

Stąd widać, że drogi żelazne miały zyski tylko z ruchu towarowego, ruch zaś osobowy, rozpatrywany oddzielnie, przynosił straty, chociaż rozwój ruchu osobowego i rozwój ruchu towarowego pozostają niewątpliwie we wzajemnej zależności.

Przy projektowaniu drogi żelaznej kosztu budowy wynikają wprost z projektu i mogą być obrachowane dla danych warunków według kosztorysu, sporządzonego na podstawie projektu. Dla tego też przy obliczaniu przewidywanego rozchodu rocznego projektowanej drogi żelaznej w celu wyjaśnienia, o ile budowa jej będzie zyskowna, średnie dane, odnoszące się do innych dróg żelaznych, służą zwykle do określenia tylko tej części rocznego rozchodu, która obejmuje wydatki na eksploatację. Dane zaś, dotyczące średniej wielkości całkowitego rozchodu rocznego, w szczególności zaś tej jego części, która jest zależna od ruchu, znajdują zastosowanie w rozdziale następnym przy określaniu względnej zyskowności rozmaitych kierunków linii kolejowej.

## ROZDZIAŁ V.

### Warunki techniczne projektowania dróg żelaznych parowozowych.

Przy projektowaniu drogi żelaznej należy mieć stale na uwadze, ażeby budowa jej możliwie najlepiej czyniła zadość potrzebom przyszłej eksploatacji. Cel ten winien być osiągnięty najmniejszym kosztem z zachowaniem warunków, zabezpieczających stateczność budowli i bezpieczeństwo ruchu.

Dla wyjaśnienia, jakimi względami należy się kierować przy przeprowadzeniu linii kolejowej, należy rozpatrzyć głównie wpływ na eksploatację kształtu linii i rozmieszczenia stacji i wodociągów oraz warunki najkorzystniejszego ustroju budowy spodniej, zabezpieczenia jego stałości i należytego przejścia rzek i dróg zwykłych.

1. Kształt linii kolejowej w przekroju podłużnym. Wzniesienie miarodajne. Stosunek ciężaru pociągu i parowozu. Wzniesienia przebiegane z rozpędu. Zmniejszenie pochylenia miarodajnego w tunelach. Wzniesienia miarodajne niejednakowe w obu kierunkach jazdy. Trakcja podwójna i pchanie pociągów. Pochylenia nieszkodliwe i szkodliwe. Wysokość wzniesienia ciągłego. Strata wzniesienia. Zaokrąglenie załomów przekroju.

W rozdziałach IV i VI działu II-go rozpatrzono szczegółowo wpływ pochylenia i krzywizny toru na opór pociągu oraz zależność między składem pociągu, szybkością ruchu i przekrojem linii kolejowej. Z tego, co tam było powiedziane, wynika, że pochylenie i krzywizna toru kolejowego wywierają bardzo znaczny wpływ na pracę parowozów i że dla danego składu pociągu szybkość jazdy zależna jest od kształtu linii kolejowej. Jeżeli więc szybkość ta jest dana, to skład pociągu powinien zależeć od największego pochylenia i najostrejszej krzywizny linii. Tym sposobem pochylenia i łuki toru kolejowego mają ważne znaczenie dla eksploatacji głównie z dwójakiego względu, mianowicie ponieważ ograniczają skład pociągów i określają pracę siły pociągowej.

Bardzo ważne jest dla eksploatacji, ażeby zapomocą pewnego typu parowozów można było prowadzić pociągi w jaknajwiększym składzie, a to nie tylko ze względu, że, jak wiadomo, bardzo znaczna część wydatków eksploatacji pozostaje w bezpośredniej zależności od ilości pociągów, lecz i dlatego, że ilość pociągów, które można przepuścić przez pewną linię kolejową, jest oczywiście ograniczona, a więc skład pociągu ogranicza również ilość przewozów, jaką można skutecznie przy danym urządzeniu drogi żelaznej.

Po wybudowaniu linii kolejowej, zmiany jej kształtu w przekroju poprzecznym i w planie przedstawiają wielkie trudności. Dlatego też wpływ, jaki wywiera kształt linii kolejowej na jej eksploatację, winien być szczegółowo zbadany.

Jak ważne znaczenie dla eksploatacji posiada krańcowe pochylenie linii, sądzić można z olbrzymich kosztów, jakie bywają niekiedy ponoszone w celu jego zmniejszenia. Tak np. odchylenie linii na drodze żelaznej Mikołajewskiej przy przecięciu rzeczki Werebji w celu zmiany pochyłości  $7,8^{\circ}/_{00}$ , która ciągnęła się na długości 16 km, na mniej stromą  $6^{\circ}/_{00}$ , przerywaną poziomami, wymagało wydłużenia linii kolejowej o 5 km i kosztowało 13 milionów złotych. Objeście górskiej przełęczy Suramskiej na dr. żel. Zakaukaskiej zmniejszyło pochylenie linii do  $28^{\circ}/_{00}$ , gdy przedtem wynosiło ono  $48^{\circ}/_{00}$ . W tym celu musiało zbudować tunel, który kosztował wraz z dojazdami około 15 milionów złotych.

Pod wzniesieniem krańcowem  $i_1$ , które ma być brane w rachubę przy obliczaniu składu pociągu i z tego powodu zowie się *wzniesieniem miarodajnem*, należy rozumieć największą sumę  $i_1 = i + c$ , jeżeli  $i$  oznacza największe wzniesienie rzeczywiste,  $c$  zaś opór na jednostkę ciężaru pociągu wskutek łuku przypadającego na tem wzniesieniu.

Wynika stąd, że największe wzniesienie rzeczywiste, przyjęte na danej linii, winno być na łukach łagodzone o wartość dodatkowego oporu wskutek krzywizny.

Jeżeli  $L$  jest ciężar parowozu z tendrem,  $Q$  ciężar pociągu,  $w$  zaś opór pociągu na prostej poziomej w  $kg/t$ , to niezbędna siła pociągowa:

$$Z_{max} = zL = (L + Q)(w + i_1) \dots \dots \dots (75)$$

stąd:

$$Q = \frac{z - w - i_1}{w + i_1} \cdot L \dots \dots \dots (76)$$

Jak wiadomo, współczynnik sprawności parowozu o parze nasyconej  $z$  wyraża się w przybliżeniu:

$$z = \frac{0,5}{v_{min}} \dots \dots \dots (15a)$$

Jeżeli przyjmiemy  $v_{min} = 5 \text{ m/sec}$  ( $18 \text{ km/godz}$ ), to  $z = 0,1$ . Opór pociągu na prostej poziomej można przyjąć z pewnym zapasem  $w = 0,004$  na jednostkę ciężaru pociągu.

Jeżeli wyrazimy  $Q$  i  $L$  w  $t$ ,  $z$  i  $w$  w  $kg/t$ , zaś  $i_1$  w tysięcznych częściach, to otrzymamy z równania (76):

$$\frac{Q}{L} = \frac{100 - 4 - i_1}{4 + i_1} = \frac{96 - i_1}{4 + i_1} \quad (77)$$

Przybliżone wyniki, otrzymane z wzoru (77), pokazane są na wykresie (rys. 86). Jak widać z tego wykresu, w miarę zwiększania się wzniesienia ciężar pociągu, szczególnie w początku przy małych wzniesieniach, bardzo szybko się zmniejsza. Stosunek ciężaru pociągu do ciężaru parowozu z tendrem dochodzi przy wzniesieniu  $5\text{‰}$  do 10,1, a przy wzniesieniu  $25\text{‰}$  wynosi nie więcej jak 2,4. Gdy wzniesienie wynosi  $46\text{‰}$ , ciężar pociągu otrzymuje się nie większy od ciężaru samego parowozu. Dla parowozu o parze przegrzanej, którego współczynnik sprawności wyraża się przybliżonym wzorem:

$$z = \frac{0,7}{v_{min}} \quad (15b)$$

stosunek  $Q:L$  według wzoru (77) otrzymuje się przy małych wzniesieniach o  $42\text{‰}$ , przy  $20\text{‰}$  i  $25\text{‰}$ , o  $50\text{‰}$  do  $60\text{‰}$  większy, niż dla parowozu o parze nasyconej. Największe wzniesienie, po którym możliwy jest jeszcze ruch samego parowozu bez pociągu, wynosi  $96\text{‰}$  przy parze nasyconej i  $136\text{‰}$  przy parze przegrzanej <sup>1)</sup>.

Doświadczenie wykazało, że dla dróg żelaznych górskich pierwszorzędного znaczenia nie należy wogóle dopuszczać pochyłości większych niż  $25\text{‰}$ . Na dr. żel. Arlberskiej, na której istnieją długie  $30\text{‰}$  pochyłości, klocki hamulcowe z żelaza lanego często zużywają się już po jednorazowym zjechaniu w dolinę i muszą być zmieniane, co jest wielce uciążliwe dla eksploatacji. Oczywiście, że na drogach żelaznych, znajdujących się w mniej trudnych warunkach terenu, na których przytem przewidywana jest duża ilość przewozu, jest do życzenia, aby skład pociągu przy danej szybkości był możliwie większy, a więc krańcowe pochylenie możliwie mniejsze.

<sup>1)</sup> Jest to zgodne z warunkiem, aby składowa ciężaru parowozu z tendrem, równoległa do toru, nie była większa od przyczepności kół napędnych do szyn. Przyjmując w najgorszych warunkach współczynnik przyczepności koła do szyny  $f = 1/10$  do  $1/7$  widzimy, że parowóz tendrowy, którego wszystkie osie są sprzężone, nie może wznosić się po pochyłości większej jak  $100\text{‰}$  do  $140\text{‰}$ , choćby nawet moc silnika parowozowego była dostateczna. Na wzniesieniach mniejszych od tej granicy zalety parowozów o parze przegrzanej pod względem składu pociągu występują tem jaskrawiej, im wzniesienie miarodajne jest większe.

Przepisy polskie nie określają największego pochylenia, jakie może być dopuszczone na drogach żelaznych znaczenia ogólnego. Zastrzega się tylko (P. T. O.), że winno być ono ustalone odpowiednio do wymagań ruchu przewozowego oraz warunków terenu. Na drogach żelaznych znaczenia miejscowego (P. T. M.) pochylenie nie powinno być większe jak  $40^0/00$ , z wyjątkiem trakcji elektrycznej, przy której może być dopuszczone do  $70^0/00$ . Na drogach żelaznych zębnicowych pochylenie nie powinno być większe jak  $100^0/00$ , jeżeli po nich ma przechodzić tabor dróg żelaznych pierwszorzędnych, w innych zaś wypadkach nie powinno być większe jak  $250^0/00$ .

Według przepisów niemieckich (B. O.), pochylenia podłużne na drogach żelaznych pierwszorzędnych nie mogą być większe jak  $25^0/00$ , pochylenia zaś bardziej strome niż  $12\frac{1}{2}^0/00$  mogą być stosowane tylko za pozwoleniem ministerjum. Na drogach żelaznych drugorzędnych, również jak na drogach żelaznych znaczenia miejscowego (Gz.), pochylenia winny być nie większe jak  $40^0/00$ .

W pewnych razach dopuszczane bywa na krótkich odległościach *wzniesienie* większe niż miarodajne, licząc, że będzie *przebiegane siłą rozpędu*. Przypuśćmy, że na początku wzniesienia  $i'_1$  o długości  $l$ , większego niż wzniesienie miarodajne  $i_1$ , pociąg posiada szybkość  $v$ , większą od najmniejszej szybkości dopuszczalnej  $v_{min}$ . Praca dodatkowego oporu  $h = (i'_1 - i_1)l$  na jednostkę ciężaru pociągu ponad pracę, odpowiadającą mocy parowozu, może być wykonana kosztem jego energii kinetycznej, o ile będzie spełniony warunek:

$$\frac{\alpha(v^2 - v_{min}^2)}{2g} \geq (i'_1 - i_1) l \quad (78)$$

skąd

$$l \leq \frac{\alpha(v^2 - v_{min}^2)}{2g(i'_1 - i_1)} \quad (79)$$

We wzorach (78) i (79) nie brano w rachubę zmniejszania się oporu pociągu w miarę zmieniania się szybkości od  $v$  do  $v_{min}$ , co oczywiście daje pewien zapas przy określaniu największej długości  $l$ . Współczynnik  $\alpha$  wyraża zwiększenie bezwładności pociągu, pochodzące wskutek ruchu obrotowego kół (patrz str. 46).

Tak więc parowóz może przewycięzać z rozpędu krótkie wzniesienia nieco większe od miarodajnego, o ile są tak rozmieszczone, że parowóz, zbliżając się do nich, może rozwinąć dostateczną szybkość, t. j. o ile wzniesienia te nie są położone przy wyjeździe ze stacji, nie następują po innym wzniesieniu i t. p.

Jeżeli szybkość pociągu towarowego na początku wzniesienia przyjmiemy  $v = 30 \text{ km/godz.}$ , najmniejszą zaś szybkość w końcu wzniesienia dopuścimy  $v_{min} = 15 \text{ km/godz.}$ , to wysokość wzniesienia może być zwiększona ponad wysokość, odpowiadającą wzniesieniu miarodajnemu, o wielkość:

$$h = (i'_1 - i_1)l = \frac{1,06(30^2 - 15^2)}{3,6^2 \times 2 \times 9,81} = 2,82 \text{ m,}$$

t. j. wzniesienie miarodajne może być zwiększone np. o  $2^0/00$ , jeżeli długość jego nie jest większa jak  $2,82 : 0,002 = 1410 \text{ m}$ .

Oczywiście, że energia kinetyczna pociągów, przebiegających z większą szybkością, będzie na jednostkę ich ciężaru większa niż pociągów towarowych, wskutek czego tego rodzaju wzniesienia będą dla nich mniej uciążliwe.

Ponieważ nie można mieć zupełnej pewności, że szybkość pociągu na początku wzniesienia nie będzie z przyczyn przypadkowych mniejsza od tej, jaka była przyjęta do obliczenia, przeto rozpęd pociągu rzadko przyjmuje się pod uwagę i zwykle wszystkie wzniesienia projektuje się nie większe od miarodajnego.

W tunelach (zwłaszcza długich) przyczepność między kołem a szyną zmniejsza się wskutek stałego zawilgocenia szyn. W zależności od tego niezbędne jest odpowiednie *zmniejszenie pochylenia krańcowego w tunelach*. Dla jednego i tego samego parowozu największa siła pociągowa, obliczona według przyczepności kół, będzie proporcjonalna do współczynnika przyczepności, który niech będzie na zewnątrz tunelów  $f$ , w tunelach zaś  $f'$ . Ponieważ siła pociągowa winna odpowiadać oporowi pociągu, więc oznaczając przez  $i_1$  wzniesienie krańcowe (miarodajne) nazewną tunelów i  $i'_1$  w tunelach, otrzymamy:

$$\frac{w + i'_1}{w + i_1} = \frac{f'}{f} \dots \dots \dots (80)$$

skąd

$$i'_1 = i_1 \frac{f'}{f} - w \left( 1 - \frac{f'}{f} \right) \dots \dots \dots (81)$$

Przyjmując  $f' = \frac{1}{10}$ ,  $f = \frac{1}{4}$ ,  $w = 4\%$ , otrzymamy:

$$i'_1 = 0,7 i_1 - 1,2 \dots \dots \dots (82)$$

Stąd, gdy np.  $i_1 = 20\%$ , to  $i'_1 = 12,8\%$ .

Według przepisów obowiązujących na polskich drogach żelaznych (P. T. O.), pochylenia w tunelach winny wynosić nie więcej jak 0,7 pochylenia miarodajnego, przyjętego poza tunelami.

Jeżeli na projektowanej linii kolejowej oczekiwany jest *ruch towarowy niejednakowy w obu kierunkach*, to wzniesienie miarodajne może być dla każdego kierunku inne. Przypuszczając, że pociągi będą przebiegać w obu kierunkach w jednakowym składzie, lecz z niejednakowym ładunkiem, i oznaczając przez  $T$  ciężar własny pociągu próżnego, przez  $G$  i  $i_1$  jego ładunek i wzniesienie miarodajne w kierunku przeważającego ruchu towarowego, przez  $G'$  zaś i  $i'_1$  w kierunku odwrotnym, możemy określić wzniesienie miarodajne w tym ostatnim kierunku z równania:

$$(w' + i'_1) (T + G') \leq (w + i_1) (T + G) \dots \dots \dots (83)$$

Oznaczając  $\frac{T + G}{T + G'} = \chi$  otrzymamy, że:

$$i'_1 \leq (w + i_1) \chi - w' \dots \dots \dots (84)$$

*Zmiana składu pociągów w punktach przejścia pomiędzy odcinkami linii o różnym wzniesieniu miarodajnym, wymagająca przetaczania wagonów w celu zgrupowania ich w nowe jednostki, powoduje duże niedogodności i zwiększa*



koszta eksploatacji, również jak zastosowanie parowozów o niejednakowej sile pociągowej, a więc rozmaitych typów. Z tych względów wskazane jest zachowanie jednakowego wzniesienia miarodajnego na całej długości linii kolejowej, po której odbywa się ruch masowy w komunikacji bezpośredniej.

Jednakże w pewnych wypadkach może okazać się korzystnym podzielenie projektowanej linii kolejowej na *szlaki o różnym wzniesieniu miarodajnym*. Naprzykład, jeżeli droga żelazna przeprowadzona jest na znacznej długości w miejscowości równej i tylko na niewielkiej części jej długości napotyka się układ terenu, nie pozwalający na zachowanie tegoż samego wzniesienia miarodajnego, co na pozostałej długości, lub wymagający do urzeczywistnienia tego wzniesienia zbyt wielkich kosztów (jak to się często zdarza na szlakach górskich), to może stać się koniecznym wyodrębnić eksploatacji szlaku o większym wzniesieniu miarodajnym i zmniejszenie na nim składu pociągów lub zastosowanie silniejszych parowozów lub większej ich ilości, t. j. dwu lub więcej parowozów w pociągu.

Jeżeli ruch jest duży, to nawet na liniach o łagodnych wzniesieniach stosowane są silne typy parowozów w celu osiągnięcia jaknajwiększego składu pociągów. Z tego powodu na krótkich odcinkach, posiadających strome wzniesienia, stosuje się często trakcja podwójna lub popychanie pociągów zapomocą parowozów dodatkowych.

*Trakcja podwójna* nie jest wogóle korzystna, gdyż siła parowozu dodatkowego nie może być całkowicie wyzyskana. Przytem możność zastosowania trakcji podwójnej ogranicza wytrzymałość sprzęgieł. Na polskich drogach żelaznych sprzęgła nowego wzmocnionego typu obliczone są na siłę pociągową 15 t; jednakże przeważna część taboru posiada jeszcze sprzęgła typów dawniejszych, obliczone na siłę pociągową 12 t, w których naprężenie materiału przy sile pociągowej 24 t dochodzi już do granicy sprężystości. Obciążenie na oś napędną parowozów towarowych dochodzi do 17 t, a więc już pojedynczy parowóz o czterech osiach sprzężonych może dać siłę pociągową, wynoszącą nieco więcej niż 12 t. Sprawia to, że trakcja podwójna stosowana bywa przeważnie przy słabych parowozach lub w pociągach osobowych.

*Parowóz popychający* często nie dochodzi z pociągiem do następnej stacji, lecz po dopchnięciu pociągu do szczytu wzniesienia powraca nazad. W tym przypadku nie zczepia go się z pociągiem. Według przepisów ruchu, szybkość pociągów ciągnionych i popychanych nie powinna wynosić więcej jak 50 km/godz.

Parowozy dostawione rzadko mogą być wyzyskane w obu kierunkach, przebieg ich zaś luzem powoduje kosztą i zmniejsza zdolność przepustową linii.

Dopuszczając pochyłości wyjątkowo strome na linii kolejowej, mającej wogóle łagodny przekrój, należy starać się, ażeby były one skupione na jaknajkrótszej długości. Gdyby takie pochyłości były rozrzucone w różnych punktach linii kolejowej, to ze względu, że częsta zmiana składu pociągów lub parowozów byłaby zbyt uciążliwa, wypadłoby przyjąć jednakowe wzniesienie miarodajne dla całej linii i utrzymywać jednaki skład pociągów odpowiednio do tego wzniesienia, co byłoby oczywiście wielce niekorzystne.

*Pochylenia mniejsze od miarodajnego* wywierają niejednakowy wpływ na pracę siły pociągowej stosownie do tego, czy są one mniejsze lub większe od współczynnika oporu pociągu na poziomej.

Jeżeli pociąg biegnie równomiernie pod górę po wzniesieniu  $i$  o długości  $l$ , którego wielkość nie przewyższa współczynnika oporu  $w$  na prostej poziomej, to praca siły pociągowej wynosi:

$$Z_1 l = (L + Q) (w + i) l$$

przy ruchu zaś odwrotnym ku dołowi, gdy opór pociągu na jednostkę jego ciężaru  $w - i > 0$ , praca siły pociągowej parowozu będzie:

$$Z_2 l = (L + Q) (w - i) l.$$

Jeżeli ciężar pociągów, biegnących w jednym i w drugim kierunku, jest jednaki, to średnia praca siły pociągowej parowozu będzie:

$$Zl = \frac{(Z_1 + Z_2) l}{2} = (L + Q) w l \dots \dots \dots (85)$$

to jest będzie takąż sama, jak na poziomej. Pochylenia, których wielkość jest mniejsza od współczynnika oporu  $w$  i które wskutek tego nie zwiększają pracy siły pociągowej parowozu, zowią się *pochyleniami nieszkodliwymi*.

Granica pochylenia nieszkodliwego jest tem wyższa, im większy jest stały opór pociągu, jednakowo ujawniający się podczas jego biegu zarówno w jednym jak i w drugim kierunku. Ponieważ współczynnik oporu pociągu  $w$  zwiększa się wraz z szybkością, więc granica pochylenia nieszkodliwego jest wyższa dla pociągów osobowych niż dla towarowych.

Łuki w planie również powodują opór, którego wielkość nie zmienia się wraz ze zmianą kierunku ruchu. Z tego powodu na łukach granica pochylenia nieszkodliwego zwiększa się o wielkość tego oporu. Jeżeli łuk położony jest na pochyłości, współczynnik zaś dodatkowego oporu w łuku jest  $c$ , to, póki  $i \leq w + c$ , średnia praca siły pociągowej podczas ruchu tam i z powrotem pozostaje stałą i jest równa:

$$Zl = (L + Q) (w + c) l \dots \dots \dots (86)$$

Przeciwnie, *pochylenia*  $i > w + c$  są *szkodliwe*, bo podczas ruchu pod górę po wzniesieniu praca siły pociągowej:

$$Z_1 l = (L + Q) (w + c + i) l = (L + Q) \{ (w + c) l + h \} \dots \dots (87)$$

jeżeli  $h$  oznacza wysokość wzniesienia; w odwrotnym zaś kierunku pociąg, będąc w ruchu pod działaniem siły ciężkości, która przewyższa z nadmiarem jego opór, nabiera przyspieszenia i, aby prędkość jego nie przekroczyła dopuszczalnych granic, winien być hamowany. Praca siły pociągowej w drodze powrotnej  $Z_2 l = 0$ , a zatem średnia praca podczas ruchu tam i z powrotem:

$$Zl = \frac{Z_1 + Z_2}{2} l = (L + Q) \frac{(w + c) l + h}{2} \dots \dots \dots (88)$$

Jak widać, część pracy, spotrzebowanej podczas ruchu pod górę po wzniesieniu, równa  $(L + Q)(i - w - c)l$ , nie może być odzyskana, gdyż ją zużywają w drodze powrotnej hamulce, i z tego powodu średnia siła pociągowa wypada na szkodliwych pochyłościach większa niż na poziomej.

Jeżeli jednak spadek jest krótki, to choćby wielkość jego przewyższała współczynnik oporu pociągu na linii poziomej, nie potrzeba hamować pociągu, ponieważ on nie zdąży nabyć szybkości, przewyższającej szybkość krańcową. Jeżeli, na przykład, szybkość pociągu towarowego na początku spadku szkodliwego  $i$  wynosi 25 kilometrów na godzinę i największa szybkość dopuszczana normalnie wynosi 40 kilometrów na godzinę, to wysokość  $h$  spadku o długości  $l$ , na którym nie potrzeba hamować, będzie większa od tej, jakaby się otrzymała w razie spadku  $i'$  równego współczynnikowi oporu  $w + c$  na poziomej, o wielkość, która może być określona ze wzoru (78):

$$h = l(i - i') = \frac{1,06(40^2 - 25^2)}{3,6^2 \times 2 \times 9,81} = 4,07 \text{ m.}$$

Jak widać, pochyłości nie dłuższe od jednego kilometra, za którymi następują wzniesienia, poziome lub spadki mniejsze od współczynnika oporu na poziomej, mogą być uważane za nieszkodliwe, chociażby były o  $3^0/00$  do  $3^{1/2}/00$  większe od współczynnika oporu  $w + c$  na poziomej.

Praca parowozu jest szczególnie uciążliwa na długich i stromych wzniesieniach. Jak widać z równania (81) praca ta, o ile szybkość ruchu nie jest zbyt wielka, a zatem współczynnik  $w$  jest niewielki względnie do wzniesienia  $i$ , zależy przeważnie od wysokości  $h$  tegoż wzniesienia. Jeżeli ciężar pociągu jest dobrze obliczony i normalna wydajność pary w kotle jest dostateczna do podtrzymania na wzniesieniu odpowiedniej stałej szybkości, to *wysokość wzniesienia ciągłego* może wymagać ograniczenia tylko ze względu na zapas wody w parowozie i jego tendrze. Zasilanie kotła wodą, pompowaną z tendra, powinno być dokonywane równomiernie dla uniknięcia obniżenia ciśnienia pary w kotle. Jeżeli wysokość wzniesienia nie jest zbyt wielka i parowóz zaczyna wznosić się po nim, mając pełne ciśnienie pary w kotle i palenisko w porządku, to zapas wody w kotle gotowy do użycia (który w współczesnych typach parowozów wynosi zwykle około  $1 \text{ m}^3$  i wystarcza w przybliżeniu na  $1/6$  część godziny pracy parowozu pełną siłą), może nie być uzupełniany, i przyjąć można, że w tych warunkach moc parowozu może być zwiększona chwilowo w przybliżeniu do  $30\%$  ponad normalną stałą. Im większa jest wysokość wzniesienia, tem więcej można się obawiać, że z powodu niedoświadczenia maszynisty lub niedostatecznego obeznania się jego z przekrojem linii kolejowej, może nastąpić spadek ciśnienia pary w kotle, co znów może spowodować zmniejszenie się szybkości lub nawet zupełne zatrzymanie się pociągu.

W czasie ruchu w kierunku powrotnym ku dołowi, po długich i stromych spadkach, klocki hamulcowe szybko się zużywają i tak silnie się rozgrzewają, że okoliczność ta może mieć wpływ na dokładność działania hamulców. Z tego powodu należy dążyć do przedzielania długich wzniesień poziomami dla możliwości zatrzymywania na nich pociągów.



Przepisy polskie (zarówno jak niemieckie) nie stawiają ograniczeń co do największej wysokości wzniesienia ciągłego.

Według warunków technicznych budowy dróg żelaznych magistralnych w Rosji, w razie wzniesień większych niż  $2^0/00$ , ciągłych lub następujących jedno bezpośrednio po drugim, wysokość ogólna tych wzniesień nie powinna przewyższać 53,3 m. Na niektórych drogach żelaznych górskich (na Tyflisko-Karskiej, na szlaku górskim dr. żel. Środkowo-Syberyjskiej i in.) wysokość tę pozwolono doprowadzać do 85 m.

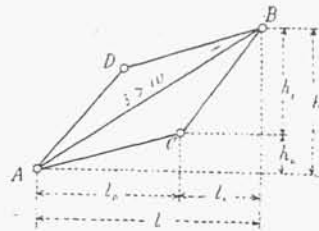
Na drogach żelaznych w Alpach, trafiają się wzniesienia ciągle daleko większej wysokości, dochodzącej na Semmering'u ( $25^0/00$ ) do 116 m, na dr. żel. Św. Gotarda ( $26^0/00$ ) do 193 m, na Arlberskiej ( $32^0/00$ ) do 143 m, na linii kolejowej Landquart-Davos ( $45^0/00$ ) do 332 m.

Dotychczas rozpatrywaliśmy wpływ na pracę parowozu rozmaitych pochyłeń branych z osobna. Jeżeli będziemy rozpatrywać ogólny wpływ na tę pracę kilku pochyłeń po sobie idących, to okaże się, że względna wielkość i wzajemne rozmieszczenie pochyłeń nie są również pozbawione znaczenia.

Jeżeli różnica wysokości dwóch punktów, połączonych linią kolejową, jest taka, że pochylenie tej linii  $i < w$ , to zastąpienie tego jednostajnego pochylenia przez pochylenie łamane, składające się z kilku pochyłeń dowolnego kierunku, o ile tylko wielkość każdego pochylenia będzie mniejsza od  $w$ , nie ma wpływu na średnią pracę parowozu, która, jak to już wykazano, pozostaje taka sama,



Rys. 87.



Rys. 88.

jak na poziomej. Jeżeli zaś różnica wysokości dwóch punktów  $A$  i  $B$  (rys. 87) jest taka, że łącząca je linia ma pochylenie szkodliwe  $i > w$ , to przyjąwszy zamiast tego pochylenia jednostajnego jakiekolwiek inne łamane  $ACB$ , z pochyleniami  $AC$  w odwrotnym kierunku, chociażby nawet nieszkodliwymi, zwiększymy pracę siły pociągowej wskutek straty  $h'$  w wysokości wzniesienia, już osiągniętej w punkcie  $A$ .

Zastąpienie jednostajnego pochylenia szkodliwego  $AB$  (rys. 88) pochyleniem łamanem  $ACB$  pociąga za sobą zwiększenie pracy siły pociągowej, t. j. stratę wzniesienia, nawet w razie, jeżeli przekrój łamany składa się z samych tylko wzniesień, o ile między nimi są i nieszkodliwe. W istocie, praca siły pociągowej na pochyleniu szkodliwym  $AB$  podczas ruchu tam i z powrotem równa się  $(L + Q) \frac{wl + h}{2}$ . Jeżeli zaś pochylenie  $AC$  jest nieszkodliwe, to także praca na wzniesieniach  $ACB$  będzie:

$$(L + Q) \left\{ wl_0 + \frac{wl_1 + h_1}{2} \right\} = (L + Q) \left\{ \frac{wl_0}{2} + \frac{wl_1 + h_1}{2} \right\} > (L + Q) \frac{wl + h}{2},$$

$$\text{gdyż} \quad \frac{wl_0}{2} > \frac{h_0}{2}.$$

Takież wynik otrzymamy, przyjąwszy zamiast pochylenia jednostajnego  $AB$  pochylenie łamane  $ADB$ , jeżeli pochylenie  $DB$  jest nieszkodliwe. Przeciwnie, jeżeli zamiast jednostajnego pochylenia szkodliwego przyjmiemy pochylenie łamane, składające się z pochyłeń szkodliwych tegoż samego kierunku, to praca siły pociągowej pozostanie bez zmiany.

Z tego, co powiedziano powyżej, okazuje się, że praca siły pociągowej będzie najmniejsza w przypadku, gdy przekrój podłużny linii kolejowej składać się będzie z pochyłeń wyłącznie nieszkodliwych. Obojętne jest przytem, czy to będą wzniesienia, czy spadki. Jeżeli zaś dla połączenia dwóch punktów konieczne jest zastosowanie pochyłeń szkodliwych, to dla uniknięcia straty wzniesienia, powodującej zwiększenie pracy parowozów, wszystkie pochylenia winny być szkodliwe i mieć jednakowy kierunek.

Praca parowozu jest najkorzystniejsza, gdy jego szybkość, a zatem i siła pociągowa, są możliwie stałe. Częste zmiany napełnienia cylindrów i otworu przepustnicy wpływają szkodliwie na rozchód paliwa i spokój jazdy. Wobec tego należy unikać częstych i silnych załamań przekroju podłużnego linii kolejowej i projektować ją o ile możności o pochyleniu jednostajnem. Silne i nagłe zmiany siły pociągowej mogą być przyczyną rozerwania pociągu, co szczególnie często trafia się przy przejściu ze stromego wzniesienia do poziomu albo do spadku. Natomiast w punktach przejścia ze spadku do poziomu lub do wzniesienia tylna część pociągu napiera na przednią, co znów może być przyczyną wykoślenia się pociągu. Nagłe *załamania przekroju podłużnego* linii kolejowej są szczególnie niebezpieczne, gdy zbiegają się z miejscami zmiany krzywizny linii kolejowej w planie.

Wobec powyżej przytoczonych okoliczności kąty, które tworzy linja kolejowa w przekroju podłużnym, powinny być zaokrąglone łukami możliwie dużego promienia. Pomiędzy pochyłościami, skierowanemi w odwrotne strony, pożądane jest urządzenie poziomów. Wreszcie załamania przekroju podłużnego nie powinny być urządzone w punktach przejścia od prostych do łuków, gdyż wyznaczenie i utrzymanie toru o podwójnej krzywiznie w przekroju podłużnym i planie byłoby trudne i wskutek tego przejście taboru w takich miejscach nie dość bezpieczne.

Według przepisów polskich (P. T. O.), na drogach żelaznych znaczenia ogólnego załomy przekroju podłużnego winny być zaokrąglone łukiem o promieniu nie mniejszym jak 10 000 m, w obrębie zaś stacyj i dojsć do nich łukiem o promieniu nie mniejszym jak 5 000 m. Długość poziomych lub łagodnie pochyłych wstawek pomiędzy stromemi a rozciągłemi pochyleniami, liczona łącznie z łukami zaokrąglenia załomów, winna być możliwie nie krótsza jak długość pełnoładownych pociągów. Na drogach żelaznych znaczenia miejscowego (P. T. M.) załamania przekroju podłużnego są dozwolone nie bliżej jak o 10 m od punktów przejścia od prostej do krzywej lub punktów przejścia pomiędzy dwiema krzywymi o różnych promieniach. Algebraiczna różnica dwóch sąsiednich pochyłeń nie ma przewyższać 0,01. Załamania przekroju podłużnego winny być zaokrąglone promieniem 5 000 m.

Według przepisów niemieckich (B. O.) załamania przekroju podłużnego w torach głównych winny być zaokrąglone łukiem o promieniu nie mniejszym jak 5 000 m; promień ten może być zmniejszony do 2 000 m na odcinkach prostych. Zastosowanie takiegoż promienia 2 000 m poleca się na drogach żelaznych znaczenia miejscowego (Gz.).

2. Kształt linii kolejowej w planie. Promienie łuków. Krzywe przejściowe i wstawki proste. Praca siły pociągowej na łukach. Pochylenie zastępcze linii kolejowej.

*Krańcowe wielkości promieni*, stosowane na drogach żelaznych rozmaitych typów, były podane już na str. 96 i 99. Pochylenie linii kolejowej, jakie dopuścić można w łuku o danym promieniu, określa się w zależności od wznieślenia miarodajnego. Krańcowe pochylenia winny być w łukach odpowiednio zmniejszane.

Według przepisów polskich (P. T. O.), w torach głównych należy stosować promienie łuków możliwie wielkie i nie mniejsze jak 300 m na drogach żelaznych pierwszorzędnych i 180 m na drugorzędnych. Na drogach żelaznych znaczenia miejscowego (P. T. M.) normalnotorowych, po których dozwala się przejazd parowozów dróg żelaznych pierwszorzędnych, promień łuków nie może być mniejszy jak 180 m; na drogach żelaznych, po których przechodzi wszelki inny tabor dróg żelaznych pierwszorzędnych i drugorzędnych, z wyjątkiem parowozów, promień łuków nie może być mniejszy jak 140 m, w innych zaś przypadkach nie mniejszy jak 100 m. Na drogach żelaznych wąskotorowych promień łuków w torach głównych nie może być mniejszy jak

100 m	przy szerokości toru	1000 mm
75 m	„	750 mm
60 m	„	600 mm

na stacjach zaś i bocznicach nie mniejszy jak

50 m	przy szerokości toru	1000 mm
40 m	„	750 mm
30 m	„	500 mm.

Mniejsze promienie mogą być stosowane nie inaczej jak z zezwolenia ministerjum kolei żelaznych.

Według przepisów niemieckich (B. O.), najmniejszy promień łuków w torach głównych dróg żelaznych pierwszorzędnych dopuszcza się 180 m, lecz promienie mniejsze niż 300 m mogą być zastosowane nie inaczej jak za zezwoleniem ministerjum. Na drogach żelaznych drugorzędnych (B. O.), o ile po nich przechodzi ma tabor dróg żelaznych pierwszorzędnych, promień łuków nie może być mniejszy jak 180 m, w innych przypadkach nie może być mniejszy jak 100 m. Na kolejkach wąskotorowych (Gz.) promień łuków winien wynosić conajmniej 50 m przy szerokości toru 1000 mm, 40 m przy 750 mm i 25 m przy 600 mm. Jeżeli tabor posiada urządzenia, ułatwiające przejście w ostrych łukach, to promienie łuków mogą być mniejsze. Poleca się nie przekraczanie następujących granic rozstawu sztywnego skrajnych osi parowozów w zależności od najmniejszych promieni łuków:

przy promieniach m	180	150	100	75	50	40	25
największy rozstaw osi m	3,2	2,9	2,3	2,0	1,6	1,5	1,1.

Rozstaw sztywny osi wagonów może być o 25% większy.