z jednostajną lecz z coraz zmniejszającą się prędkością.

Przypuśćmy, że jednostkowa siła przewozowa wynosi σ kilogramów, jednostkowy zaś opór na poziomym torze O , zatem na wzniesieniu m na tysiąc ($O + m$) kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Dopóki pociąg będzie biegł po poziomej siła przewozowa σ przewyższa opór ruchu O , czyli $\sigma > O$, na wzniesieniu zaś $\sigma < (O + m)$. Pociąg wstępując na wzniesienie zwalniać będzie bieg swój a po-

wyższalby jednostkową siłę przewozową o $15,84 - 8 = 7,84$ kilogram. na każdą tonnę. Widocznem więc jest, że parowóz, który mamy na względzie, nie jest w stanie prowadzić pociągu ważącego 250 tonn z prędkością 10 metrów na sekundę po wzniesieniu 0,00984.

Jeżeli zaś można dopuścić, ażeby początkowa prędkość jazdy wynosząca 10 metrów na sekundę, spadła do wartości 5 metrów na sekundę to średnią prędkość jazdy obliczymy, jak już to powyżej wykazaliśmy, z wyrażenia:

$$u^2 = \frac{10^2 + 5^2 + 5,10}{3} = 58, \text{ czyli } u = 7,6 \text{ metrów.}$$

Siła przewozowa danego parowozu odpowiadająca powyższej prędkości 7,6 metrów wynosi 2500 kilogramów, jednostkowa więc siła przewozowa $= \frac{2500}{250} = 10$ kilogramom, że zaś opór jednostkowy wynosi:

$$4 + \frac{100 + 25 + 5,10}{150} + 9,84 = 15 \text{ kgm.}$$

przeto różnica pomiędzy oporem ruchu i siłą przewozową wynosi $15 - 10 = 5$. Skoro zaś mechaniczna praca oporu, w czasie jazdy po wzniesieniu x metrów długiem, wynosi $5x$ kilogrametrów, a praca strawiona przez ruch w czasie, w którym prędkość jednej tonny spada z wartości 10 metrów do wartości 5 metrów wynosi $51(100^2 - 5^2) = 3825$ kilogrametrów, przeto mamy równanie $5x = 3825$ z którego otrzymujemy $x = 765$ metrów jako wartość szukanej długości wzniesienia.

Jazda po wzniesieniach stromych.

Jazda po wzniesieniach stromych odbywa się z pewnemi trudnościami, albowiem w takim razie pociąg wisi niejako na łącznikach, siła przewozowa musi zatem działać jednostajnie i spokojnie, albowiem każde gwałtowniejsze jej działanie czyli t. z. szarpanie, może nadwerężyć łączniki.

W celu uniknięcia podobnych wypadków staramy się zawsze mieć na względzie, ażeby siła przewozowa nie przewyższała znacznie wytrzymałości łącznika, nie jest to jednakże zawsze możebnem do przeprowadzenia, albowiem wielkość siły przewozowej jest niekiedy zależną nietylko od działania pary, ale i od innych okoliczności.

Łączniki cierpią np. wiele, w chwili ruszania pociągu z miejsca, albowiem w takim razie nie cały pociąg jest od razu wprowadzony w ruch, lecz siła przewozowa przenosi się stopniowo od wagonu do wagonu, dopóki nie obejmie całego pociągu. W tym czasie łączniki rozciągają się niejednostajnie a niekiedy więcej, aniżeli by sobie tego życzyć należało.

Łączniki cierpią również wiele, gdy nie wszystkie wagony są jednocześnie hamowane. Gdy wprowadzimy w działanie hamulce znajdujące się przy końcu pociągu pierwszej, aniżeli hamulce umieszczone w pobliżu parowozu, w takim razie zrywają się łączniki, gdyż wagony zahamowane nie mogą dążyć za wagonami nie zaopatrzonemi w hamulce.

Jeżeli poza stromem wzniesieniem znajduje się bezpośrednio spadek, tak iż pomiędzy wzniesieniem a spadkiem, nie ma linii poziomej, na której możnaby pociąg ustawić, w takim razie w danej chwili jedna połowa pociągu znajdująca się na spadku dąży w dół, gdy tymczasem druga połowa postępująca po wzniesieniu siłą ciężenia opiera się ruchowi pod górę. Jeżeli w takim razie maszynista znajdując się na spadku nie zmniejszy natężenia siły przewozowej, łączniki wystawione z jednej strony na działanie siły przewozowej, z drugiej zaś na działaniu siły ciężenia, rwą się często pod działaniem siły wypadkowej.

Ażeby podobnym wypadkom o ile możności zapobiedz, staramy się, dojeżdżając do podnoża góry, rozdzielać pociągi t. j. przewozić je pod górę częściowo lub też przychodzić w pomoc parowozowi znajdującemu się na czele pociągu, przez pchanie tego ostatniego innym parowozem przyczepianym w końcu pociągu. Tak np. na francuskiej drodze żelaznej wiodącej z Enghien do Montmorency, przez wzniesienie wynoszące 0,045 istnieje przepis, ażeby nie ciągnąć pociągów pod górę lecz takowe pchać z tyłu. W czasie jazdy po spadku umieszcza się zawsze parowóz na czele pociągu tym sposobem takowy znajduje się w najniższym punkcie pociągu przez co zapobiega się nie tylko zrywaniu się łączników, lecz także i staczaniu się wagonów w dół.

Posługiwanie się dwoma parowozami ustawionymi na czele pociągu daje się usprawiedliwić jedynie w tym razie, gdy przyleganie wynoszące podczas pogody 130 kilogramów na każdą tonnę ciężaru spoczywającego na osiach kół rozpędowych, zmniejszając się znacznie dojdzie do ostatecznej granicy, t. j. do wartości 80 kilogramów. Doświadczenie poucza, że chcąc z korzyścią posługiwać się dwoma parowozami przy pociągu, należy jednym z nich ciągnąć pociąg, drugim zaś pchać takowy pod górę. Gdy jednakże i tym sposobem nie zwiększamy przylegania, przeto skoro ruch odbywać się musi podczas sloty, nie osiągamy rzeczywistych korzyści. Względ na możliwość przeprowadzania przez strome wzniesienie bardzo znacznych ciężarów, i to tak podczas pogody jak i podczas sloty, skierowała myśl inżynierów ku podaniu sposobów zwiększenia przylegania a dążności tej zawdzięczają swe istnienie parowozy t. z. tendrowe.

Przy parowozach tendrowych wyzyskuje się tak ciężar paliwa, jakoteż i ciężar wody zapasowej na przyleganie, a nadto prowadzenie osobnego wozu pomocniczego, czyli tak zwanego tendra, staje się zbyt cennym. Takie wyzyskiwanie ciężaru paliwa i wody byłoby w tym razie odpowiedniem, gdyby stosownego obciążenia osi kół rozpędowych, innym sposobem osiągnąć nie było można. Ponieważ jednakże parowóz można zawsze tak zbudować, aby na osiach kół rozpędowych spoczywał największy ciężar dozwolony, przeto ściśle rzeczy biorąc, odpada potrzeba budowania parowozów tendrowych.

Posługiwanie się parowozami tendrowymi połączone jest z pewnemi niedogodnościami, które przeważnie pochodzą stąd, iż ciężar spoczywający na osiach kół rozpędowych, zmienia się podczas jazdy, w miarę ubytku paliwa i wody.

Ubytek nacisku nierozdzielający się jednakowo na wszystkie osie wywołuje nowe trudności, w każdym zaś razie zmniejsza się w następstwie takowego przyleganie.

Chcąc oznaczyć ciężar, jaki parowóz tendrowy może wciągnąć pod górę, należy brać w rachunek przyleganie przy końcu wzniesienia, nie zaś na początku takowego.

Jeżeli np. po przebyciu 15 kilometrów drogi, wznoszącej się 10 milimetrów na metr poziomej długości, ubyło w wodzie i materiale opałowym, 5 tonn ciężaru, to nacisk przylegania zmniejszył się o tyleż tonn a ubytek w przyleganiu wynosi $5 \cdot \frac{1}{9} = 0,555$ tonn, czyli 555 kilogramów ¹⁾.

Stracie 555 kilogramów w przyleganiu, odpowiada strata na ciężarze, jaki przewozić można, wynosząca 38 tonn, skoro jazda na wzniesieniu odbywa się z prędkością 5 metrów na sekundę, i rzeczywiście na wzniesieniu 0,010 opór jednostkowy wynosi

$$4 + 10 + \frac{5^2}{50} = 14,5$$

kilogramów, że zaś strata w przyleganiu wynosi 555 kilogramów, przeto takowa odpowiada oporowi sprawionemu ciężarem:

$$\frac{555}{14,5} = 38 \text{ tonn.}$$

Ciężar 38 tonn odpowiada ciężarowi trzech wagonów naładowanych towarami, przeto parowóz tendrowy przewiezie o 3 wagony mniej, aniżeli zwykły parowóz sprawiający toż samo przyleganie.

Zważywszy, że te 5 tonn, o które ciężar wywołujący przyleganie jest mniejszym przy końcu wzniesienia, aniżeli na początku takowego, niepotrzebnie przewożone są pod górę, musimy przyjść do przekonania, że obojętną jest rzecz, czy ciężar ten umieścimy na samym parowozie, czy też na osobnym tendrze.

Z drugiej strony parowozy tendrowe przedstawiają tę korzyść, iż pozwalają zwiększyć ciężar pociągu, o ciężar tendra próżnego, który zwykle parowozy ciągnąć muszą na niekorzyść ciężaru pociągu.

Zastanawiając się nad dodatnimi i ujemnymi stronami parowozów tendrowych, przychodzimy do przekonania, że im dalej są od siebie oddalone stacje sąsiednie, pomiędzy którymi położone jest wzniesienie, tem większą będzie strata, wywołana zmniej-

¹⁾ Przegląd Techniczny z r. 1878, Zeszyt VII str. 16. gdzie podano $\varphi = \frac{1}{9}$.

szeniem się przylegania, a strata ta, przeważać może przy odpowiedniej długości wzniesienia, zysk powstały z ubytku tendra.

Umieszczanie materiałów zapasowych na parowozie, zamiast na osobnym tendrze, czyni ustrój parowozu tendrowego często do tego stopnia złożonym, iż smarowanie jego składowych części jest utrudnionem. Należy nadto zauważyć, że i zaopatrzenie takiego parowozu w przyrząd do hamowania połączone jest ze znacznymi trudnościami. Maszynista nie mając pod ręką hamulca, zależnym jest od obsługi hamulców, w jakie zaopatrzone jest pociąg, a okoliczność ta wcale nie jest pożądaną.

Co się zaś tyczy użycia w danym razie przeciw-pary, to do środka tego maszynista może się uciec w każdym razie, czy przy parowozie znajdujemy oddzielny tender, czy też pociąg obsługiwany jest przez parowóz tendrowy.

Z tego co powyżej powiedzieliśmy wynika że parowozy tendrowe, dają się stosować z korzyścią tylko na stromych i krótkich wzniesieniach.

Szwajcarska droga żelazna, wiodąca przez górę Uetli, na której krótkie wzniesienia dochodzą do 0,070 używa z korzyścią parowozów tendrowych, gdy tymczasem na drogach żelaznych, mających łagodniejsze wzniesienia, a mianowicie wzniesienia nie przechodzące 0,025, parowozy tendrowe coraz więcej znikają.

Przykłady odnoszące się do jazdy po torach ułożonych na wzniesieniach.

Przykład 1.

Po spadku 0,015 położonym w łuku zatoczonym promieniem 2400 metrów toczy się wagon, który rozpoczął bieg swój w kierunku spadku z prędkością 4 metrów na sekundę. Przy końcu spadku prędkość biegu podniosła się, zachodzi pytanie jak długim był spadek?

Przeciętny opór ruchu (7) wynosi:

$$0 = 4 + \frac{600}{2400} + \frac{8^2 + 4^2 + 4,8}{150} = 5$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru wagonu. Siłą przewozową jest w tym przypadku siła, która wagon w dół spycha, a więc siła wynosząca tyle kilogramów na każdą tonnę ciężaru, ile milimetrów spada tor na 1 metr poziomej długości, w obecnym więc razie 15 kilogramów.

Siła, pod wpływem której odbywa się ruch w kierunku spadku, wynosi 15 — 5 = 10 kilogramów na każdą tonnę ciężaru; mechaniczna praca tej siły, wynosi przeto 10 \times kilogrametrów, skoro x oznacza długość spadku w metrach.

Ażeby masie odpowiadającej ciężarowi jednej tonny przy prędkości 4 metrów, nadać prędkość 8 metrów, potrzeba zużyć mechaniczną pracę odpowiadającą ($8^2 - 4^2$) 51 kilogrametrów, mamy przeto równanie:

$$10 x = (8^2 - 4^2) 51$$

z którego otrzymujemy $x = 244,8$ metrów.

Przykład 2.

Na wzniesienie 0,015 wpadają wagony z prędkością 8 metrów na sekundę. Siłą rozpędu bieżą pod górę po łuku zatoczonym promieniem 2400 metrów, dosięgając końca wzniesienia przy prędkości 4 metrów na sekundę; zachodzi pytanie jak długie było wzniesienie?

Jednostkowy opór ruchu w górę bieżących wagonów wynosi (7):

$$0 = 4 + 15 + \frac{600}{2400} + \frac{8^2 + 4^2 + 4,8}{150} = 20$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru wagonów, przeto praca mechaniczna, jaką strawi opór, podczas biegu po x metrów długiem wzniesieniu, wynosi $20x$ kilogrametrów, na każdą tonnę ciężaru wagonów.

Chcąc zaś zmniejszyć prędkość biegu z 8 metrów na 4 metry, potrzeba aby opór wykonał mechaniczną pracę, wynoszącą na każdą tonnę ciężaru 51 ($8^2 - 4^2$) kilogrametrów, — mamy przeto równanie:

$$51 (8^2 - 4^2) = 20 x,$$

z którego otrzymujemy $x = 122,4$ metrów, a więc o połowę mniej aniżeli otrzymaliśmy w odwrotnym przypadku podanym w poprzednim przykładzie.

Przykład 3.

Parowóz, jaki mamy do rozporządzenia, prowadzi po torze poziomym przy prędkości 10 metrów na sekundę (36 kilometrów na godzinę) pociąg ważący 250 tonn, wytwarzając w czasie jazdy siłę przewozową wynoszącą 2000 kilogramów.

Skoło zaś szybkość jazdy spada do wartości:

7,6 metrów, siła przewozowa wynosi 2500 kilogramów.

5,5 " " " " " 3060 "

W końcu toru poziomego rozpoczyna się wzniesienie 0,00784, przez które przewozić potrzeba też same pociągi ważące po 250 tonn, i to w ten sposób, że dosięgając szczytu wzniesienia, prędkość jazdy spaść może do połowy pierwotnej wartości, a więc do wartości 5 metrów.

Zachodzi pytanie, jak długiem być może w takim razie wzniesienie?

W czasie biegu po torze poziomym z prędkością 10 metrów na sekundę natrafia każda tona ciężaru pociągu na opór wynoszący:

$$4 + \frac{10^2}{50} = 6$$

kilogramów, a ponieważ na 1 tonnę ciężaru wypada $\frac{2000}{250} = 8$ kilogramów siły przewozowej, przeto widzimy, że podczas jazdy siła przewozowa nie zostaje dostatecznie wyzyskaną i że dany parowóz prowadząc pociąg ważący 250 tonn po torze poziomym mógłby się spieszniej poruszać, aniżeli z prędkością 10 metrów na sekundę.

Gdyby było potrzeba przebiec wzniesienie 0,0784 z prędkością 10 metrów na sekundę, opór jednostkowy wynosiłby:

$$4 + \frac{10^2}{50} + 7,84 = 13,84$$

kilogramów, a więc daleko więcej jak siła przewozowa, wynosząca tylko 8 kilogramów; jazda z powyższą prędkością odbywać się zatem nie może.

Jazda pod górę byłaby nawet i w tym razie niemożliwą, gdyby pociąg dochodząc do początku wzniesienia, zatrzymał się tam zupełnie i rozpoczynając

jazdę pod górę z prędkością zero, osiągnąć miał końca wzniesienia przy prędkości 10 metrów.

W takim razie średnia prędkość jazdy po wzniesieniu nie wynosiłaby 10 metrów, lecz tylko $\sqrt{\frac{10^2}{3}} = 5,5$ m. a ponieważ tej prędkości odpowiada siła przewozowa 3000 kilogramów, zatem na jedną tonnę ciężaru pociągu przypada siła $\frac{3000}{250} = 12$ kilogramów.

Opór ruchu wynosi zaś

$$4 + 7,84 + \frac{5,5^2}{50} = 13,5$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, a więc zawsze jeszcze więcej od siły przewozowej.

Przebycie wzniesienia staje się możliwem, skoro pociąg nie rozpoczyna biegu swego po takowem z prędkością zero, lecz z prędkością 10 metrów na sekundę. Prędkość ta zmniejszać się będzie stopniowo podczas jazdy, dopóki nie dojdzie do wartości 5 metrów na sekundę. W powyższym razie, mamy do zwalczania oporów, nie tylko już siłę przewozową, ale i zasób pracy mechanicznej odpowiadający prędkości, z jaką rozpoczyna się ruch po wzniesieniu.

Mechaniczna praca, jaką w sobie nagromadził pociąg, nabywając prędkość 10 metrów, wynosi na każdą tonnę ciężaru pociągu $51 \cdot 10^2 = 5100$ kilogrametrów. Ponieważ prędkość jazdy przy końcu wzniesienia ma wynosić 5 metrów na sekundę, czyli nagromadzona mechaniczna praca $51 \cdot 5^2 = 1275$ kilogrametrów, zatem możemy zużyć w celu przewozu mechaniczną pracę wynoszącą:

$$(51 \cdot 10^2 - 51 \cdot 5^2) = 5100 - 1275 = 3825 \text{ kilogrametrów.}$$

Oprócz powyższej pracy, mamy także do rozporządzenia mechaniczną pracę pary, wytworzoną podczas jazdy rozpoczynającej się z prędkością 10 metrów, która to prędkość przy końcu wzniesienia spada do wartości 5 metrów na sekundę, zatem pracę pary odpowiadającą średniej prędkości:

$$\sqrt{\frac{10^2 + 5^2 + 10 \cdot 5}{3}} = 7,6 \text{ metr.}$$

Ponieważ prędkości 7,6 metrów odpowiada siła przewozowa 2500 kilogramów, a pociąg waży 250 tonn, przeto jednostkowa siła przewozowa na każdą tonnę ciężaru pociągu wynosi $\frac{2500}{250} = 10$ kilogramów, a praca tej siły podczas przebiegu drogi x metrów długiej, wyraża się przez $10x$ kilogrametrów.

Tym sposobem do zwalczania oporu, mamy w rozporządzeniu mechaniczną pracę wynoszącą $10x + 3825$ kilogrametrów.

Ponieważ w obecnym razie opór ruchu wynosi:

$$4 + 7,84 + \frac{10^2 + 5^2 + 5 \cdot 10}{150} = 13$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, przeto do zwalczania takowego w czasie jazdy po wzniesieniu x metrów długiem, potrzeba zużyć mechaniczną pracę wyrażoną przez $13x$ kilogrametrów; mamy zatem równanie:

$$10x + 3825 = 13x$$

z którego otrzymujemy $x = 1275$ metrów.

Rozpoczynając jazdę po wzniesieniu z prędkością 8 metrów na sekundę i dobiegając do końca takowego przy prędkości 4 metrów, przebiegamy wzniesienie ze średnią prędkością $\sqrt{\frac{8^2 - 4^2}{2}} = \sqrt{\frac{48}{2}} = 4.8$ m., że zaś powyższej prędkości odpowiada siła przewozowa wynosząca 4000 kilogramów, przeto na każdą tonnę ciężaru pociągu przypada $\frac{4000}{500} = 8$ kilogramów siły przewozowej.

Opór ruchu w czasie jazdy ze średnią prędkością 6 m., wynosi:

$$4 + 11 + \frac{600}{2400} + \frac{6^2}{50} = 16 \text{ kgr.}$$

na każdą tonnę ciężaru pociągu a więc 2 razy więcej, aniżeli siła przewozowa. Tak więc przebycie wzniesienia ze średnią prędkością wynoszącą 6 metrów jest niemożliwem, jeżeli nie korzystamy z rozpędu pociągu t. j. z pracy mechanicznej nagromadzonej w skutek ruchu pociągu po torze poziomym i gdy takową się nie posiłkujemy dla zwalczenia oporu wytwarzającego się podczas jazdy po wzniesieniu.

Pociąg biegnący z prędkością 8 metrów na sekundę posiada zasób pracy mechanicznej wynoszący na każdą tonnę jego ciężaru 51,8² kilogrametrów, że zaś z takowego pozostać ma przy końcu wzniesienia praca mechaniczna odpowiadająca prędkości 4 metrów — a więc praca wyrażona przez 51,4² kilogrametrów, — przeto do pokonania oporu ruchu można spożytkować pracę mechaniczną wynoszącą: $51(8^2 - 4^2) = 2448$ kilogrametrów.

Ponieważ praca mechaniczna jednostkowej siły przewozowej 8 kilogramów, wynosi w czasie jazdy po x metrów długiej drodze, na każdą tonnę ciężaru pociągu $8x$ kilogrametrów, przeto do pokonania oporów ruchu, mamy w rozporządzeniu pracę mechaniczną wynoszącą razem $2448 + 8x$ kilogrametrów.

Skoro zaś opór ruchu wytwarzający się w czasie jazdy po danem wzniesieniu wynosi 16 kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, a do zwalczenia takowego na długości wzniesienia wynoszącej x metrów, potrzeba pracy mechanicznej $16x$ kilogrametrów, przeto mamy równanie $2448 + 8x = 16x$, z którego otrzymujemy $x = 306$ metrów, jako wartość szukanej długości wzniesienia.

Przykład 6.

Jaką stromość można nadać wzniesieniu, które parowóz przebiegać mógłby ze średnią prędkością 10 metrów na sekundę, prowadząc pociąg ważący 250 tonn, gdy siła przewozowa parowozu odpowiadająca powyższej prędkości wynosi 5750 kilogramów.

Opór jednostkowy musi być równym jednostkowej sile przewozowej, że zaś pierwszy wynosi $4 + m + \frac{10^2}{50} = m + 6$ kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, gdy m oznacza stromość wzniesienia w milimetrach na 1 metr poziomej długości, a jednostkowa siła przewozowa wynosi $\frac{5750}{250} = 23$ kilogramów, przeto mamy równanie $m + 6 = 23$ z którego otrzymujemy $m = 17$.

Jeżeli jazda odbywa się po wzniesieniu znajdującem się w linii prostej, to stromość wzniesienia wynosić może 0,009, jeżeli zaś wzniesienie położone jest w łuku zatoczonym promieniem 300 metrów, to zamiast m , należy wprowadzić w rachunek $m + \frac{600}{300}$ czyli $m + 2$; mamy stąd równanie $m + 2 = 17$, z którego $m = 15$ milim., jako wartość największego wzniesienia na 1 metr poziomej długości.

Przykład 7.

Poza torami ułożonymi w poziomie znajduje się bezpośrednio wzniesienie 0,0072 i to w łuku zatoczonym promieniem 300 metrów.

Do obsługi pociągów mamy parowóz, który:

przy prędkości	5	metrów	na sekundę	wytwarza	siłę	przewozową	5510
„	„	7,6	„	„	„	„	4500
„	„	10	„	„	„	„	2930

kilogramów i który po torze prostym i poziomym prowadzi pociągi ważące 480 tonn z prędkością 10 metrów na sekundę. Wzniesienie 0,0072 długie 765 metrów chcemy przebyć z tem zastrzeżeniem, że prędkość jazdy w końcu wzniesienia wynosić może 5 metrów na sekundę.

Zachodzi pytanie, czy w danych warunkach przebieganie wzniesienia jest możliwem, lub też czy na początku wzniesienia wypadnie rozdzielić pociągi?

Zamiast wzniesienia (0,0072) położonego w łuku zatoczonym promieniem 300 metrów, możemy wprowadzić w rachunek wzniesienie znajdujące się w linii prostej wynoszące $7,2 + \frac{600}{300} = 9,2$ milimetrów na 1 metr poziomej długości.

W czasie jazdy po torze poziomym z prędkością 10 metrów na sekundę każda tona ciężaru pociągu natrafia na opór ruchu wynoszący $4 + \frac{10^3}{50} = 6$ kilogramów, że zaś na każdą tonnę tegoż ciężaru przypada $\frac{2930}{480} = 6,1$ kilogramów siły przewozowej, przeto parowóz prowadzący pociąg ważący 480 tonn z prędkością 10 metrów po torze poziomym jest już, ściśle rzeczy biorąc, nieco przeciążonym.

Dany parowóz nie przeprowadzi pociągu powyższego ciężaru przez wzniesienie z prędkością 10 metrów, czy zaś przewiezie tenże ciężar rozpoczynając jazdę pod górę z prędkością 10 metrów na sekundę i dobiegając do końca wzniesienia przy prędkości 5 metrów, t. j. poruszając się ze średnią prędkością wynoszącą:

$$\sqrt{\frac{10^3 + 5^3 + 5 \cdot 10}{3}} = 7,6$$

metrów, o tem łatwo się przekonać.

W powyższym wypadku opór ruchu na wzniesieniu wynosi:

$$4 + 9,2 + \frac{7,6^3}{50} = 14,3$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, że zaś wzniesienie ma 765 metrów długości, przeto praca mechaniczna niezbędna do pokonania oporu wynosi $14,3 \times 765 = 10939,5$ kilogrametrów.

Jadąc ze średnią prędkością 7,6 metrów na sekundę wytwarza dany parowóz 4500 kilogramów siły przewozowej, na każdą tonnę ciężaru pociągu przypada zatem siła przewozowa $\frac{4500}{480} = 9,3$ kilogramów a ze względu zaś na długość wzniesienia praca mechaniczna tej siły wynosi $9,3 \times 765 = 7114,5$ kilogrametrów.

Natomiast praca mechaniczna nagromadzona w pociągu, który z prędkości zero przeszedł do prędkości 10 metrów, wynosi na każdą tonnę ciężaru $51 \times 10^3 = 5100$ kilogrametrów. Z powyższego zasobu pozostać ma przy końcu wzniesienia praca mechaniczna odpowiadająca prędkości 5 metrów na sekundę, a więc praca wyrażona

przez $51.5^3 = 1225$ kilogrametrów; tym sposobem do pokonania oporu rozporządzalną jest tylko praca wynosząca $(5100 - 1225) = 3875$ kilogrametrów.

Powyższa praca łącznie z pracą siły przewozowej daje $7114,5 + 3875 = 10989,5$ kilogrametrów, służyć mających do pokonania pracy oporu, wynoszącej 10939,5 kilogrametrów.

Ponieważ praca rozpędu i siły przewozowej jest większą od pracy oporu o $10\ 989,5 - 10\ 939,5 = 50$ kilogrametrów, przeto rozdzielanie pociągów przy wejściu na wzniesienie okazuje się zbyt szkodliwym.

Przykład 8.

Profil drogi żelaznej na cząstkowej jej przestrzeni jest następujący: po za linią prostą i poziomą 326,11 metrów długą rozpoczynającą się w punkcie *A* a kończącą się w punkcie *B*, następuje spadek 0,007114 ciągnący się na długości 765 metrów i kończący się w punkcie *C*, w którym rozpoczyna się linia prosta i pozioma 910 metrów długa a kończącą się w punkcie *D*.

W punkcie *B* stoi wagon ładowny, maszynista jadący od punktu *A* k_n punktowi *B* uderza w takowy parowozem tak silnie, iż wagon poczyną się toczyć w dół; przebiegnąwszy cały spadek zatrzymuje się dopiero na linii poziomej następującej bezpośrednio po spadku.

Dozorca wagonów zeznaje protokółarnie, że maszynista nie zwolniwszy znacznej prędkości jazdy, uderzył tak silnie o wagon, iż takowy skutkiem impetu stoczyć się musiał. Palacz stwierdza wprawdzie, iż maszynista widząc tarczę ostrzegającą przed wagonem na który najechał, odciał dopływ pary do wnętrza cylindrów, lecz zarazem utrzymuje, iż prędkość jazdy była tak znaczną, iż pomimo odcięcia pary i zahamowania tendra impet wystarczał, aby wagon zepchnął na spadek.

Maszynista utrzymuje, że jechał z umiarkowaną prędkością, że przerwał dopływ pary do wnętrza cylindrów w pobliżu tarczy ostrzegającej i że jednocześnie podał sygnał hamowania, na który palacz nie zwrócił uwagi. Twierdzi tedy, że niewykonanie rozkazu stało się powodem wypadku, nie zaś zbyt pospieszna jazda, jak to utrzymuje palacz, chcący zrzucić z siebie odpowiedzialność.

Wobec tak sprzecznych zeznań ważną jest rzeczą zbadać jak śpiesznie jechał maszynista, gdyż w takim tylko razie będzie można orzec, czy tenże przekroczył dozwoloną prędkość jazdy wynoszącą 9 metrów na sekundę.

Parowóz, który najechał na wagon ważył wraz z tendrem 45 tonn, zepchnięty zaś wagon 15 tonn. Tarcza ostrzegająca ustawioną była w odległości 306 metrów przed wagonem, a toczący się wagon zatrzymał się na poziomej następującej po spadku 0,007114 w odległości 910 metrów od końca takowego.

Jeżeli x oznacza prędkość biegu w metrach na sekundę w chwili, w której toczący się wagon opuszcza spadek i wchodzi na linię poziomą, a więc gdy znajduje się w punkcie *C*, to praca mechaniczna nagromadzona przez każdą tonnę ciężaru wagonu i zniweczona oporem ruchu w czasie jazdy po 910 metrów długiej drodze, wynosiła $51x^2$ kilogrametrów.

Toczący się wagon rozpoczął bieg swój po poziomej z prędkością x metrów na sekundę, zakończył zaś takowy przy prędkości zero, poruszał się więc ze średnią prędkością $\frac{x}{\sqrt{3}}$ metrów.

Opór jednostkowy wytwarzający się w czasie jazdy z prędkością $\frac{x}{\sqrt{3}}$ metrów na sekundę wynosi na każdą tonnę toczącego się wagonu $4 + \frac{x^2}{150}$ kilogramów, zaś mechaniczna praca, niezbędna do pokonania takowego w czasie biegu po 910 metrów długiej linii poziomej wynosi:

$$\left(4 + \frac{x^2}{150}\right) 910 \text{ kilogrametrów.}$$

Mamy przeto równanie

$$\left(4 + \frac{x^2}{150}\right) 910 = 51x^2$$

z którego otrzymujemy $x = 9$.

Ponieważ toczący się wagon dobiegł do końca spadku czyli do punktu *C* przy prędkości 9 metrów na sekundę, przeto bieg swój po tymże spadku musiał rozpocząć z prędkością mniejszą, aniżeli 9 metrów na sekundę.

Jeżeli x oznacza prędkość, z jaką wagon rozpoczął bieg swój po spadku, a prędkość w końcu spadku wynosi 9 metrów, to średnia prędkość biegu wagonu po spadku wyraża się przez:

$$\sqrt{\frac{9^2 + x^2 + 9x}{3}}$$

metrów, zaś opór ruchu odpowiadający powyższej średniej prędkości wynosi na każdą tonnę ciężaru wagonu

$$\left(4 + \frac{9^2 + x^2 + 9x}{150}\right) = a \text{ kilogramów.}$$

Ponieważ wagon toczy się po spadku wynoszącym 7,114 milimetrów na 1 metr poziomej długości, przeto opór ruchu spada do wartości $(7,114 - a)$ kilogramów, a praca potrzebna do zwalczania oporu podczas drogi 765 metrów wynosi $(7,114 - a) 765$ kilogrametrów.

Jeżeli początkowa prędkość biegu wynosząca x metrów zwiększając się dochodzi przy końcu spadku do wartości 9 metrów to każda tona ciężaru wagonu wytwarza pracę mechaniczną $51(9^2 - x^2)$ kilogrametrów, że zaś powyższą pracę strawił opór ruchu, przeto mamy równanie $(7,114 - a) 765 = 51(9^2 - x^2)$, z którego po podstawieniu wartości za a otrzymujemy $x = 6$ co oznacza, że w chwili rozpoczęcia biegu po spadku, a więc w punkcie *B* toczący się wagon posiadał prędkość wynoszącą 6 metrów na sekundę, że zatem parowóz, który na takowy najechał musiał biec z prędkością większą od tej ostatniej.

Nie trudno jest wykazać, o ile prędkość biegu parowozu przewyższała wartość 6 metrów na sekundę. I rzeczywiście jeżeli masa M obdarzona prędkością C uderza o masę m obdarzoną prędkością c , a v oznacza spólną ich prędkość po uderzeniu, to mieć będziemy: $v = \frac{MC + mc}{M + m}$, że zaś w obecnym przypadku $M = 45$ $m = 15$, $c = 0$, $v = 6$, przeto $C = 8$, co oznacza, że maszynista jechał z prędkością 8 metrów na sekundę.

Ponieważ największa dozwolona prędkość jazdy na linii wynosiła 9 metrów na sekundę, przeto wydawałoby się mogło, że maszynista takowej nie przekroczył.

W rzeczywistości jednakże tak nie jest, a powyższy rachunek wykazał tylko-
że parowóz wpadł na wagon przy prędkości biegu wynoszącej 8 metrów na sekundę.

Ponieważ maszynista, jak to stwierdza palacz, odciął dopływ pary w od-
ległości 326,11 metrów przed punktem uderzenia parowozu o wagon, przeto paro-
wóz przebiegał tę przestrzeń z prędkością niejednostajną.

W chwili mijania tarczy ostrzegającej prędkość biegu musiała być większą,
aniżeli 8 metrów na sekundę, skoro zmniejszając się podczas jazdy, posiadała przy
końcu biegu wartość 8 metrów.

Jeżeli x oznacza prędkość jazdy w chwili odcięcia dopływu pary do wnętrza
cylindrów, a prędkość ta spadała przy końcu 326,11 metrów długiej drogi do war-
tości 8 metrów, to parowóz biegł ze średnią prędkością

$$\sqrt{\frac{x^3 + 8^3 + 8x}{3}} \text{ metrów.}$$

Opór ruchu wynosił w takim razie $4 + \frac{x^3 + 8^3 + 8x}{150}$ kilogramów na
każdą tonnę ciężaru parowozu, a praca mechaniczna potrzebna do pokonania tako-
wego oporu w czasie jazdy po 326,11 metrów długiej drodze wynosi:

$$\left(4 + \frac{x^3 + 8^3 + 8x}{150}\right) 326,11 \text{ metrów.}$$

Ponieważ praca mechaniczna jednej tonny ciężaru, której prędkość spada
od wartości x do wartości 8 metrów wynosi $51(x^2 - 8^2)$ kilogrametrów, przeto
mamy równanie $326,11 \left(4 + \frac{x^3 + 8^3 + 8x}{150}\right) = 51(x^2 - 8^2)$,

z którego otrzymujemy $x = 10$.

Tak więc maszynista jechał po wolnej linii z prędkością 10 metrów na
sekundę, że zaś największa dozwolona prędkość jazdy wynosiła 9 metrów na se-
kundę, przeto maszynista jest winnym wypadku.