

metody podanej na str. 104 dla typowych pojazdów, jakie będą kursować na projektowanej drodze, a których ilość jest nam wiadoma, i założymy, że inne wydatki są dla wszystkich warjantów jednakowe, możemy w przybliżeniu obliczyć koszt ruchu R we wzorze $K = B + U + R$ dla poszczególnych warjantów, dodając do kosztu materiałów pędnych inne wydatki, jak koszt obsługi, smarów, opon i napraw bieżących.

b) Możemy również dojść do kosztu ruchu rocznego przez obliczenie czasu potrzebnego dla przebycia poszczególnych warjantów przez typowe pojazdy mechaniczne przeciętne (ciężarowe, autobusy, osobowe) i, mając obliczony koszt ruchu pojazdu w ciągu jednostki czasu, obliczyć koszt ruchu rocznego.

Czasami na wybór warjantów wpływa decydująco — przy ruchu przeważnie osobowym — ilość czasu potrzebnego na przebycie drogi, jeżeli chodzi o umożliwienie szybkiego ruchu osobowego i jego przyspieszenie.

Jeżeli na projektowanej drodze spodziewany jest ruch mieszany, należy osobno obliczyć koszt roczny ruchu konnego (R_k) i osobno koszt roczny ruchu pojazdów mechanicznych (R_m), ogólny koszt roczny ruchu $R = R_k + R_m$ na poszczególnych warjantach podstawiony do wzoru $K = B + U + R$ da nam możliwość porównania warjantów.

3. Opracowanie szczegółów przy projektowaniu dróg.

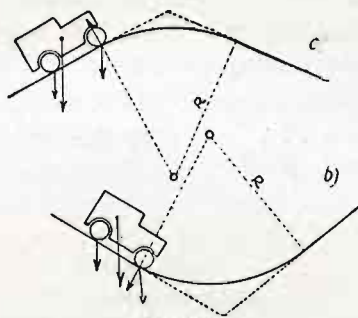
W wyżej podanych rozważaniach przy opracowaniu projektu wstępnego pominięte zostały zasady projektowania pewnych szczegółów, które w projekcie szczegółowym winny być uwzględnione. Na szczegóły te należy zwrócić uwagę bądź ze względu na ruch konny, bądź ze względu na ruch samochodowy, bądź ze względu na jeden i drugi rodzaj ruchu.

Wymieniamy je kolejno z uwagą, że nie wyczerpują one wszystkich, gdyż może się zdarzyć szereg innych szczegółów rzadziej trafiających się w praktyce.

Ł a g o d z e n i e z a ł a m a ń n i w e l e t y.

Jest potrzebne ze względu na szybki ruch pojazdów mechanicznych, w celu uniknięcia znacznych nieraz wahań pionowych resorów, powstających podczas przechodzenia kół po-

jazdów przez załamania niwelety: wahania te powstają w momencie, gdy przednie koła przejdą przez załamanie, a tylne znajdują przed załamaniem: następuje wtedy albo nagłe opuszczenie się przednich kół lub podniesienie, co wywołuje wahania pionowe całego puda.



Rys. 118.

Załamania mogą być wypukłe lub wklęsłe (rys. 118).

Złagodzenie załamania przy pomocy łuku koła lub paraboli jest konieczne na pewnej długości S przed punktem załamania niwelety. Długość S zależy od promienia łuku koła, jakim należy wykonać złagodzenie załamania niwelety, promień zaś koła zależy od tego, jakiej wielkości nagłą zmianę obciążeń (powiększenie lub zmniejszenie) bez szkody dla siebie wytrzymują resory szybkobieżnych samochodów.

Jeżeli samochód rozwija szybkość v , wtedy przy przejściu przednich kół samochodu na łuk łagodzący pionowy rozwija

się siła odśrodkowa $\frac{Q_p \cdot v^2}{g \cdot R}$,

gdzie Q_p — waga przednich kół samochodu

v m/sek. — szybkość samochodu

$g = 9,81$

R — promień łuku pionowego w m.

Gdy koła tylne jeszcze nie weszły na łuk pionowy, siły odśrodkowej na kołach tylnych niema.

Siła odśrodkowa w wypadku a (rys. 118) zmniejsza obciążenie Q_p w wypadku b — powiększa: i w jednym i w drugim wypadku wywołuje wahania pionowe resorów.

Praktyka daje nam stosunek nagłej zmiany obciążeń, przy którym wynikające wahania resorów jeszcze nie są szkodliwe ani niebezpieczne. Np., dla przeciętnych resorów można przyjąć za dopuszczalne nagłe wahania obciążeń dochodzące do $\pm 25\%$ obciążenia normalnego.

Jeżeli więc siła odśrodkowa dla przednich kół na łuku pionowym $= 0,25$ obciążenia przednich kół, wtedy wahania resorów nie są szkodliwe; mamy równanie

$$\frac{Q_p \cdot v^2}{g \cdot R} = 0,25 Q_p;$$

skąd

$$R = \frac{v^2}{0,25 \cdot 9,81} \quad (1)$$

Przy $v = 40 \text{ km/g} = 11,1 \text{ m/sek}$; $R = 50 \text{ m}$

$v = 60 \text{ km/g} = 16,7 \text{ m/sek}$; $R = 115 \text{ m}$

$v = 80 \text{ km/g} = 22,22 \text{ m/sek}$; $R = 200 \text{ m}$

$v = 100 \text{ km/g} = 27,77 \text{ m/sek}$; $R = 310 \text{ m}$

$v = 120 \text{ km/g} = 33,33 \text{ m/sek}$; $R = 450 \text{ m}$

Z tego przykładu widzimy, że ze względu na wstrząśnienia, jakim podlegają pojazdy, przebiegające z wielką szybkością przez załamania niwelety, należy stosować łuki o stosunkowo niewielkim promieniu w porównaniu do promieni, jakie stosować należy ze względu na widzialność pionową drogi.

Zastosowanie zamiast łuku koła łuku parabolicznego jest racjonalniejsze, gdyż przejście z prostej na łuk (pionowy) jest łagodniejsze.

Widzialność drogi zarówno boczna jak i pionowa.

Widzialność jest niezbędnym warunkiem dla dróg, na których odbywa się szybki ruch samochodowy i to bez względu, czy ruch na drodze jest mieszany, czy też wyłącznie samochodowy.

Niezbędna widzialność zarówno boczna jak pionowa zależy od długości, na której może być zahamowany pojazd jadący z maksymalną szybkością dopuszczalną na danej dro-

dze w danem jej miejscu. Na str. 108 mamy wzory (28) do obliczenia długości drogi hamowania. Według wzorów tych obliczamy długości hamowania samochodu osobowego, jako takiego, który na drogach porusza się z największą szybkością, przy następujących założeniach: $\mu = 0,5$ przy nawierzchni suchej i $\mu = 0,25$ przy nawierzchni mokrej, $\varphi = 0,02$, k według tablicy na str. 108; samochód osobowy posiada hamulce na wszystkich kołach.

Otrzymamy tablicę XXIII długości drogi hamowania przy rozmaitych szybkościach.

TABLICA XXIII.

Długości drogi hamowania w m.

Szybkość		Na wzniesieniu				Na odcinku poziomym		Na spadku			
		$s = 0,08$		$s = 0,04$		$s = 0,00$		$s = 0,04$		$s = 0,08$	
		$\mu = 0,5$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,25$
km/g	m/sek										
40	11,1	19	27	20	29	21	33	22	36	23	41
60	16,7	36	53	38	58	40	65	42	74	45	87
80	22,22	58	88	61	98	64	98	68	125	73	117
100	27,77	86	133	91	158	96	167	103	192	110	223
120	33,33	119	186	126	207	134	224	143	260	154	322

Długości podane w tablicy przy różnych szybkościach są miarodajne przy określaniu widzialności bocznej i pionowej.

Gdy mamy do czynienia z drogami ogólnego użytku, wąskimi i stosunkowo krętymi, praktykowana na tych drogach szybkość pojazdów mechanicznych jest znacznie mniejsza, niż na drogach służących wyłącznie dla ruchu samochodowego; dlatego też przyjmujemy w rachubę mniejsze szybkości — 40 — 60 — 75 km/godz. i dla nich — w przypuszczeniu gorszych warunków atmosferycznych (nawierzchnia mokra, $\mu = 0,25$) — obliczamy drogę hamowania; jednocześnie jednak, ze względu na wąskość dróg rozpatrujemy wypadki, gdy naprzeciwnie so-

bie jadą dwa pojazdy mechaniczne z pewną szybkością i jednocześnie hamują; aby zderzenie nie nastąpiło, długość drogi hamowania winna być pomiędzy dwoma jadącymi naprzeciwko siebie pojazdami dwa razy większa, niż obliczona w tablicy XXIII.

Gdy mamy określić widzialność na drogach specjalnie przeznaczonych dla ruchu samochodowego (autostradach), przypuszczamy, że pojazdy mechaniczne będą jechać w łukach ze znaczną szybkością 80 — 100 i nawet 120 km/godz, zawsze będą jechać po stronie właściwej i nie zajdzie wtedy potrzeba hamowania przed pojazdem, jadącym naprzeciwko z dużą szybkością; w tym wypadku należy hamować pojazdy jedynie z powodu przeszkód nieruchomych na drodze; za długość drogi hamowania bierzemy odległości określone w tabl. XXIII.

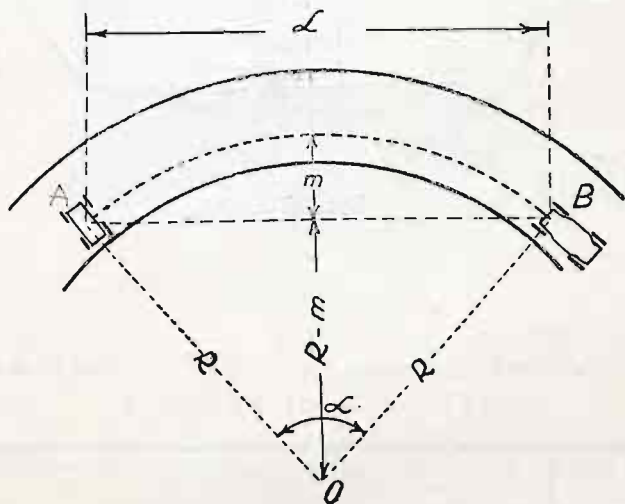
Widzialność boczna, t. j. widzialność na łukach polega na tem, że kierowcy pojazdów jadących naprzeciwko powinni zobaczyć się na odległości L równej podwójnej odległości drogi hamowania przy największej możliwej szybkości na danym łuku, aby móc zatrzymać swoje pojazdy przed zderzeniem — dla dróg zwykłych ogólnego użytku, lub też na tem dla dróg przeznaczonych wyłącznie dla ruchu samochodowego, że kierowca jadący z największą dopuszczalną szybkością (np. na autostradzie $v = 120$ km/godz) powinien zobaczyć na drodze nieruchomą przeszkodę przynajmniej na takiej odległości L , która wystarcza do zupełnego zatrzymania pojazdu przed przeszkodą (p. tabl. XXIII).

Aby nie nastąpiła katastrofa, niezbędne jest, aby kierowcy pojazdów mogli zauważyć się lub kierowca mógł zauważyć przeszkodę nieruchomą przynajmniej w odległości AB , odpowiadającej łukowi AB , którego długość wystarcza dla zupełnego zahamowania pojazdów jadących naprzeciwko sobie lub pojazdu przed nieruchomą przeszkodą.

Ponieważ AB stosunkowo mało będzie się różnić od długości łuku AB ; możemy w przybliżeniu przyjąć, że długość cięciwy $AB =$ długości łuku $AB =$ długości drogi niezbędnej dla zahamowania pojazdów lub pojazdu przy założeniu, że nawierzchnia jest mokra t. j., że $\mu = 0,25$, że samochód osobowy

ma hamulce na wszystkich kołach, jedzie z największą możliwą szybkością po stronie wewnętrznej łuku.

Aby widzialność była dostateczna, na odległości m (rys. 119) nic nie powinno przeszkadzać w zauważeniu kierowcy samochodu jadącego naprzeciwko lub leżącej na drodze przeszkody.



Rys. 119.

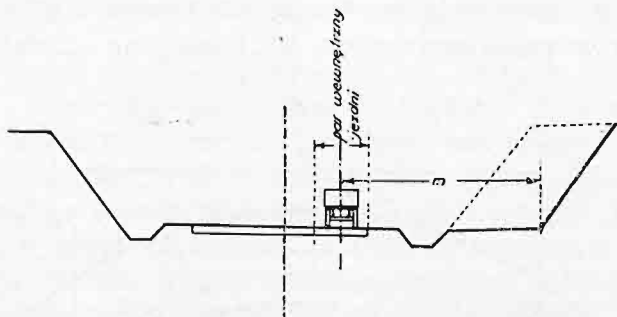
Ta odległość m może być wyrażona w sposób następujący:

$$m = R - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}, \quad (2)$$

Stąd wniosek, że na tej odległości muszą być na wewnętrznej stronie łuku usunięte wszystko, co przeszkadza widzialności, np. drzewa, parkany, skarpa wykopu i t. p.

Jeżeli np. droga przechodzi w wykopie, wykop po stronie wewnętrznej łuku winien być poszerzony tak, jak to jest wskazane na rys. 120 na odległość m od środka wewnętrznego pasa jezdni, po którym przebiega pojazd, jadący po wewnętrznej stronie jezdni.

Dla przykładu przytaczamy tablicę XXIV wartości m w różnych przypadkach ¹⁾.



Rys. 120.

TABLICA XXIV.

Wartości m w metrach dla określenia
widzialności bocznej.

Promień łuku m	Wartości m w m. dla widzialności bocznej na przestrzeni			
	50 m	100 m	200 m	300 m
30	13,40			
50	6,70	50,00		
100	3,20	13,40	100,00	
150	2,10	8,60	38,20	150,00
300	1,05	4,70	17,15	40,20
500	0,05	2,50	10,10	23,00

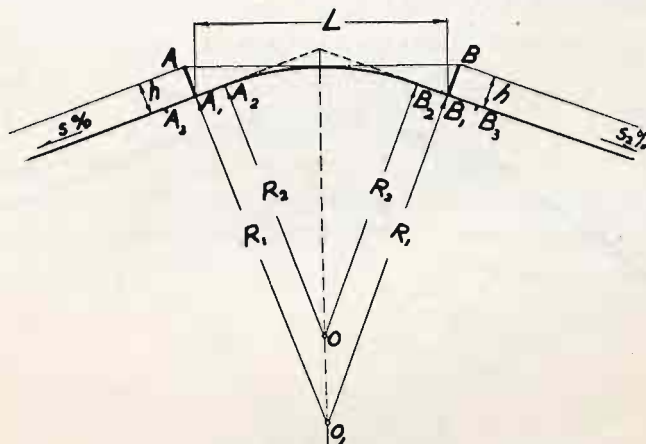
Widzialność pionowa. Nie mniej ważne jest zabezpieczenie widzialności pionowej przy załamaniach niwelety drogi.

Widzialność tę osiągnąć można przez zastosowanie odcinków drogi poziomych lub o małym pochyleniu, przedzielających

1) Strassenbau von A. Heeb nad A. Kölmel. 1934 r.

spadki odwrotne lub też przez połączenie spadków odwrotnych łukiem kołowym lub parabolicznym w płaszczyźnie pionowej.

Pierwszy sposób dla dróg, na których możemy spodziewać się znacznego ruchu samochodowego, nie nadaje się, gdyż załamania nagłe w płaszczyźnie pionowej wywołują nagłe wstrząsy pojazdów i przy większych szybkościach znaczne wahania resorów; w tych wypadkach należy przeto stosować łuki pionowe kołowe lub paraboliczne (rys. 121).



Rys. 121.

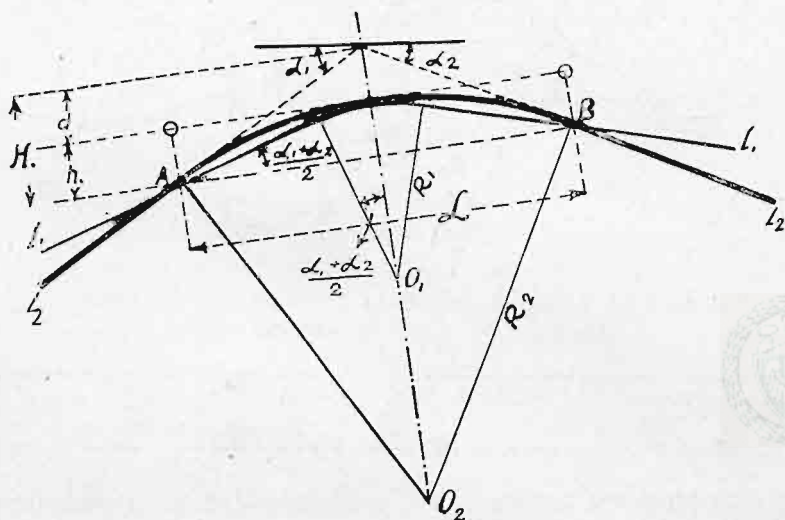
Łuk pionowy powinien być zatoczony takim promieniem R_1 lub R_2 , aby linia łącząca punkty A i B znajdujące się na poziomie oczu kierowców jadących naprzeciwko była równa długości L potrzebnej do zatrzymania tych pojazdów i uniknięcia zderzenia, bądź też potrzebnej do zatrzymania przed nieruchomą przeszkodą pojazdu jadącego z wielką szybkością. Łuk ten może zaczynać się w p.p. A_1 i B_1 (promień R_1), bądź też w p.p. A_2 i B_2 (promień R_2) — w zależności od długości niezbędnej L , wielkości wzniesień s_1 i s_2 i wysokości h ; mogą nawet łuki te w niektórych wypadkach zaczynać się w p.p. A_3 i B_3 leżących nazewnątrz A_1 B_1 .

Długość drogi hamowania obliczamy według wzoru (28) na str. 108 dla samochodu osobowego szybkobieżnego z hamulcami na 4 kołach;

$$L = \frac{v^2}{2g (\mu + \varphi \pm s)} + k.$$

Dla v podstawiamy wartość v_{\max} . możliwą dla danego typu drogi, np. dla drogi samochodowej (autostrady) od 80 do 120 km/godz., dla dróg ogólnego użytku o ruchu mieszanym od 40 do 80 km/godz. w zależności od rodzaju ruchu panującego na drodze i trasy, ilości łuków, wielkości promieni łuków i spadków i t. p.

Wzór dla obliczenia niezbędnego promienia pionowego dla uzyskania widzialności na długości L można wyprowadzić z rysunku 122 ¹⁾.



Rys. 122.

Wzór ogólny dla oznaczenia minimalnego promienia pionowego, który może być zastosowany zarówno w wypadku spadków odwrotnych (rys. 122), jak i w jedną stronę skierowanych:

$$R_1 = \frac{d \cdot \cos \left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right)}{1 - \cos \left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right)}, \quad (3)$$

1) Inż. St. Lenczewski-Samotyja. „Załamania niwelety w przekroju podłużnym drogi” Warszawa 1931 r.

w którym

$$d = \frac{L}{4} (s_1 + s_2) - h,$$

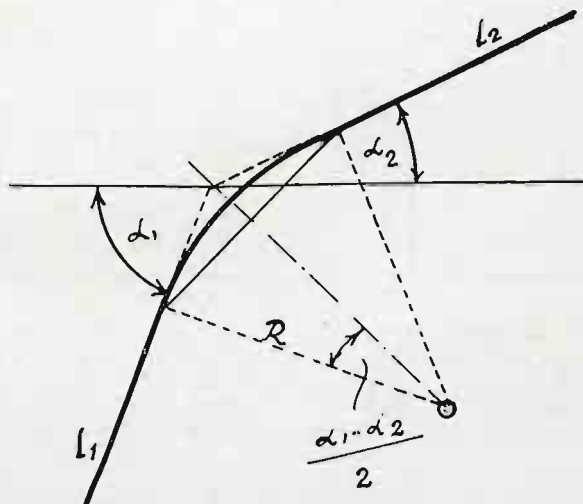
$$s_1 = \operatorname{tg} \alpha_1,$$

$$s_2 = \operatorname{tg} \alpha_2.$$

Wzór (3) został wyprowadzony w założeniu, że zaokrąglenie niwelety dla uzyskania widzialności na przestrzeni L zrobione jest na długości mniejszej niż L — przy promieniu R_1 ; dla promienia maksymalnego, przy którym zaokrąglenie niwelety będzie zrobione na całej przestrzeni L możemy wyprowadzić wzór:

$$R_2 = \frac{L^2}{8h} + \frac{h}{2}. \quad (4)$$

We wzorze (3) znak $+$ należy zastosować w wypadku spadków odwrotnych (rys. 122), znak $-$ dla spadków w jedną stronę skierowanych (rys. 123).



Rys. 123.

Dla ogólnej orientacji przytaczamy tablicę XXV, zestawioną przez inż. St. Lenczewskiego-Samotyję w wymienionej wyżej pracy, która daje nam możliwość wyboru odpowiedniego promienia, gdyż podane są w niej dla różnych wypadków wartości dla R_1 i R_2 ($= R_{\max.}$).

TABLICA XXV.

tg $n =$ $\frac{s_1 + s_2}{2}$	$v \quad \text{k m / g o d z.}$									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,005										
0,010									2000	5400
0,015								2165	5050	8550
0,020							1650	3750	6050	
0,025						893	2180	3810		
0,030					136	1228	2400			
0,035					450	1350				
0,040					615	1380				
0,045				98	675					
0,050				200	720					
0,055				256	730					
0,060				300						
0,065				324						
0,070			41	340						
0,075			69	349						
0,080			89	350						
0,085			103							
0,090			114							
0,095			125							
0,100			131							
				$R_{\max} = 351 \text{ m.}$	$R_{\max} = 736 \text{ m.}$	$R_{\max} = 1400 \text{ m.}$	$R_{\max} = 2440 \text{ m.}$	$R_{\max} = 3960 \text{ m.}$	$R_{\max} = 6100 \text{ m.}$	$R_{\max} = 9050 \text{ m.}$

Zamiast łuku kołowego lepiej jest zastosować zaokrąglenie w postaci łuku parabolicznego, gdyż wtedy przejście niwelety od prostej do krzywej jest łagodniejsze (rys. 124).

Z własności paraboli wynika, że $CD = ED = m$, z drugiej strony

$$2m = \frac{l}{2} \operatorname{tg} n, \quad \text{gdzie} \quad \operatorname{tg} n = \frac{s_1 + s_2}{2},$$

skąd

$$l = \frac{4m}{\operatorname{tg} n}.$$

Równanie paraboli

$$y^2 + 2px.$$

Wartość parametru p określimy z warunku, że przy $x = m$

$$y = \pm \frac{l}{2},$$

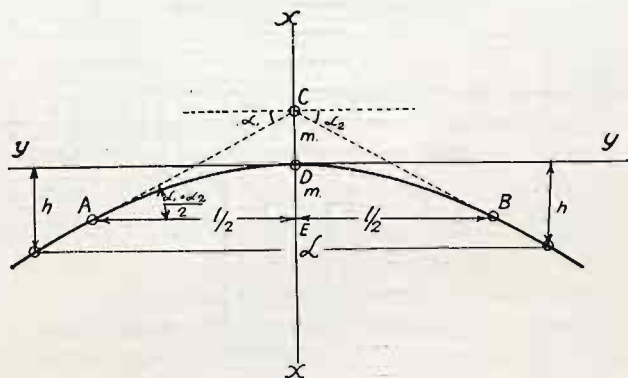
skąd

$$p = \frac{l^2}{8m} = \frac{2m}{\operatorname{tg}^2 n}.$$

Równanie paraboli przedstawi się w formie

$$y^2 = \frac{4mx}{\operatorname{tg}^2 n} = \frac{4mx}{\left(\frac{s_1 + s_2}{2}\right)^2}.$$

Znak (+) odnosi się do wypadku przedstawionego na rys. 124 spadków odwrotnych, zaś (—) do wypadku spadków skierowanych w jedną stronę.



Rys. 124.

Widzialność drogi będzie miała miejsce, gdy

$$m \leq h \text{ i } l \leq L.$$

Gdy $x = h$ i $l = L$ równanie paraboli

$$y^2 = \frac{L^2}{4h} x.$$

Będziemy w tym wypadku mieć wypadek analogiczny do wypadku przy ustalaniu promienia łuku kołowego R_2 ($R_{\max.}$).

Tablica XXVI¹⁾ daje nam wartości elementów łuków paraboli przy różnych założeniach.

1) Inż. Lenczewski-Samotyja. „O załamaniach niwelety w przekroju podłużnym drogi“, str. 20 i 21.

TABLICA XXVI.

tg n	m mtr l mtr	v km/godz.									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,005	m										
	l										
0,010	m									0,01	0,27
	l									4	108
0,015	m								0,26	0,61	1,01
	l								69	163	269
0,020	m							0,33	0,75	1,20	1,81
	l							66	150	244	362
0,025	m						0,29	0,71	1,20	1,98	2,94
	l						46	114	198	312	463
0,030	m					0,06	0,59	1,09	1,74	2,68	3,98
	l					8	72	145	235	362	538
0,035	m					0,27	0,88	1,46	2,38	3,66	5,43
	l					31	95	169	275	423	628
0,040	m					0,48	1,17	1,90	3,09	4,76	7,05
	l					48	112	193	313	482	715
0,045	m				0,10	0,69	1,43	2,49	4,04	6,22	9,24
	l				9	61	126	220	358	552	818
0,050	m				0,25	0,90	1,75	3,05	4,95	7,63	11,30
	l				20	72	140	244	397	610	906
0,055	m				0,39	1,11	2,13	3,71	6,02	9,28	13,77
	l				25	81	155	269	437	674	1000
0,060	m				0,54	1,33	2,53	4,39	7,13	11,00	16,30
	l				36	88	169	293	476	732	1088
0,065	m				0,68	1,55	2,95	5,13	8,32	12,82	19,02
	l				42	95	182	317	513	790	1215
0,070	m			0,10	0,83	1,80	3,42	5,96	9,67	14,91	22,15
	l			6	47	103	196	338	553	853	1268
0,075	m			0,19	0,97	2,05	3,90	6,78	11,03	17,00	25,20
	l			10	52	110	209	364	592	910	1352
0,080	m			0,28	1,12	2,34	4,45	7,75	12,59	19,38	28,80
	l			14	56	117	223	389	632	972	1446
0,085	m			0,37	1,26	2,64	5,04	8,75	14,22	21,90	32,50
	l			17	59	125	238	413	672	1035	1538
0,090	m			0,46	1,43	2,99	5,70	9,90	16,11	24,90	36,80
	l			20	63	133	253	440	715	1100	1634
0,095	m			0,56	1,57	3,30	6,28	10,92	17,76	27,30	40,60
	l			24	66	139	266	460	752	11,54	1718
0,100	m			0,65	1,75	3,67	6,98	12,16	19,70	30,40	45,00
	l			26	70	147	280	486	790	1218	1810

Na podstawie powyższych tablic widzimy, że im większa jest potrzebna widzialność (dług. L), tem większe promienie łuków lub więcej płaskie łuki paraboliczne winny być stosowane.

W każdym razie są one znacznie więcej płaskie niż łuki, jakie są wymagane ze względu na potrzebne zaokrąglenia załamania niwelety dla uniknięcia większych wahań pionowych resorów (p. str. 250 i nast).

Projektowanie dróg w łukach.

Inne wymagania ma co do projektowania dróg w łukach ruch konny, inne wymagania — ruch pojazdów mechanicznych.

Ruch pojazdów konnych odbywający się z szybkością stosunkowo nieznaczną (10 — 15 km/godz) wymaga: 1) stosowania promieni łuków kołowych nie niżej pewnego minimum — w zależności od rodzaju pojazdów i 2) poszerzenia szerokości jezdni przy promieniach mniejszych.

Co do przekroju poprzecznego w łukach, to ten może być taki sam (dwuspadkowy) jak w odcinku prostym.

Jeżeli więc droga ma służyć dla ruchu o przeważającym ruchu konnym (drogi znaczenia miejscowego w krajach rolniczych), najmniejszy dopuszczalny promień łuku może wynosić nawet 6 — 8 m, o ile na drodze nie przewiduje się przewożenia długich kłoców drzewa. O ile przewiduje się przewóz długich kłoców drzewa, np. długości 30 m, najmniejszy dopuszczalny promień łuku wynosić winien przynajmniej 40 m, jeżeli stosowany będzie tylko przedni skręt (na drogach ważniejszych) i 20 m przy stosowaniu przedniego i tylnego skrętu (na drogach podrzędnych), na których może być dopuszczone takie skrępowanie ruchu.

Poszerzenia w łukach. Co do poszerzenia drogi w łukach dla ruchu konnego, dla jezdni jednotorowej całkowita szerokość jezdni w łuku [str. 40, wzór (5)] wyniesie

$$b = s + \sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha}\right)^2 + d^2} - l \cotg \alpha + 2 \cdot 0,20;$$

ponieważ w odcinku prostym szerokość jednotorowej jezdni

wynosić powinna $b_d = s + 2 \cdot 0,20$, przeto poszerzenie e wynosić będzie

$$e = b - b_p = \sqrt{\left(\frac{l}{\sin \alpha}\right)^2 + d^2} - l \cotg \alpha;$$

zależne jest ono, jak widzimy, od rozstawienia osi pojazdu, szerokości kolei, długości zaprzęgu i kąta skrętu α , jaki przy danym promieniu łuku jest niezbędny: im kąt jest większy, tem poszerzenie potrzebne będzie większe i naodwrot.

Jeżeli mamy jezdnię dwutorową, wtedy na podstawie wzorów (7), (8), (9), (10) i (11) wyprowadzonych na str. 44 możemy określić poszerzenie dla dwóch mijających się wozów przy zastosowaniu kąta skrętu $= \alpha^0$ dla wozu idącego po stronie wewnętrznej łuku; w tym wypadku dla wozu idącego po stronie zewnętrznej łuku potrzeba będzie zastosować kąt α_1^0 , mniejszy niż kąt α^0 , dzięki czemu pas jezdni (b_1) niezbędny w łuku dla wozu będzie węższy, niż pas jezdni dla wozu idącego po stronie wewnętrznej (b) (patrz rys. 16).

Tak w jednym jak drugim wypadku wielkość poszerzenia, jak widzimy, zależy od rodzaju wozów: szerokości kolei, rozstawienia osi, długości zaprzęgu oraz od kąta skrętu α , jaki jest zastosowany, a więc od promienia łuku.

Wreszcie przewóz długich kłoców drzewa (str. 44 i nast.) wymaga znacznego poszerzenia jezdni, zwłaszcza gdy warunki miejscowe wymagają, aby zwisający koniec kłoca mieścił się ponad jezdnią; mniejsze poszerzenie będzie wymagane, gdy przewożymy długi kłoc drzewa, stosując oprócz przedniego tylny skręt.

Gdy na drodze odbywa się przewóz długich kłoców, zwykle w jednym kierunku, na łukach, zwłaszcza o mniejszych promieniach, nie wymaga się takiej szerokości, aby było możliwe mijanie się dwóch wozów przewożących kłoce, najwyżej wymaga się, aby możliwe było mijanie się wozu przewożącego długi kłoc z wozem zwykłym lub samochodem.

Przy ruchu pojazdów mechanicznych w łukach (str. 111 i nast.) również wymagane jest poszerzenie nawierzchni — większe przy mniejszych promieniach, mniejsze — przy większych promieniach. Na zasadzie wyprowadzonych wzorów można dla każdego typu pojazdu wyprowadzić niezbędne poszerzenie dla szerokości pasma jezdni w łuku danego promienia;

poszerzenie dla pasma jezdni po stronie wewnętrznej łuku będzie większe, niż poszerzenie po stronie zewnętrznej łuku przy drodze o szerokości jezdni wystarczającej dla mijania się dwóch pojazdów; przy jezdni trzypasmowej lub szerszej, poszerzenia pasm będą potrzebne mniejsze dla pasm więcej oddalonych od środka łuku.

Przytoczone niżej stosowane w praktyce poszerzenia dają pewne dla nich normy:

a. Według prof. E. Neumanna poszerzenie szerokości jezdni dwutorowej o szerokości w odcinkach prostych równej 6,0 winny wynosić według tablicy XXVII.

TABLICA XXVII.

Poszerzeń 6 metrowej jezdni w łuku według prof. E. Neumanna.

Promień łuku m	P o s z e r z e n i e w m.	
	bez przewidywania prze- wozu długich kłóców	przy przewidywaniu prze- wozu długich kłóców
$R = 20$	2,00	3,50
25	1,30 — 1,50	2,50
30	1,10 — 1,30	2,00
40	0,90 — 1,10	1,35
50	0,80 — 1,00	1,00
60	0,70 — 0,90	0,70
90	0,60 — 0,80	0,50 — 0,70
120	0,50 — 0,70	0,50 — 0,70
150	0,40 — 0,60	0,40 — 0,60
190	0,25 — 0,50	0,25 — 0,50

Przy szerokości jezdni 5,5 — poszerzenie większe o 20—30 cm.

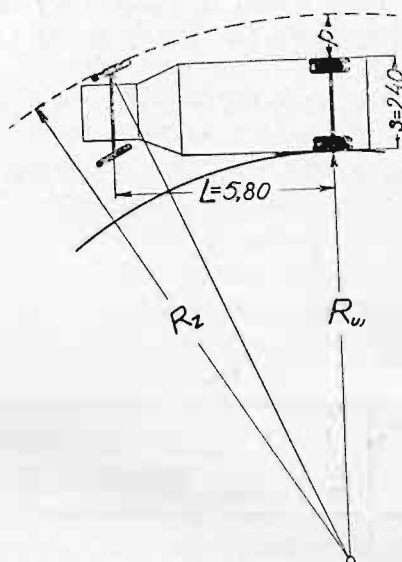
b. Związek szwajcarskich inżynierów drogowych ¹⁾ przyjął następujące normy dla poszerzeń ze względu na ruch pojazdów mechanicznych; normy powyższe obliczone są dla jednego pasma jezdni (rys. 125); niezbędne poszerzenie teoretyczne

$$p = R_z - (R_w + s),$$

¹⁾ Verein schweiz. Strassenfachmänner. Normalien für Bergstrassen.

poza tem R_z i R_w są w następującym związku

$$R_z = \sqrt{L^2 + (R_w + s)^2}.$$



Rys. 125.

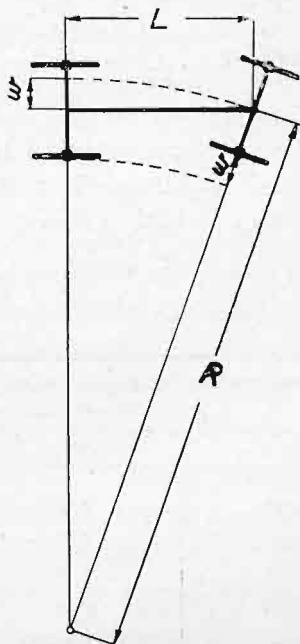
Przy wymiarach pojazdu mechanicznego oznaczonych na rys. 125 (duży samochód ciężarowy), otrzymamy tablicę XXVIII.

TABLICA XXVIII.

Poszerzeń dla 1 pasma jezdni.

Promień R_w w m.	R_z m	Poszerzenie w m.	
		teoretyczne	przyjęte do zastosow. w praktyce
6	10,21	1,81	2,00
7	11,04	1,64	1,70
8	11,90	1,50	1,60
10	13,68	1,28	1,35
12	15,52	1,12	1,20
15	18,34	0,94	1,00
20	23,16	0,76	0,80
30	32,91	0,51	0,60
40	42,79	0,39	0,45
50	52,72	0,32	0,35
75	77,61	0,31	0,25
100	102,55	0,15	0,20

c. Związek stanowych inżynierów drogowych w Stanach Zjednoczonych stosuje poszerzenie według wzoru I. T. Voshell'a (rys. 126).



Rys. 126.

Poszerzenie dla jednego pasma jezdni (dla 1 pojazdu) w wynosi

$$w = R - \sqrt{R^2 - L^2}.$$

Poszerzenie dla dwutorowej (dwupasmowej jezdni)

$$2w = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}).$$

Ogólne poszerzenie dla dwutorowej jezdni

$$W = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{35}{\sqrt{R}}.$$

Wyraz $\frac{35}{\sqrt{R}}$ dodaje Voshell dla bezpieczeństwa ruchu mijających się pojazdów; oznaczony został na zasadzie praktyki.

Ponieważ wzór powyższy jest zestawiony dla wymiarów w stopach ang., po przekształceniu go dla miar metrycznych otrzymujemy poszerzenie w m.

$$W = 0,61 \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{64}{\sqrt{R}}.$$

d. Według dotychczas obowiązującego zarządzenia polskiego b. Ministerstwa Robót Publicznych z 1928 r. poszerzenie jezdni „p” wynosić powinno (tabl. XXIX).

TABLICA XXIX.

Promień łuku m	Poszerzenie jezdni „p” w m. przy szerokości jezdni w odcinku prostym		
	4,50 m	5,50 m	6,00 m
20	1,30	1,50	1,70
30	1,10	1,20	1,40
40	1,00	1,20	1,20
60	0,90	0,95	0,95
80	0,90	0,95	0,95
100	0,90	0,80	0,70
150	0,80	0,80	0,60
200	0,40	0,40	0,30
300	0,40	0,40	0,30

Wielkość poszerzenia na jezdniach węższych winna być stosunkowo większa niż na szerszych, przeto niektóre normy tablicy XXIX dla szerokości 4,5 m i 5,50 m winny być powiększone (dla promieni od $R = 20$ do 80 m).

Spadki poprzeczne w łukach. Dla ruchu konnego — ze względu na małą szybkość — nie zachodzi potrzeba przechodzenia od normalnego spadku dwustronnego, jaki zwykle ze względu na odwodnienie stosuje się w odcinkach prostych, do spadku jednostronnego i powiększania w pewnych wypadkach wielkości tego spadku ze względu na rozwijającą się siłę odśrodkową przy ruchu pojazdów w łukach, jak to ma miejsce

ze względu na ruch pojazdów mechanicznych dla umożliwienia im ruchu szybszego w łukach o promieniach mniejszych.

Praktyka daje nam pod tym względem pewne normy ze względu na ruch samochodowy.

Ze względu na ruch samochodowy przy małych spadkach poprzecznych stosowanych na gładkich nawierzchniach (1,5%, 2 do 2,5%) możnaby nie stosować w łukach jednostronnego spadku przy małych promieniach (p. tablica XV na str. 131) dla przeciętnych warunków ruchu przy mokrej nawierzchni, gdyż różnica jest stosunkowo niewielka pomiędzy krytycznymi szybkościami dopuszczalnymi po stronie wewnętrznej i po stronie zewnętrznej jezdni w łuku; jedynie wielkość promienia, jaki jest zastosowany, zmusza do mniejszej lub większej redukcji szybkości pojazdu mechanicznego.

Jeżeli więc chcemy w tym wypadku utrzymać w łukach o mniejszych promieniach pewną (np. 60 km/godz. lub większą) szybkość, należy na takich łukach zastosować spadek jednostronny, odpowiednio go powiększając w miarę potrzeby.

Przy spadkach poprzecznych większych (3 — 6%), jakie się stosuje na zwykłych nawierzchniach (np. zwykłych drogach bitych), różnica pomiędzy krytycznymi szybkościami dopuszczalnymi na zewnętrznej i wewnętrznej stronie łuku dwuspadkowej jezdni jest znacznie większa (p. tabl. XIV na str. 129) i w tym wypadku przejście do spadku jednostronnego w łuku jest konieczniejsze, niż przy jezdniach z małymi spadkami poprzecznymi, zwłaszcza, gdy jest pożądane utrzymanie większej szybkości. Oznaczenie granicy wielkości promienia, przy którym należy stosować spadek jednostronny zależy oczywiście od tych bezpiecznych szybkości, jakie pragniemy zachować przy ruchu w łukach, a które winny być o 15 — 20% mniejsze niż szybkości krytyczne.

W zależności od przyjętych szybkości maksymalnych, jakie mają być rozwijane w łukach, na zasadach wyłożonych na str. 111 i nast., możemy obliczyć wielkość niezbędnych spad-

ków jednostronnych, które przy promieniach mniejszych będą nieraz większe niż normalne spadki poprzeczne w odcinkach znajdujących się w prostych.

Naturalnie, przy obliczaniu wielkości tych spadków należy uwzględniać warunki ruchu niekorzystne, t. j. gdy nawierzchnia jest mokra; nie należy brać warunków wyjątkowo niekorzystnych, t. j. kiedy nawierzchnia jest pokryta lodem lub śniegiem, gdyż otrzymalibyśmy zbyt wielkie spadki poprzeczne niedogodne dla wolniejszego ruchu; przy takich wyjątkowo niekorzystnych warunkach ruchu należy odstąpić od wymagania utrzymania wielkich szybkości w łuku i liczyć się z ich redukcją.

Ponieważ możliwość zsunęcia po mokrej nawierzchni pojazdu mechanicznego wymaga mniejszej szybkości przynajmniej o 20% niż szybkości w tabl. XXX na str. 271 obliczone według wzoru (44) na str. 124, przeto dopuszczalne szybkości muszą być odpowiednio zredukowane.

Z tablicy tej widzimy, że w miarę powiększania spadku poprzecznego jednostronnego, dopuszczalne szybkości wzrastają stosunkowo nieznacznie, więc przez znaczne powiększanie spadku poprzecznego nie osiąga się możliwości znacznego powiększania szybkości w łuku o mniejszym promieniu. Natomiast, jak to widać z tablicy XIV i XV na str. 129 i 131 poważny wpływ ma tu wielkość współczynnika μ , a więc stan nawierzchni; jeżeli współczynnik ten będzie większy dwukrotnie (nawierzchnia sucha), dopuszczalna szybkość wzrasta prawie o 25 — 50%.

Stąd wypływa wniosek, że nie należy w kierunku powiększania jednostronnych spadków iść za daleko, gdyż to nie umożliwia stosowania w łukach znacznie większych szybkości, natomiast stwarza niedogodności przy wolniejszym ruchu; raczej należy dążyć do stosowania na łukach więcej szorstkich nawierzchni. Z powyższych względów w praktyce nie stosuje się większych spadków jednostronnych niż 10 — 12%.

TABLICA XXX.

krytycznych szybkości w km/godz. na łukach z jednostronnym spadkiem na zsuwanie według wzoru (44) na str. 124:

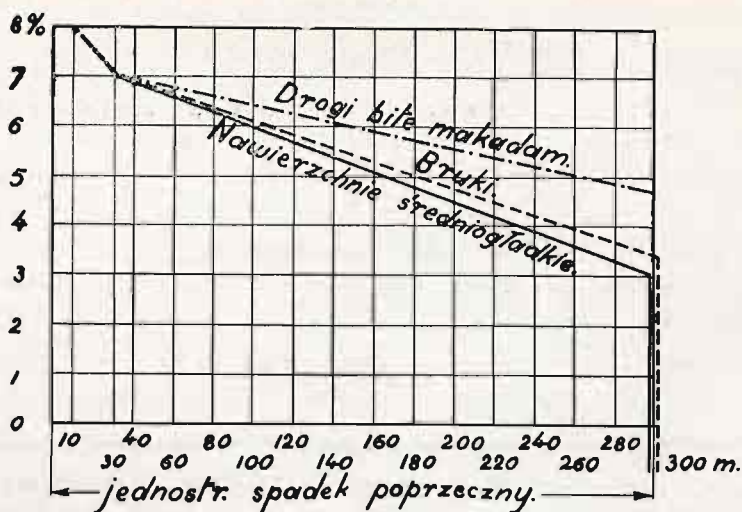
$$v = 3,6 \sqrt{g r \cdot \frac{\mu + s}{1 - \mu \cdot s}},$$

przy $\mu = 0,25$ (twarda, gładka nawierzchnia wilgotna) przy różnej wielkości s — spadków poprzecznych.

R w m.	$s=0,02$	$s=0,04$	$s=0,06$	$s=0,08$	$s=0,10$	$s=0,12$	$s=0,16$	$s=0,20$
10	18,5	19,3	20,1	20,7	21,4	21,8	23,3	24,5
15	22,7	23,7	24,6	25,3	26,2	26,7	28,5	30,0
20	26,2	27,6	28,4	29,3	30,2	30,8	33,0	34,7
30	32,1	33,5	34,8	35,8	37,0	37,8	40,4	42,5
40	37,1	38,6	40,1	41,4	42,7	43,6	46,6	49,0
50	41,4	43,2	45,0	46,2	47,9	48,8	52,1	54,8
75	50,7	52,9	55,1	56,4	58,5	59,7	63,8	67,2
100	58,6	61,1	63,6	65,4	67,5	69,0	73,7	77,6
150	71,8	74,8	77,9	80,1	82,7	84,5	90,3	95,0
200	84,8	86,4	89,9	92,5	95,5	97,5	104,2	109,7
300	101,5	105,9	110,1	113,3	117,0	119,4	127,6	134,3

Z powyższych względów związek szwajcarskich inżynierów drogowych¹⁾ nie stosuje na drogach poprzecznych spadków większych niż 8% (przy $R = 10$) i 7% (przy $R = 30$ m) i spadki jednostronne stosuje do promieni $R = 300$ m i przy $R > 300$ m. stosuje się normalne spadki dwustronne. Jak widać z wykresu (rys. 127), przy wyznaczaniu wielkości spadku poprzecznego gra rolę rodzaj nawierzchni.

1) Union Suisse de Professionels de la Route. Normes pour la construction et pour la correction des routes de montagne.



Rys. 127.

Przepisy polskie z 1928 r.²⁾ oznaczają wielkość spadku jednostronnego w łukach w sposób następujący.

Promienie łuku w m.	Jednostronny spadek poprzeczny s
do 40 m. włącznie	od 7 ⁰ / ₀ do 6 ⁰ / ₀
od 40 do 100 m. „	„ 6 ⁰ / ₀ „ 5 ⁰ / ₀
od 100 do 300 m, „	„ 5 ⁰ / ₀ (4 ⁰ / ₀) do 4 ⁰ / ₀ (3 ⁰ / ₀)

Wyższe normy spadku poprzecznego, według tych przepisów, należy stosować na drogach bitych przy użyciu materiału miększego, niższe — przy użyciu materiału twardszego. Normy podane w ostatnim wierszu w nawiasach winny być stosowane przy nawierzchniach dróg ulepszonych (np. bitumowanych) oraz przy brukach gładkich (kostkach kamiennych lub klinkierze).

Dalej przepisy te ustalają, że jednostronny spadek poprzeczny należy zawsze stosować w łukach o promieniach do 100 m., natomiast w łukach o promieniach powyżej 100 m. tyl-

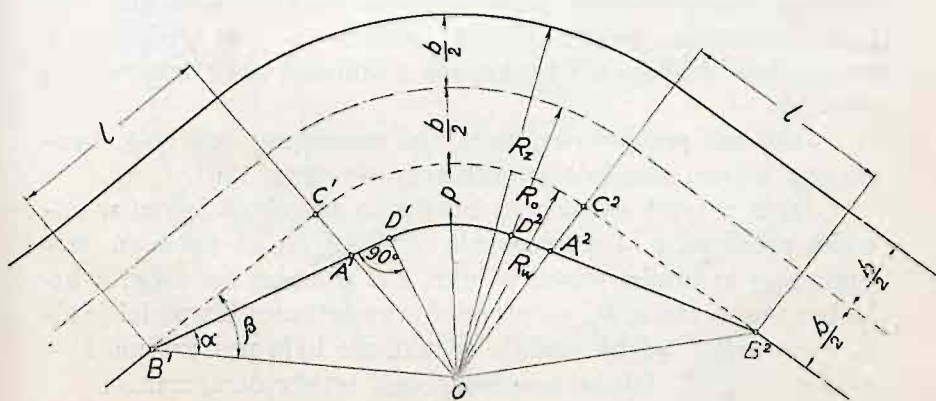
²⁾ Okólnik Min. Rob. Publ. Nr. XII — 300 z dnia 7.IV.1928 r.

ko wówczas, gdy kąt wierzchołkowy jest stosunkowo mały, mniejszy niż 135° .

Powyższe przepisy były opracowane pod kątem widzenia stosunkowo niewielkich szybkości pojazdów mechanicznych stosowanych na drogach (50 — 60 km/godz.); przy szybkościach większych (60 — 80 km/godz.) racjonalniejsze będą normy ustalone przez związek inżynierów drogowych szwajcarskich (p. rys. 127).

Odcinki przejściowe. Przejście od przekroju normalnego w odcinku prostym dwuspadkowym z normalną szerokością jezdni do przekroju z jezdnią poszerzoną w spadku jednostronnym musi być stopniowo wykonane na pewnej długości, wystarczającej, aby na początku łuku danego promienia zarówno poszerzenie jezdni jak spadek porzecznny były takie, jakie są potrzebne w łuku.

Poszerzenie jezdni wykonywa się przed początkiem łuku na pewnej długości l ; może być wykonane różnymi metodami.



Rys. 128.

Najprostsze (rys. 128) rozwiązanie otrzymujemy wtedy, gdy na początku odcinka przejściowego długości l np. B_1 , t. j. po stronie wewnętrznej łuku, przeprowadzimy styczną B_1D_1 do łuku koła, zakreślonego ze środka łuku promieniem = promieniowi wewnętrznej krawędzi jezdni pomniejszonemu o projektowane w łuku poszerzenie p_1 t. j. promieniowi $(R_w - p)$.

Długość tej stycznej B_1D_1 łatwo określić z trójkątów B_1C_1O i B_1D_1O , gdyż

$$\overline{B_1O}^2 = l^2 + R_w^2 = (R_w - p)^2 + \overline{B_1D_1}^2,$$

skąd

$$B_1D_1 = \sqrt{l^2 + R_w^2 - (R_w - p)^2}.$$

Mając B_1D_1 , z trójkąta B_1D_1O , w którym $D_1O = R_w - p$, łatwo określić kąt α , a z trójkąta B_1C_1O — kąt β , przy pomocy których łatwo na gruncie ustalić z p. B_1 kierunek B_1D_1 i znaleźć p. D_1 , — początek łuku wewnętrznego.

Przy stosowaniu prostej dla poszerzenia, które daje się w całości po wewnętrznej stronie łuku, mamy w p. B_1 kąt rozwarty, który przy większych poszerzeniach i niewielkich długościach odcinka przejściowego — zwykle 20 — 30 m. — sprawia nieprzyjemne dla oka wrażenie.

Z tego względu Związek szwajcarskich inżynierów drogowych poszerzenie to wykonywa w sposób wskazany na rys. 129, przy którym po stronie wewnętrznej otrzymuje się łuk koła pewnego promienia, ale poszerzenie na całej długości łuku nie jest jednakowe, należy przeto poszerzenie p w środku łuku wziąć nieco większe niż to wypada z obliczeń przy danym promieniu.

Jako łuk przejściowy może być stosowany łuk koła, tworzący z łukiem zasadniczym łuk koszowy (rys. 130).

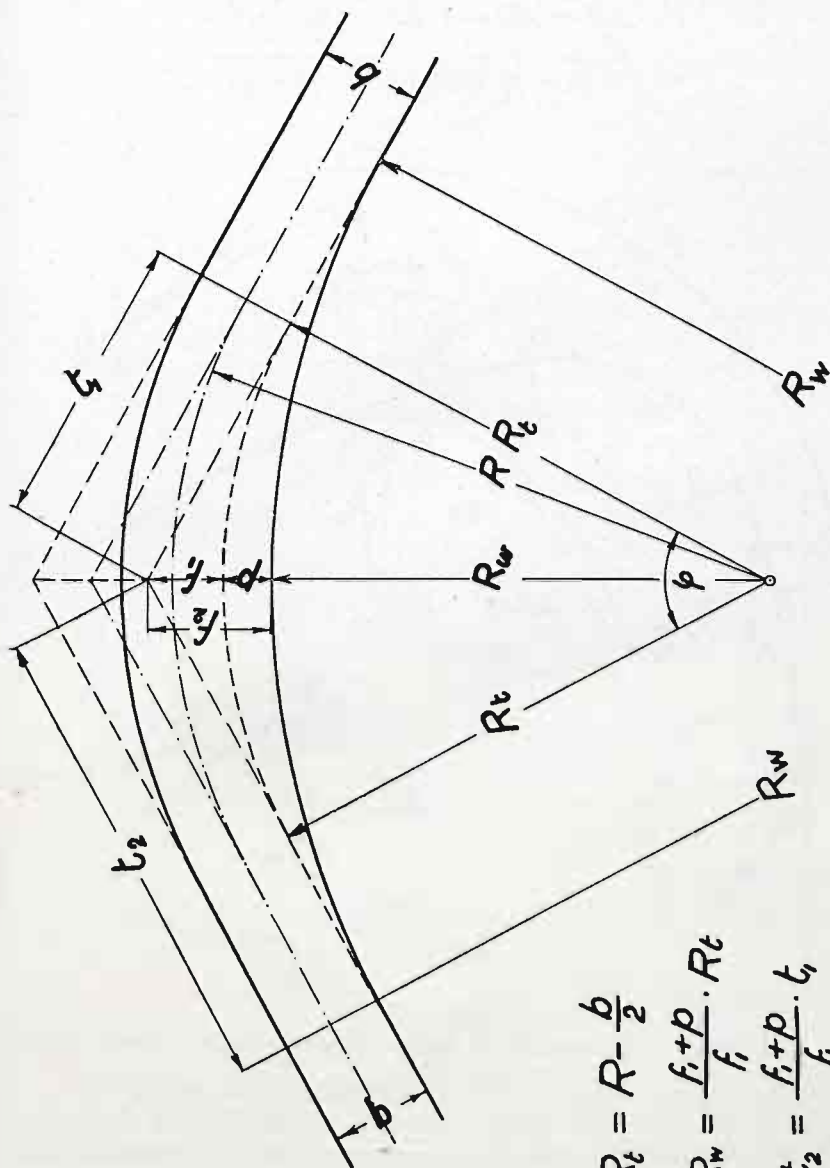
Jeżeli przez b oznaczymy normalną szerokość jezdni w odcinku prostym, p — poszerzenie w łuku, R_w — promień wewnętrznej krawędzi jezdni w łuku, a R promień osi drogi w łuku bez poszerzenia, R_i — promień wewnętrznej krawędzi jezdni w wypadku, gdyby jezdnia w łuku nie była poszerzona, $t = AB$ — długość odcinka przejściowego, wtedy otrzymamy:

$$R_i = R - \frac{b}{2},$$

$$R_w = R - \frac{b}{2} - p.$$

Prom. łuku przejśc. wewn.

$$R_p = R_w + R_i = 2R - b - p.$$



Rys. 129.

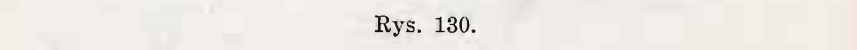
$$R_t = R - \frac{b}{2}$$

$$R_w = \frac{f + p}{f_i} \cdot R_t$$

$$t_2 = \frac{f + p}{f_i} \cdot t_1$$

2. 1. 1.

1

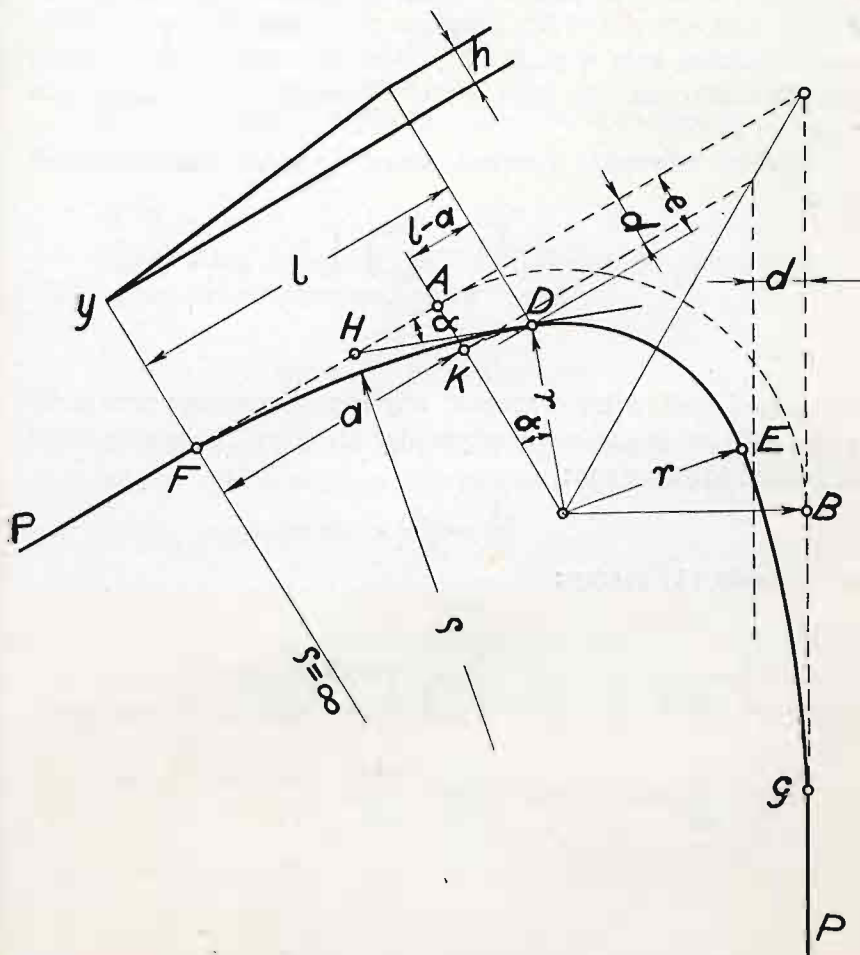


Oś drogi w odcinku przejściowym ($D_1 B_1$) zakreślona jest promieniem

276

Długość odcinka przejściowego

$$A_1B_1 = A_1D_1 = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{p}{2}\right)^2} = \sqrt{p \left(R + \frac{p}{2}\right)}.$$



Rys. 131.

4. Lepšie jest zastosowanie łuku przejściowego w postaci paraboli, gdyż wtedy krzywizna takiego łuku wzrasta stopniowo od ∞ do wartości promienia łuku R i siła odśrodkowa na takim łuku zjawia się stopniowo od zera do wartości $\frac{Mv^2}{R}$ (rys. 131).

Zamiast połączenia dwóch prostych odcinków (P, P) łukiem koła AB o promieniu AO , będziemy mieć połączenie o łukach parabolicznych FD i EG (prześciowych) oraz o łuku koła DE . Łuk paraboliczny winien mieć krzywiznę zmienną: $\rho = \infty$ w $p. F$ i G i $\rho = r$ w $p. D$ i E . Pozatem połączenie łuku parabolicznego z łukiem koła w $p. D$ i E winno być takie, aby w tych punktach styczna do łuku parabolicznego i łuku koła była wspólna (DH).

Ogólne równanie krzywej, której promień zmienia się od ∞ do r^1):

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}}. \quad (1)$$

Jeżeli postawimy warunek, aby krzywizna łuku przejściowego była w stosunku prostym do odciętych, będziemy mieć zależność następującą:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{l \cdot r},$$

z równania (1) mamy:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}} = \frac{x}{l \cdot r}.$$

Przy $\frac{dy}{dx} = 0$ otrzymujemy $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{l \cdot r},$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2l \cdot r},$$

$$y = \frac{x^3}{6l \cdot r}. \quad (3)$$

Łuk przejściowy jest łukiem paraboli sześcienniej.

1) Handbuch der Ingenieur - Wissenschaften, 2 Aufl. 5 Teil 1 Band str. 143.

Równanie (3) można przedstawić

$$y = C \cdot x^3, \quad \text{gdzie} \quad C = \frac{l}{6 l \cdot r}. \quad (4)$$

Z równania (4) otrzymamy

$$e = C \cdot l^3 = \frac{l^2}{6 r}.$$

Aby móc zbudować łuk przejściowy, musimy posiadać następujące dane:

a) $\operatorname{tg} \alpha$.

Mamy z (4) zależność dla kąta, jaki tworzy styczna do łuku przejściowego z osią odciętych

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = 3 C x^2 = \frac{x^2}{2 \cdot l \cdot r}.$$

W p. D wspólna dla łuku koła o promieniu r i łuku paraboli styczna DH w punkcie H z osią odciętych tworzy kąt α .

W tym wypadku dla $x = l$ mamy $\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{2 r}$.

b) $d = l - r (1 - \cos \alpha)$.

c) Wartość a . Określić możemy na zasadzie oznaczeń, jakie wyprowadzimy z tego, że w p. D styczna do łuku przejściowego jest identyczną ze styczną do łuku koła, który się zaczyna w p. D .

Mamy zależności

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l - a}{r + d - e} = \frac{l}{2 r},$$

skąd

$$a = l \left(1 - \frac{r + d - e}{2 r} \right).$$

d) Długość l łuku przejściowego należy zadać z góry. Np. Petersen ¹⁾ w celu uniknięcia przy przejeździe po łuku przejściowym wstrząśnień pojazdu radzi, żeby długość łuku przej-

1) R. Petersen. Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleise.

ściowego była taka, aby pojazd znajdował się na łuku nie mniej niż 3,6 sek. Jeżeli więc szybkość, jaka ma być dopuszczalna na łuku, wynosi

$v = 80 \text{ km/godz.} = 22,22 \text{ m/sek.}$, wtedy $l = \text{ok. } 80 \text{ m.}$

$v = 100 \text{ km/godz.} = 27,77 \text{ m/sek.}$ „ $l = \text{ok. } 100 \text{ m.}$

$v = 120 \text{ km/godz.} = 33,33 \text{ m/sek.}$ „ $l = \text{ok. } 120 \text{ m.}$

Takie jednak długości łuku przejściowego nie zawsze dadzą się zastosować w terenie, w którym odcinki w łukach znajdują się w bliskim sąsiedztwie.

Prof. De Vries - Broekmann określa długość odcinka przejściowego pod kątem widzenia przegięcia pojazdu, jakie następuje przy przechodzeniu po krzywej powierzchni jezdni skutkiem zmiany poprzecznych spadków: uzależnia on długość łuku przejściowego od szybkości i przechyłki poprzecznej według wzoru:

$$l = h \cdot i,$$

gdzie l = długość łuku przejściowego

h — wielkość przechyłki poprzecznej w stosunku do początku łuku przejściowego,

i — wartości z tablicy:

$i =$	100	125	150	175
przy $v =$	20 m/sek.	25 m/sek.	30 m/sek.	35 m/sek.
	72 km/godz.	90 km/godz.	108 km/godz.	126 km/godz.

5. Na innych zasadach długości łuków przejściowych obliczają inż. Ertl i Birkel¹⁾. Zasad — dla braku miejsca — nie przytaczamy, podajemy rezultat ostateczny: długość łuku przejściowego

$$l = 2g \cdot \frac{1}{c}; \quad c = \frac{5}{8} \cdot \frac{P_v \cdot s}{J};$$

gdzie $g = 9,81 \text{ m.}$

P_v — waga przypadająca na oś przednią

s — rozstaw osi pojazdu

J — moment bezwładności względem środka osi tylnej pojazdu.

1) Die Planung der Fernverkehrsstrassen 1933. Verkehrstechnik.

Widzimy w tym wzorze zależność długości l od g , rodzaju pojazdów t. j. jego wymiarów i wagi, nie widzimy zależności od promienia łuku, współczynnika tarcia i szybkości.

Np. dla 16 tonowego samochodu ciężarowego przy $P_e = 5,0$, $s = 7,60$ m. $J = 29200$ dla łuków wszystkich promieni $l = \text{ok. } 24,0$ m.

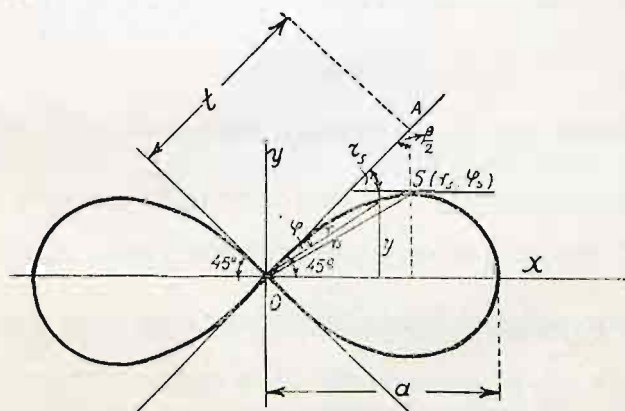
Widzimy w przytoczonych zasadach oznaczenia długości l znaczne rozbieżności; dla praktyki wydaje się racjonalnym uproszczony sposób A. Heeb'a i A. Kölmel'a ²⁾.

Wychodzą oni z założenia, że z dostateczną dokładnością można przyjąć wartość $e = \frac{l^2}{6r}$ równą czterokrotnemu poszerzeniu jezdni p w łuku promienia r , t. j.

$$e = 4p = \frac{l^2}{6r},$$

skąd $l = \sqrt{24 r \cdot p}$ i w przybliżeniu $l = 5 \sqrt{r \cdot p}$.

5. W ostatnich czasach zaczęto zamiast łuku koła i łuków przejściowych koszowych lub parabolicznych stosować lemniskatę (rys. 132).



Rys. 132.

Lemniskata ma krzywiznę o promieniach krzywizny stopniowo zmniejszających się, począwszy od $R = \infty$ w p. O.

Równanie lemniskaty:

$$r = a \sqrt{\sin 2\varphi}. \quad (1)$$

²⁾ Strassenbau von A. Heeb und A. Kölmel.

W równaniu r — długość promienia od O do przecięcia się z krzywą; a — półoś krzywej (parametr), φ — kąt między promieniem r i styczną do lemniskaty w p. O (pod 45° do osi x).

Styczna do lemniskaty w dowolnym jej punkcie tworzy ze styczną do lemniskaty w punkcie O kąt τ ; między τ i φ jest zależność

$$\tau = 3 \varphi$$

Dla punktu lemniskaty S , przy którym styczna do krzywej jest równoległa do osi xx :

$$\tau_s = \left(90^\circ - \frac{\beta}{2}\right),$$

$$\varphi_s = \frac{\tau_s}{3} = 30^\circ - \frac{\beta}{6},$$

z trójkąta ASO mamy:

$$\frac{r_s}{\sin \frac{\beta}{2}} = \frac{t}{\sin \left(\varphi_s + \frac{\beta}{2}\right)}. \quad (2)$$

Z równania (1) mamy:

$$a = \frac{r_s}{\sqrt{\sin 2 \varphi_s}}. \quad (3)$$

Powyższe równania pozwalają zastosować lemniskatę zamiast łuku koła (rys. 133).

Proste odcinki AP i KB połączone są łukiem koła o promieniu R ; promień zewnętrznej krawędzi jezdni $R_z = R + \frac{b}{2}$;

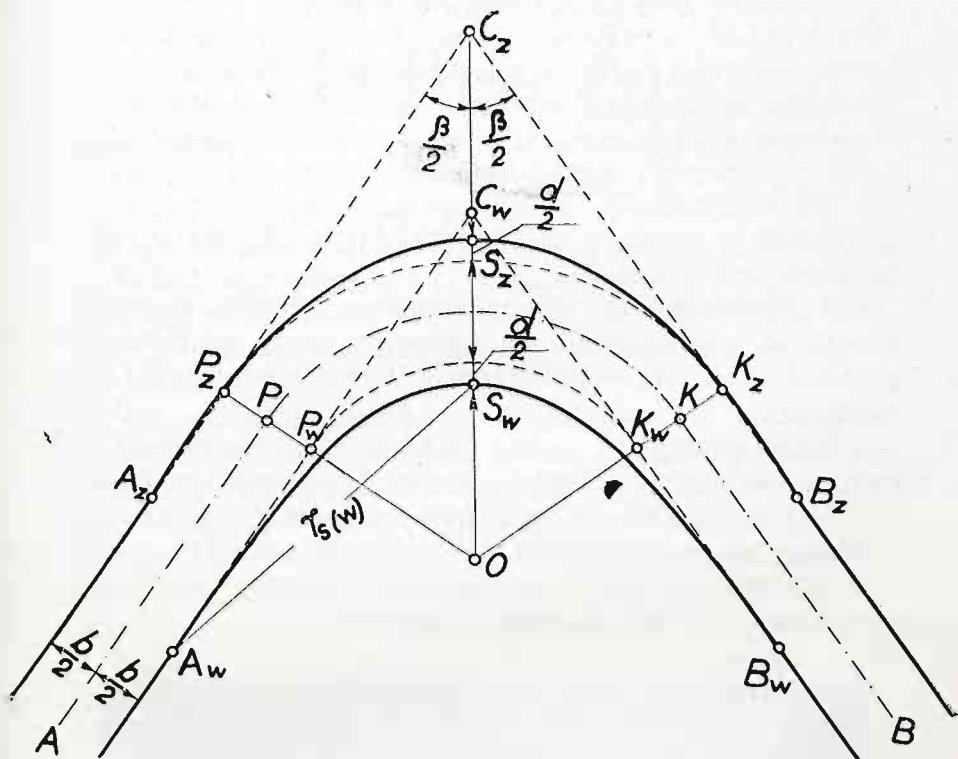
promień wewnętrznej krawędzi jezdni $R_w = R - \frac{b}{2}$; poszerzenie łuku $= d$; poszerzenie to w połowie wykonywamy

nazewnątrz, w połowie dowewnątrz: otrzymamy punkty S_w i S_z , przez które przeprowadzimy lemniskaty wewnętrzną i zewnętrzną (linje pełne na rys. 131).

Położenie punktów S_w i S_z określi się w sposób następujący:

$$C_w S_w = \frac{R_w}{\sin \frac{\beta}{2}} - \left(R_w - \frac{d}{2}\right) = \frac{R_w}{\sin \frac{\beta}{2}} - R_w + \frac{d}{2},$$

$$C_z S_z = \frac{R_z}{\sin \frac{\beta}{2}} - \left(R_z + \frac{d}{2} \right) = \frac{R_z}{\sin \frac{\beta}{2}} - R_z - \frac{d}{2}.$$



Rys. 133.

Parametr lemniskaty wewnętrznej określamy z równania:

$$a_w = \frac{r_s}{\sqrt{\sin 2 \varphi_s}} = \frac{C_w S_w \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \varphi_s \sqrt{\sin 2 \varphi_s}} = \frac{\left[\frac{R_w}{\sin \frac{\beta}{2}} - R_w + \frac{d}{2} \right] \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \varphi_s \sqrt{\sin 2 \varphi_s}}. \quad (4)$$

Parametr lemniskaty zewnętrznej:

$$a_z = \frac{r_s}{\sqrt{\sin 2 \varphi_s}} = \frac{C_z S_z \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \varphi_s \sqrt{\sin 2 \varphi_s}} = \frac{\left[\frac{R_z}{\sin \frac{\beta}{2}} - R_z - \frac{d}{2} \right] \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \varphi_s \sqrt{\sin 2 \varphi_s}} \quad (5)$$

Uwaga: r_s i φ_s — we wzorach (4) i (5) mają różne wartości.

Z równania (2) obliczyć możemy długość stycznych $t_z = C_z A_w$ i $t_w = C_w A_z$, przez co określimy położenie punktów A_z i A_w — początków lemniskat zewnętrznej i wewnętrznej.

Mając punkty A_z i S_z oraz A_w i S_w — możemy łatwo znaleźć punkty pośrednie obydwóch połówek lemniskat.

Aby można było łatwo wytykać lemniskaty na gruncie, potrzebne są odpowiednie tablice; w braku ich można stosować łuki lemniskatowe drogą graficzną zapomocą szablonów wyciętych z kartonu dla różnych promieni.



Rys. 134. Wykonany łuk lemniskaty na drodze pod Hohensyburg w Niemczech.

Przejście od przekroju normalnego dwuspadowego do jedno- spadowego.

Przejście to zwykle wykonywane jest na odcinku przejściowym, aby na początku łuku w przekroju już był spadek jednostronny wielkości wymaganej; można oczywiście zacząć przechodzić od normalnego przekroju poprzecznego wcześniej, przed początkiem odcinka przejściowego; zwykle wystarcza długość odcinka przejściowego do takiego przejścia.

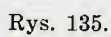
Jeżeli (rys. 135) długość odcinka przejściowego $BE = l$ i na tym odcinku musi być wykonane stopniowo poszerzenie p normalnej szerokości jezdni b jednocześnie z przejściem od przekroju ze spadkiem dwustronnym do przekroju ze spadkiem jednostronnym, przejście to wykonywamy w sposób następujący:

Dla ułatwienia rozważań przyjmujemy, że niweleta zarówno na odcinkach prostych, jak na odcinkach w łuku jest pozioma; rozpatrujemy dwa wypadki: 1) jednospadowy przekrój w łuku ma spadek s równy spadkowi poprzecznemu w przekroju normalnym dwuspadowym; 2) jednospadowy przekrój w łuku ma spadek poprzeczny s_1 — większy niż spadek poprzeczny w normalnym przekroju dwuspadowym. W wypadku (1) na początku odcinka przejściowego mamy przekrój dwuspadowy ABC , w końcu tegoż odcinka przekrój jest jednospadowy poszerzony DEF .

Jeżeli przedstawić przekrój podłużny odcinka przejściowego z niweletą osi drogi (linja BE), teoretyczną bez poszerzenia krawędź jezdni wewnętrzną (linja AK), wtedy linja $AiCD$ będzie niweletą krawędzi zewnętrznej jezdni na odcinku przejściowym, a linja $AiCF$ — niweletą krawędzi wewnętrznej jezdni na odcinku przejściowym.

Widzimy, że krawędź zewnętrzna ma wzniesienie równomierne $s_p = h_z : l$, a wewnętrzna — spadek równomierny $s_p = h_w : l$.

W miejscu przecięcia się linii $AiCD$ oraz BE , które w omawianym wypadku znajduje się na połowie odcinka przejściowego, mamy przekrój GHI , w którym linja GH jest pozioma; nie należy się tego obawiać ze względu na odwodnienie, gdyż b. rzadko na łukach niweleta osi drogi jest pozioma



zupełnie, a zwykle posiada mniejszy lub większy spadek podłużny.

W analogiczny sposób w wypadku 2) wykreślimy przekrój podłużny osi drogi oraz krawędzi zewnętrznej i wewnętrznej przy spadku $s_1\%$ poprzecznym jednostronnym w łuku, większym niż spadek poprzeczny $s\%$ w przekroju normalnym w odcinku prostym.

Przekrój podłużny odcinka przejściowego daje nam możliwość dokładnego oznaczenia na gruncie zarówno niwelety osi drogi, jak krawędzi wewnętrznej i zewnętrznej, a więc zbudowania nawierzchni na odcinku przejściowym.

Gdy niweleta osi drogi nie jest pozioma, a posiada wzniesienie lub spadek, przy wykreślaniu przekroju podłużnego odcinka przejściowego należy wprowadzić ten spadek z projektu ogólnego drogi.

Powierzchnię odcinka przejściowego można oznaczyć na gruncie, jeżeli się na tym odcinku przeciągnie naciągnięte sznury wzdłuż osi drogi BD oraz krawędzi AD i CF , nadając im spadki według przekroju podłużnego.

Przeciągając po tych głównych sznurach dodatkowe poprzeczne co kilka metrów, możemy utworzyć dość gęstą siatkę punktów powierzchni odcinka przejściowego.

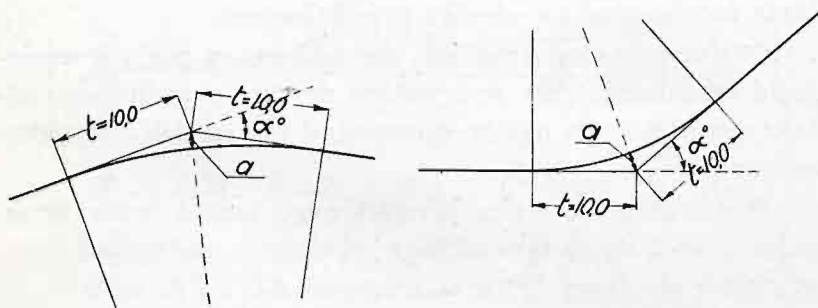
Ponieważ w p. A i B oraz D i F przy przejściu od przekroju dwuspadkowego do przekroju jednospadkowego otrzymujemy załamania niwelety krawędzi zewnętrznej i wewnętrznej, w celu uniknięcia wstrząśnięć pojazdów przy większych szybkościach, należy w tych punktach złagodzić załamania niwelety krawędzi przez łuki pionowe. To złagodzenie zwłaszcza potrzebne będzie wtedy, gdy niweleta osi drogi w odcinku prostym będzie mieć znaczne wzniesienie, które trzeba będzie zredukować w łuku. Powstają wtedy dość przykre załamania niwelety, które należy złagodzić przez łuki pionowe (rys. 136).

Praktyka daje nam wielkości promieni i strzałki a tych promieni przy założeniu, aby styczne tych łuków były równe 10,0 m.

TABLICA XXXI.

Dla łuków pionowych do rys. 136¹⁾.

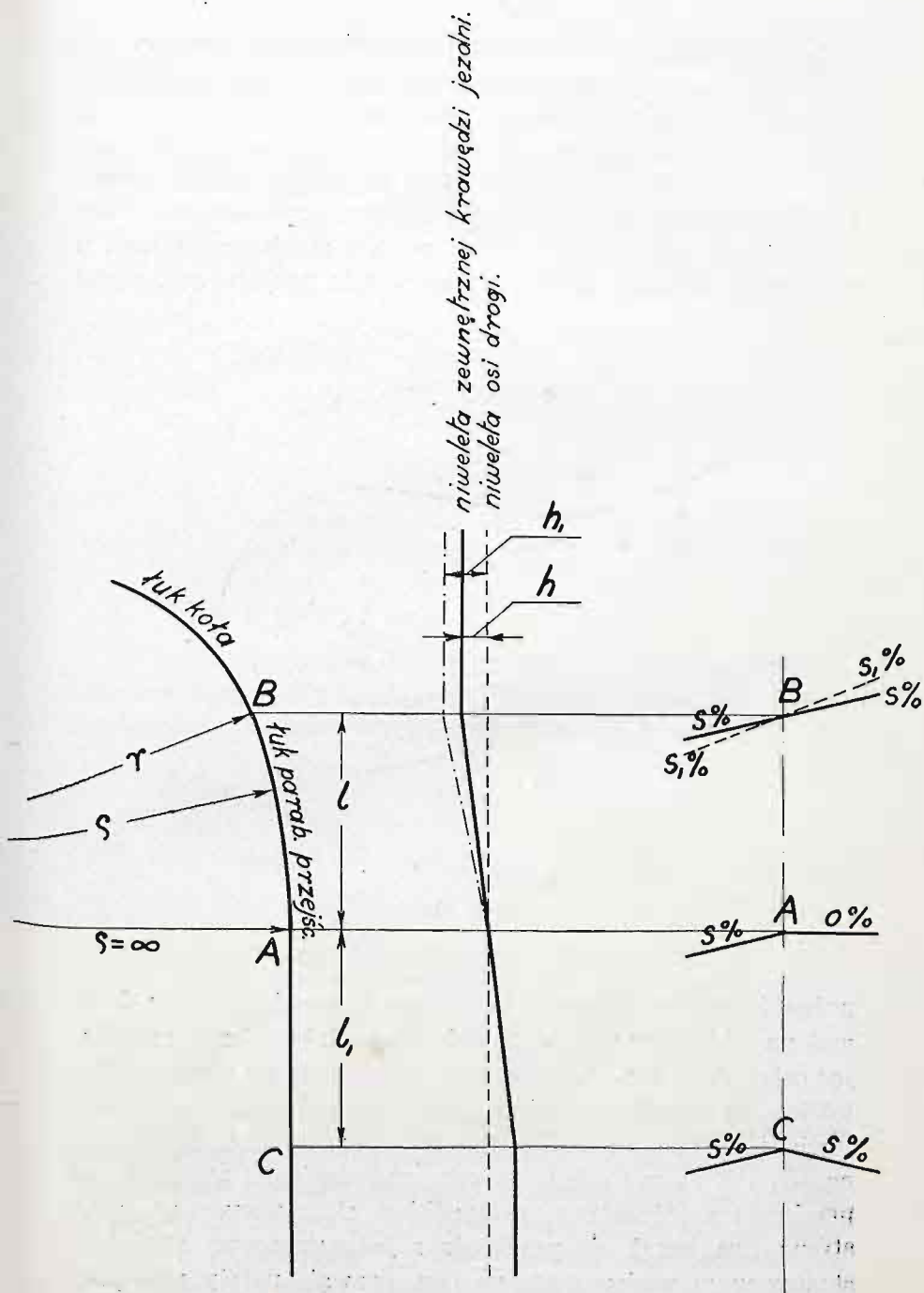
$\operatorname{tg} \alpha$	Dług. stycznej t	Promień łuku pionowego m.	Strzałka a w m.
0,04	10,0	500	0,100
0,05	"	400	0,125
0,06	"	333	0,150
0,07	"	286	0,175
0,08	"	250	0,200
0,09	"	222	0,225
0,10	"	200	0,250



Rys. 136.

Przejście od przekroju dwuspadkowego w prostej (p. C na rys. 137) do przekroju ze spadkiem jednostronnym, który musi już być na początku łuku o promieniu r w p. B, może być również zrobione stopniowo na odcinku CB, przytem C winno być przed początkiem łuku przejściowego, tak, aby na początku łuku przejściowego w p. A spadek poprzeczny nazewnątrz był przynajmniej $= 0$; niweleta zewnętrznej krawędzi jezdni podana jest na rys. 137 linią ciągłą, jeżeli spadek jednostronny w łuku o promieniu r ma być $= s\%$ i przerywaną (kreska - kropka), gdy ma być większy $= s_1\%$. Długość odcinka AC (l_1) w celu zmniejszenia wstrząśnięć pojazdu przy większych szybkościach nie powinna być zbyt krótka; pożądana jest długość $l_1 = l$, aby załamania niwelety osi drogi i krawędzi nawierzchni były możliwie łagodne. Jeżeli z powodu warunków

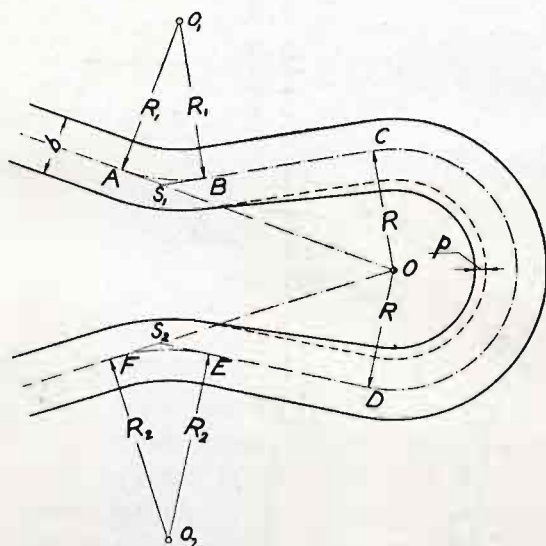
¹⁾ Związek inż. drog. szwajcarskich. (Union Suisse de Professionnels de la Route.



Rys. 137.

miejscowych nie można zastosować dostatecznej długości odcinków l i l_1 , należy załamania niwelety osi drogi i krawędzi złagodzić przy pomocy łuków pionowych.

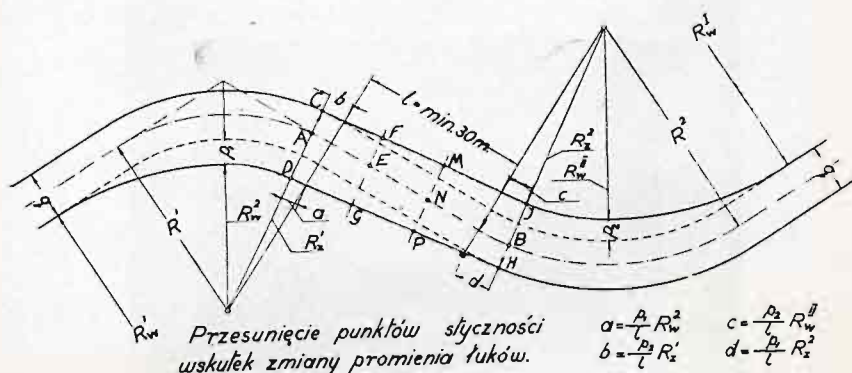
Projektowanie serpentyn. Przy prowadzeniu linii stałego spadku otrzymać możemy drogę w zakosy — z nagłemi zwrotami (rys. 138 p. O); z jednej strony w celu zmniejszenia spadku w ostrych łukach, z drugiej strony w celu umożliwienia ruchu



Rys. 138.

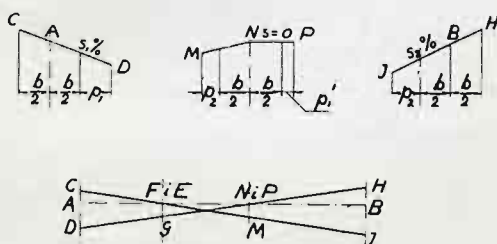
pojazdów przewożących nawet długie przedmioty (kloce drzewa) na takich drogach, na takich zakosach budujemy, rozwijając ostry skręt w p. O, serpentyny, składające się często z kilku łuków. Na łukach w zależności od wielkości promienia dawać trzeba poszerzenia i spadki jednostronne; jeżeli łuki są odwrotne (R_1 i R na rys. 138), w celu umożliwienia przejścia od przekroju z jednostronnym spadkiem skierowanym w jedną stronę (np. lewą) do przekroju z jednostronnym spadkiem skierowanym w drugą stronę (np. prawą), należy pomiędzy

łukami dawać odcinki proste (BC , ED) o długości przynajmniej 30 m. Wtedy połączenie łuków odwrotnych przedstawiać się będzie jak na rys. 139. Należy zwrócić uwagę na przesunięcie punktów styczności wskutek zmiany promieni łuków (a , b , c i d).



Rys. 139.

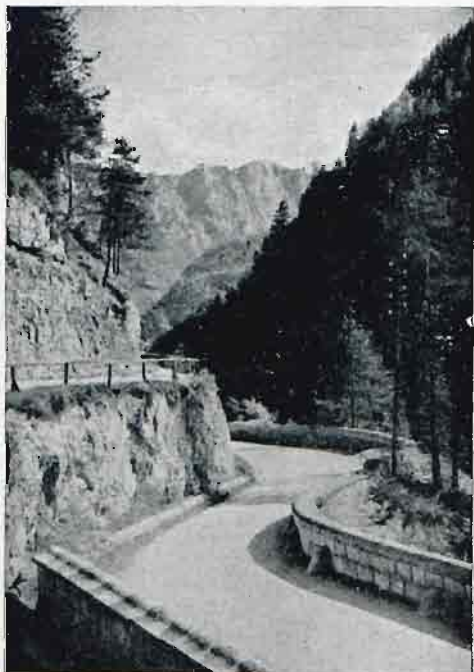
W odcinku prostym między punktami A i B przekroje poprzeczne będą miały spadki jednostronne, mogą być różnej wielkości s_1 i s_2 , skierowane ku środkowi łuku (rys. 140).



Rys. 140.

Spadki te zmniejszają się stopniowo, jak to widać na przekroju podłużnym odcinka przejściowego AB , na którym wkreślona została niweleta obydwuch krawędzi drogi na odcinku przejściowym. Sposób przejścia od przekroju w p. A do przekroju w p. B podają na rys. 140 przekroje poprzeczne w tych punktach oraz w dwóch punktach pośrednich E i N .

Rys. 141 podaje przykład typowego odcinka dróg alpejskich bawarskich nader nieprzejrzystego, obecnie przebudowanego w celu przystosowania go do ruchu samochodowego. Rys. 142 przedstawia taki odcinek drogi w przebudowie.



Rys. 141.

Redukcja spadków w łukach. Z rozważań, tablic i wykresów dla pojazdów konnych na str. 62 i nast. i dla pojazdów mechanicznych na str. 131 i nast. widzimy konieczność zmniejszania (redukowania) spadków na łukach; największe dopuszczalne wzniesienie dla danego typu drogi na odcinkach prostych nie mogą być stosowane na odcinkach znajdujących się w łuku i muszą być odpowiednio redukowane i to głównie ze względu na ruch konny. Redukcja spadków z powyższych względów winna być stosowana na łukach i promieniach poni-

żej 40 m. Redukcja ta winna być większa przy łukach o promieniach mniejszych i mniejsza przy łukach o promieniach większych.



Rys. 142.

Na zasadzie wykresu na rys. 24 dla wozów czterokon-
nych można ustalić następującą redukcję spadków na łukach
(tabl. XXXII).

TABLICA XXXII.

zredukowanych spadków w łukach.

Najw. dop. wzniesienie w odcinkach prostych $s =$	3‰	4‰	5‰	6‰	7‰	8‰	9‰	10‰
Prom. łuku $r=6$ m.	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
10 m.	1,5	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
15 m. } 20 m. }	2	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
30 m.	2,5	3,5	4	4,5	6	7	8	9
40 m.	3‰	4‰	5‰	6‰	7	8‰	9‰	10‰