

KOLEJE
KONSPEKT DO ZAJĘĆ PROJEKTOWYCH
JACEK MAKUCH
marzec 2023

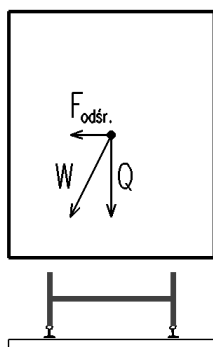
Konspekt opracowany jest przez doktora Jacka Makucha - stąd wszelkie odniesienia kierowane są do autorskiej strony: <https://zits.pwr.edu.pl/makuch/k.htm>

CZĘŚĆ 1 - PB ODCINKA LINII KOLEJOWEJ

I. OBLICZENIA

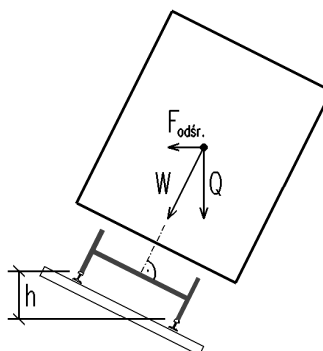
1. Projektowanie przechyłki

łuk „w prawo” – tor bez przechyłki



negatywne skutki
oddziaływania siły odśrodkowej:
- dyskomfort jazdy
- większe obciążenie (i w efekcie zużycie)
szyny zewnętrznej

łuk „w prawo” – tor z przechyłką



h - przechyłka
(D - wg *Stand. Techn. PKP PLK*):
wyniesienie szyny toku zewnętrznego
ponad szynę toku wewnętrznego

1.1 Wzory obliczeniowe:

a) przechyłka równoważąca naciski na oba toki szynowe - h_r [mm]

$$h_r = \frac{11,8 \cdot v^2}{R}$$

v - prędkość maksymalna pociągów [km/h]

R - promień łuku poziomego [m]

- liczymy osobno dla poc. pas. (h_r^{pas}) i tow. (h_r^{tow})

np.: dla linii kat.1 - $v_{max}=120$ km/h; $v_t=80$ km/h i łuku $R=1500$ m

$$h_r^{pas} = 113 \text{ mm}$$

$$h_r^{tow} = 50 \text{ mm}$$

b) przechyłka minimalna ze względu na ruch pasażerski

$$h_{\min}^{\text{pas}} = \frac{11,8 \cdot v_{\max}^2}{R} - 153 \cdot a_{\text{dop}}$$

$v_{\max}$ - prędkość maksymalna poc. pas. [km/h]

a_{dop} - dopuszcz. przysp. odśrodkowe [m/s²]:

– wartość podstawowa: 0,85

– przypadki szczególne:

dla taboru speł. wymag. TSI (Pendolino)			1,00	
tory boczne ($v \leq 40$ km/h)			0,65	
łuki dla:	200 m < R ≤ 250 m		0,65	
	R ≤ 200 m		0,45	
tory zwrotne rozjazdów zwyczajnych z krzyżownicą:	stałą	$v \leq 160$	0,72	
		$160 < v \leq 200$	0,58	
	ruchomą		$v \leq 200$	0,85
rozjazdy łukowe z krzyżownicą:	stałą w toku:	zwnętrznym	$v \leq 160$	0,72
			$160 < v \leq 200$	0,58
		wewnętrznym	$v \leq 200$	0,72
	ruchomą		$v \leq 200$	0,85
skrzyżowania torów i rozjazdy krzyżowe			$v \leq 100$	0,65
przyrządy wyrównawcze			$v \leq 160$	0,65
			$160 < v \leq 200$	0,52

UWAGA: wartości albo przypadki podkreślone - do zastosowania w naszym projekcie

np.: dla danych j.w. i $a_{\text{dop}} = 0,85$ m/s²

$$h_{\min}^{\text{pas}} = -17 \text{ mm}$$

(podajemy wartość ujemną, a nie zero !!!)

c) przechyłka maksymalna ze względu na ruch towarowy

$$h_{\max}^{\text{tow}} = \frac{11,8 \cdot v_t^2}{R} + 153 \cdot a_t$$

v_t - prędkość maksymalna poc. tow. [km/h]

a_t - dopuszcz. przysp. dośrodkowe [m/s²]:

Obciąż. przewoz. T	$T < 5$	$5 \leq T < 10$	$10 \leq T < 15$	$15 \leq T < 20$	$20 \leq T$
a_t	0,72	0,62	0,52	0,42	0,32

np.: dla danych j.w. i $a_t = 0,42$ m/s²

$$h_{\max}^{\text{tow}} = 115 \text{ mm}$$

1.2 Ograniczenia i zaokrąglanie

- przyjmujemy przechyłkę nie mniejszą niż 20 mm i nie większą niż 150 mm oraz zaokrąglamy do pełnych 5 mm

1.3 Optimalizacja przechyłki

- przyjmujemy przechyłkę h spełniającą następujące warunki:

$$h_r^{\text{tow}} \leq h \leq h_r^{\text{pas}} \quad (\text{w naszym przykł. - między } 50 \text{ a } 113)$$

$$h_{\min}^{\text{pas}} \leq h \leq h_{\max}^{\text{tow}} \quad (\text{w naszym przykł. - między } -17 \text{ a } 115)$$

$$20 \leq h \leq 150$$

dla której przyspieszenia odśrodkowe dla poc. pas. (a_{pas}) i dośrodkowe dla poc. tow. (a_{tow}) osiągną zbliżony poziom wykorzystania wartości dopuszczalnych (odpowiednio a_{dop} i a_t)

- przyspieszenia liczymy ze wzoru:

$$a = \frac{v^2}{R \cdot 3,6^2} - \frac{h}{153}$$

np.: dla danych j.w.

- optymalizację przechyłki należy przeprowadzić dla wartości z przedziału od 50 do 115 mm
- najwygodniej jest to zrobić w formie tabelarycznej:

przechyłka	Przyspieszenie		poziom wykorzyst. dopuszcz. wart. przysp.		różnica dwóch poprzednich kolumn
	odśr. dla poc. pas.	dośr. dla poc. tow.	dla poc. pas.	dla poc. tow.	
h	a_{pas}	a_{tow}	$\frac{a_{pas}}{a_{dop}}$	$\frac{a_{tow}}{a_t}$	$\frac{a_{pas}}{a_{dop}} - \frac{a_{tow}}{a_t}$
mm	m/s ²	m/s ²	%	%	%
50	0,41	0,00	48,7	0,6	48,1
55	0,38	-0,03	44,9	7,2	37,7
60	0,35	-0,06	41,0	15,0	26,0
65	0,32	-0,10	37,2	22,8	14,4
70	0,28	-0,13	33,3	30,5	2,8
75	0,25	-0,16	29,5	38,3	-8,9
80	0,22	-0,19	25,6	46,1	-20,5
85	0,19	-0,23	21,8	53,9	-32,1
90	0,15	-0,26	17,9	61,7	-43,7
95	0,12	-0,29	14,1	69,5	-55,4
100	0,09	-0,32	10,3	77,2	-67,0
105	0,05	-0,36	6,4	85,0	-78,6
110	0,02	-0,39	2,6	92,8	-90,2
115	-0,01	-0,42	1,3	100,6	-99,3

Ostatecznie przyjęta wartość przechyłki to 70 mm

2. Projektowanie ramp przechyłkowych

2.1 Rampą przechyłkową nazywamy odcinek toru, na którego długości dokonywana jest zmiana:

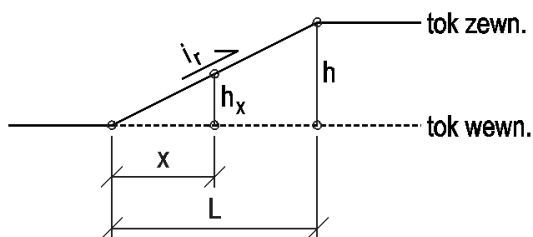
- od położenia toru bez przechyłki do położenia z pełną wymaganą przechyłką (pomiędzy prostą a łukiem),
- *od położenia toru z pewną wartością przechyłki, do położenia toru z inną wartością przechyłki (pomiędzy dwoma łukami zgodnymi, ale o różnych wartościach promieni).*

2.2 Rampy przechyłkowe wykonujemy na długości krzywych przejściowych,

a jeśli one nie występują to:

- *na odcinku prostym przed początkiem łuku,*
- *na łuku o większym promieniu, przed początkiem łuku o promieniu mniejszym.*

2.3 Stosujemy prostoliniowe rampy przechyłkowe

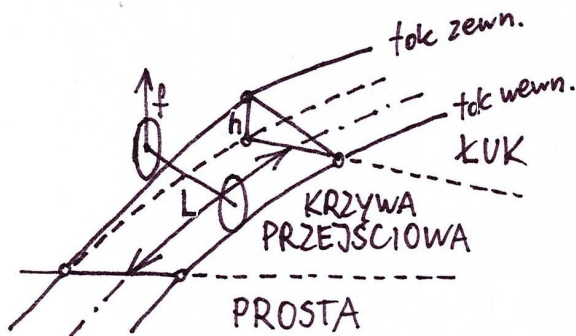


$$h_x = \frac{h}{L} \cdot x$$

$$i_r = \frac{h}{L} \cdot 100\%$$

2.4 Długości ramp przechyłkowych

- dobieramy tak, aby prędkość podnoszenia koła f [mm/s] nie przekroczyła wartości granicznej



$$L = \frac{v_{\max} \cdot h}{3,6 \cdot f_{gr}}$$

- $v_{\max}$ - prędkość maksymalna poc. pas. [km/h]
- h - przechyłka w łuku (albo różnica przechyłek dla dwóch sąsiednich łuków) [mm]
- f_{gr} - graniczna wartość prędkości podnoszenia koła [mm/s]:
 - w normalnych war. ter. - zasadnicza: 28 mm/s
 - w trudnych war. ter. - dopuszczalna: 50 mm/s

- wyliczoną długość L zaokrąglamy w górę do pełnego metra

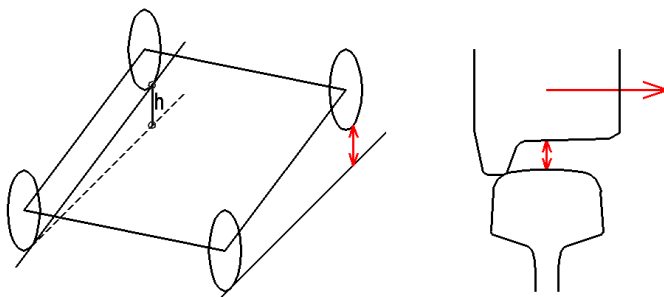
np.: dla danych j.w. i $f_{gr} = 28$ mm/s

$$L = 83,3 \text{ m}$$

ostatecznie przyjęta wartość długości rampy to 84 m

2.5 Maksymalne pochylenie rampy przechyłkowej

- ze względu na wichrowatość toru (zbyt duża może spowodować wykolejenie)



$$i_{r \max} = 2 \text{ mm/m (‰)}$$

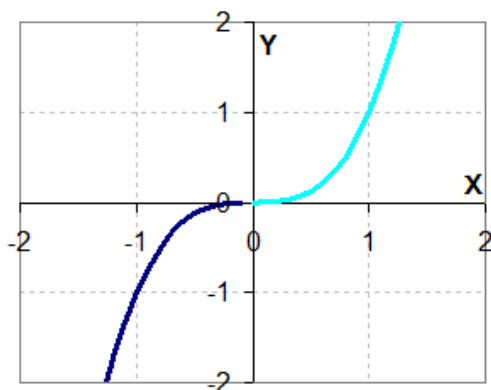
np.: dla danych j.w.

$$i_{r \max} = h / L = 0,83 \text{ ‰} \leq i_{r \max} = 2 \text{ ‰}$$

3. Projektowanie krzywych przejściowych (k.p.)

3.1 Jako krzywe przejściowe stosujemy parabole trzeciego stopnia

wykres funkcji $y = x^3$



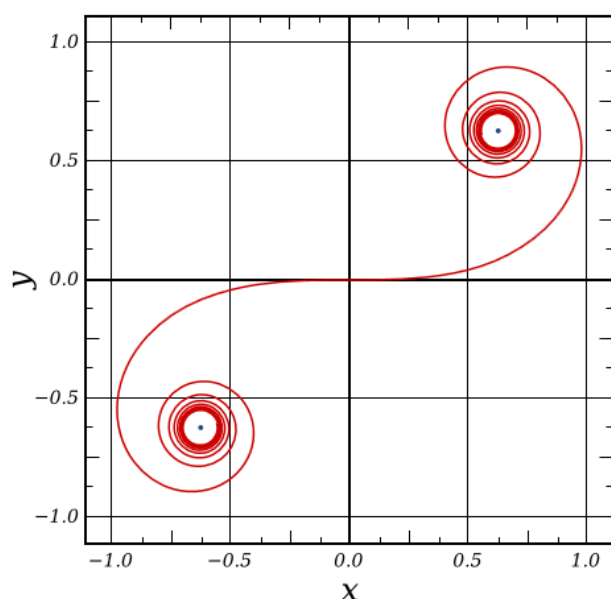
w kolejach stosujemy postać wzoru:

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot R \cdot L}$$

R - promień łuku poziomego za k.p. [m]

L - długość krzywej przejściowej [m]

- dlaczego akurat taka krzywa? - chcemy aby krzywizna ($k = 1/R$) rosła proporcjonalnie do długości krzywej, a właśnie druga pochodna z funkcji $y = x^3$ będzie miała postać $y = a \cdot x$
- krzywa $y = x^3$ zbyt szybko „ucieka” od osi X - dlatego x^3 dzielimy przez 6, ponadto chcemy uzależnić „tempo tego uciekania” od L i R - dlatego dzielimy również przez te wielkości
- parabola trzeciego stopnia - teoretycy matematyki uważają że nie ma czegoś takiego, ale drogowcy i kolejarze używają takiej nazwy
- wada paraboli trzeciego stopnia - krzywizna rośnie proporcjonalnie nie do długości krzywej, tylko do rzutu jej długości na oś X
- tej wady nie posiada kłotoida - inaczej spirala Cornu albo Eulera (krzywa opisana w roku 1874 przez francuskiego fizyka Marie Alfreda Cornu w związku z badaniami w dziedzinie optyki - dyfrakcji światła):



opisana równaniem parametrycznym:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = s - \frac{s^5}{40 \cdot a^4} + \frac{s^9}{3456 \cdot a^8} - \dots \\ y = \frac{s^3}{6 \cdot a^2} - \frac{s^7}{336 \cdot a^6} + \frac{s^{11}}{42240 \cdot a^{10}} - \dots \end{array} \right.$$

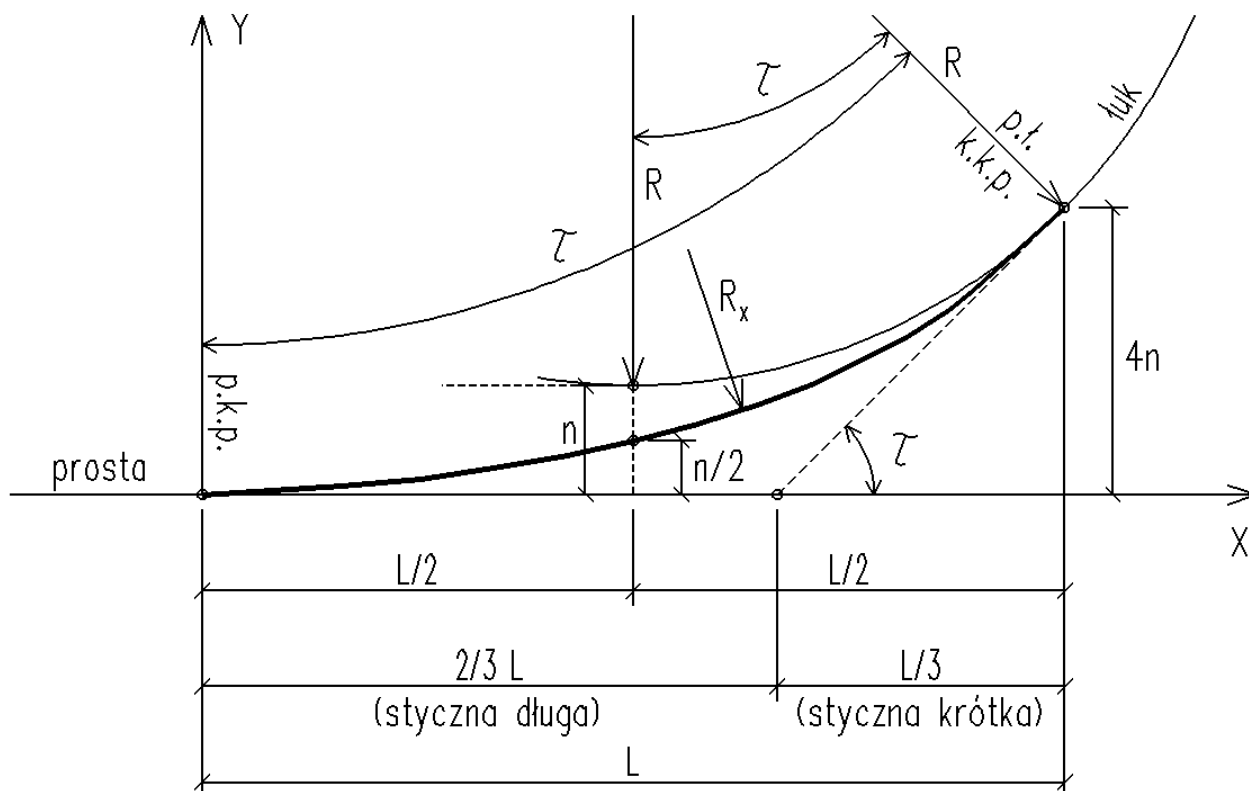
a - parametr kłotoidy: współczynnik wyrażający proporcjonalność krzywizny (k) do długości (s)

$$k = \frac{1}{a^2} \cdot s$$

$$a^2 = \frac{s}{k} = L_x \cdot R_x = L \cdot R = C$$

- jeśli z równania parametrycznego kłotoidy weźmiemy pod uwagę tylko pierwsze wyrazy rozwinięcia i przekształcimy do postaci jednego równania - to otrzymamy równanie paraboli
- wniosek: parabola trzeciego stopnia - jest uproszczoną kłotoidą !!!
- w praktyce:
 - o obecnie - dzięki wykorzystaniu technik komputerowych w projektowaniu, stosuje się kłotoidę zamiast paraboli trzeciego stopnia,
 - o przepisy kolejowe od pewnego czasu również dopuszczają taki kształt krzywej przejściowej

Parametry krzywej przejściowej w postaci paraboli trzeciego stopnia:



p.k.p. - początek krzywej przejściowej

k.k.p. - koniec krzywej przejściowej

p.ł. - początek łuku

uproszczenie: długość po paraboli = długość po prostej

(do zaniedbania: np. dla $L=100\text{ m} \rightarrow 4n = \text{tylko } 1\text{ m}$)

kąt zwrotu k. p.:

$$\tau = \arcsin\left(\frac{L}{2 \cdot R}\right)$$

odsunięcie łuku od stycznej:

$$n = \frac{L^2}{24 \cdot R}$$

promień k.p.:

$$R_x = \frac{L}{x} \cdot R$$

3.2 Długości krzywych przejściowych:

a) dla łuków z przechyłką - liczymy według tych samych zasad, co długości ramp przechyłowych:

$$L = \frac{v_{\max} \cdot h}{3,6 \cdot f_{gr}}$$

b) dla łuków bez przechyłki:

$$L = 0,0214 \frac{v_{\max}^3}{\psi_{dop} \cdot R}$$

ψ_{dop} - dopuszcz. przyrost przyspieszenia boczego [m/s^3]:

0,3 - tory gł. zas. i szlakowe - dogodne warunki terenowe

0,5 - tory gł. zas. i szlakowe - trudne warunki terenowe

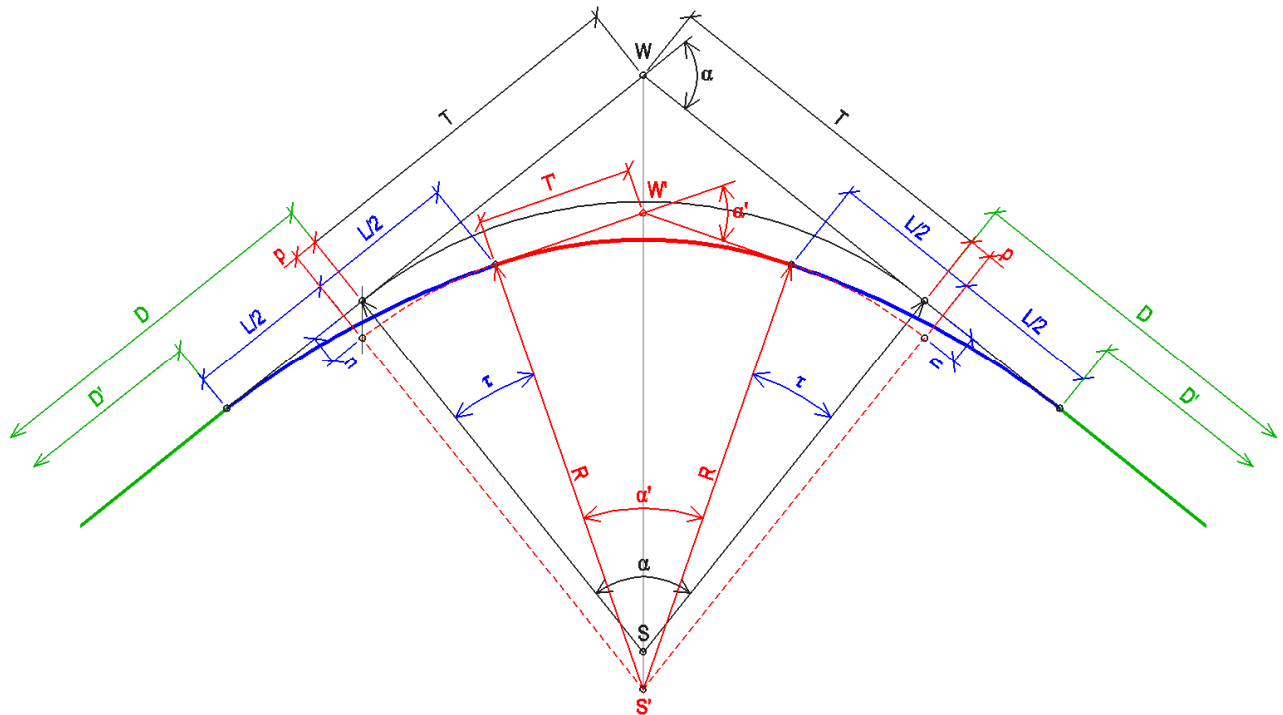
1,0 - tory gł. dod., boczne, rozjazdy i połączenia torowe

c) wyliczone długości L zaokrąglamy w górę do pełnego metra

d) jeśli dla wyliczonego L odsunięcie $n < 2$ cm - powiększamy L , tak aby uzyskać k. p. o wartości $n \geq 2$ cm (zalecenie wynikające z praktyki inżynierskiej - nie ma tego w przepisach)

3.3 Łuk kołowy z krzywymi przejściowymi

a) linie jednotorowe



– kolejność obliczeń (w ramkach - wielkości do wyliczenia):

1) łuk pierwotny:

$$\alpha, R, \boxed{T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \boxed{L = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ}}$$

2) parabola:

$$L, \boxed{n = \frac{L^2}{24 \cdot R}}, \boxed{\tau = \arcsin \frac{L}{2 \cdot R}}$$

3) łuk przesunięty i skrócony:

$$\text{nowy parametr - przesunięcie łuku po stycznej: } \boxed{p = n \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

$$\text{parametry łuku skróconego: } \boxed{\alpha' = \alpha - 2 \cdot \tau}, R, \boxed{T' = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2}}, \boxed{L' = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha'}{180^\circ}}$$

4) sąsiednie odcinki proste:

$$\boxed{D' = D - p - \frac{L}{2} - p_s - \frac{L_s}{2}} \quad (s - \text{dla k.p. sąsiednich łuków})$$

- kąty α , α' , τ oraz odległości n i p wyliczamy z dokładnością do 4 miejsc po przecinku, pozostałe wielkości – z dokładnością do 2 miejsc po przecinku
- kolejność konstruowania:

- łuk pierwotny
- łuk przesunięty i skrócony
- parabole
- wielkości podawane w opisie profilu PB:
 - łuki: α' , R , T' , L'
 - krzywe przejściowe: L
 - proste: D'

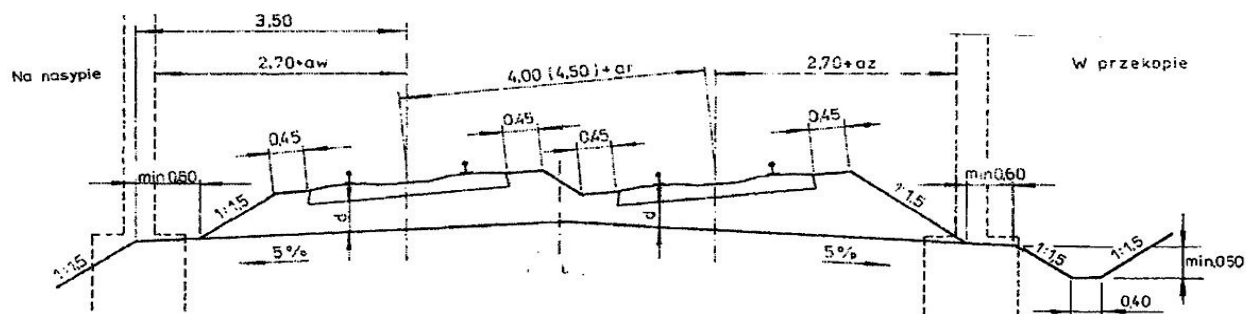
b) linie dwutorowe

Obliczenia należy przeprowadzić osobno dla osi:

- torowiska,
- toru zewnętrznego,
- toru wewnętrznego

i odpowiednio je uzależnić (łuki współśrodkowe, rozstaw torów).

Ponadto dla łuków o promieniach $R \leq 4000$ m należy uwzględnić konieczność poszerzenia rozstawu osiowego torów o wartość a_r :



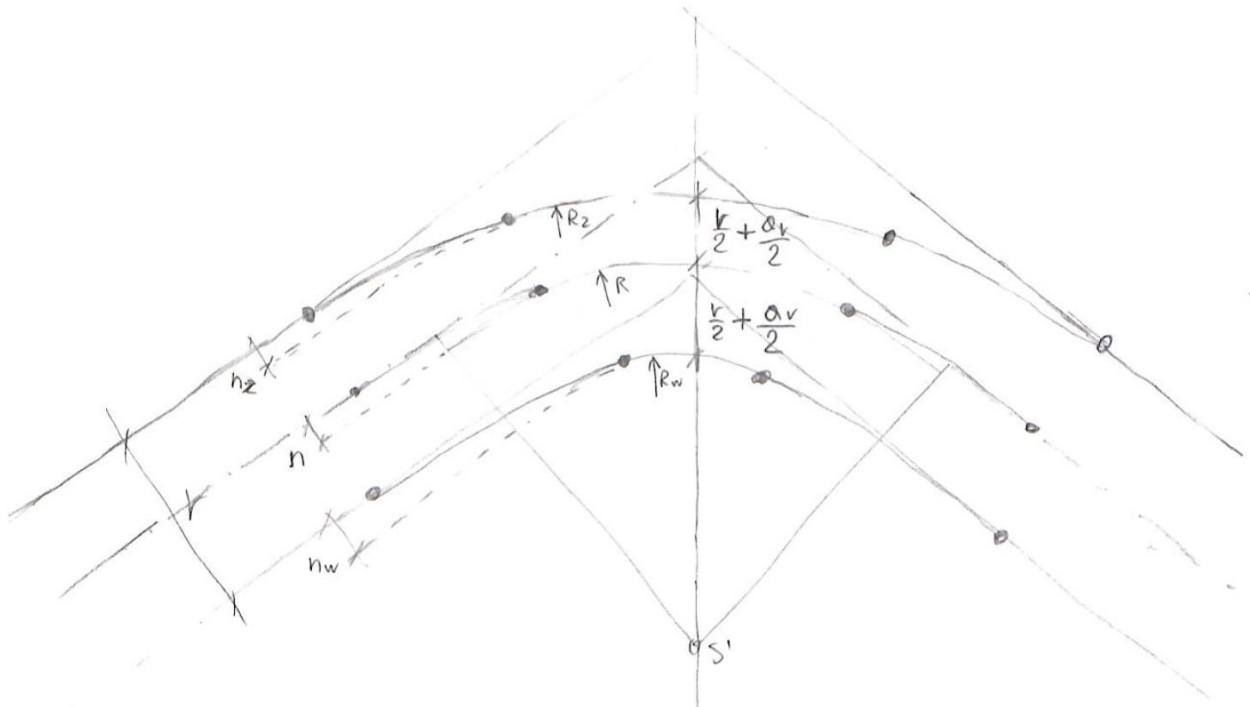
Ponieważ obecny sposób przeprowadzania tych obliczeń (według TSI – czyli norm PN EN 15273-3) jest bardzo skomplikowany – w naszym projekcie wykonajmy je „po staremu” (według zał. III Modułu A2 Id-1):

$$a_r = 2 \cdot \Delta b_R$$

gdzie: Δb_R - poszerzenie wywołane ustawianiem się pojazdu wzdłuż cięciwy, według tabeli:

R [m]	4000	3000	2000	1500	1200	1000	800	600	500	400	350	300	250	200	180
Δb_R [mm]	10	15	20	25	30	35	45	60	75	90	105	120	140	180	200

Metoda łuków współśrodkowych:



r - rozstaw osiowy torów na prostej

- oś międzytorza - tak jak dla osi toru linii jednotorowej (według podpunktu a)
- tor zewnętrzny: $R_z = R + \frac{r}{2} + \frac{a_r}{2}$, $n_z = n - \frac{a_r}{2}$, $L_z = \sqrt{24 \cdot R_z \cdot n_z}$, reszta obliczeń - jak dla osi toru linii jednotorowej (według podpunktu a)
- tor wewnętrzny: $R_w = R - \frac{r}{2} - \frac{a_r}{2}$, $n_w = n + \frac{a_r}{2}$, $L_w = \sqrt{24 \cdot R_w \cdot n_w}$, reszta obliczeń - jak dla osi toru linii jednotorowej (według podpunktu a)

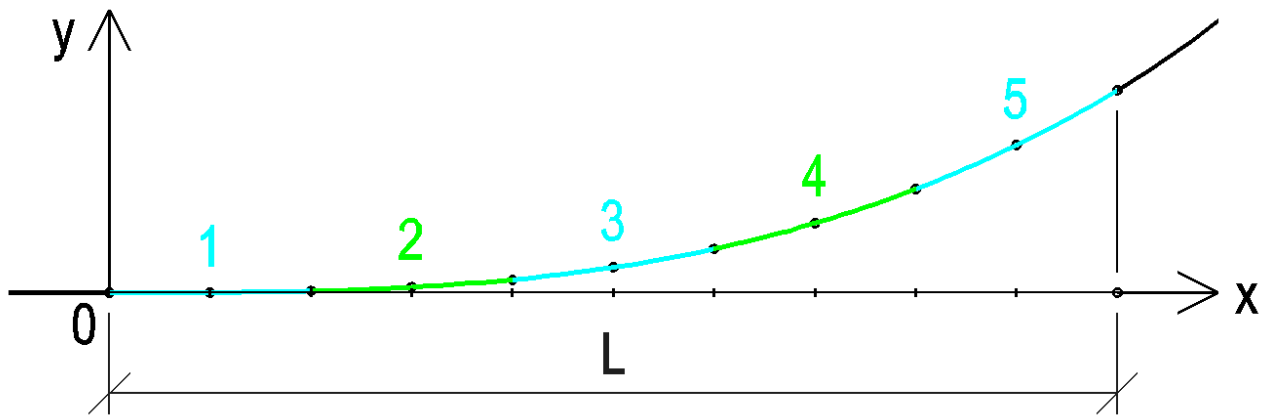
Co prawda w tej metodzie może się okazać, że L_z jest zbyt krótkie - krótsze od pierwotnie wyliczonego L (jeszcze przed zaokrągleniem w górę do pełnego metra), dlatego w takiej sytuacji należy obliczenia powtórzyć - dla odpowiednio wydłużonego L .

3.4 Konstruowanie paraboli

- parabolę możemy przybliżyć łukiem koszowym o kolejno malejących promieniach
- np. dla podziału L na 10 segmentów:
 - wyliczamy współrzędne punktów pośrednich:

x	$0,1 L$	$0,2 L$	...							L
y	...	...	...							

- konstruujemy graficznie kolejne łuki - metodą „trzech punktów”:



4. Sprawdzenie maksymalnych wartości parametrów kinematycznych

4.1 Na łuku - przyspieszenie boczne a [m/s²]

$$a = \frac{v^2}{R \cdot 3,6^2} - \frac{h}{153}$$

v – prędkość przejazdu pojazdu kolejowego [km/h]

h, R – j.w.

- sprawdzamy osobno dla poc. pas. i poc. tow.

$$a_{pas} \leq a_{dop}$$

$$|a_{tow}| \leq a_t$$

4.2 Na rampie przechyłkowej - prędkość podnoszenia koła f [mm/s]

$$f = \frac{v \cdot h}{3,6 \cdot L}$$

v, h, L – j.w.

- sprawdzamy tylko dla poc. pas.

$$f \leq \begin{cases} 28 \text{ mm/s (zasadnicza)} \\ 50 \text{ mm/s (dopuszczalna - wyjątkowo w trudnych war. ter.)} \end{cases}$$

4.3 Na krzywej przejściowej - przyrost przyspieszenia bocznego ψ [m/s³]

$$\psi = \frac{v \cdot |a|}{3,6 \cdot L}$$

v, a, L – j.w.

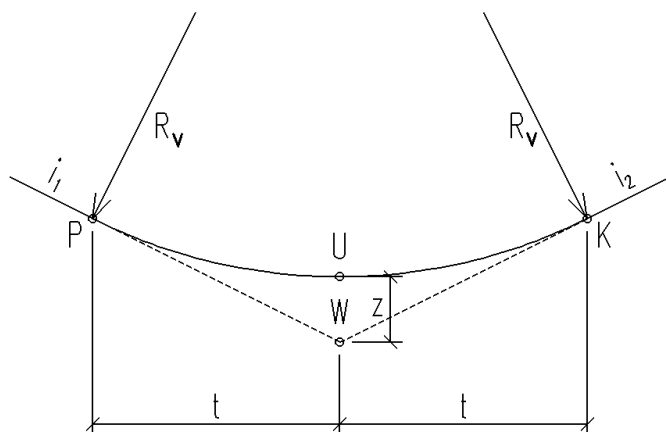
- sprawdzamy osobno dla poc. pas. i poc. tow.

$$\psi_{pas} \leq \psi_{dop}$$

$$\psi_{tow} \leq \psi_{dop}$$

UWAGA: dla linii dwutorowych, obliczenia z podpunktów 4.1 – 4.3 przeprowadzamy osobno dla toru łuku wewnętrznego i osobno dla toru łuku zewnętrznego.

5. Projektowanie łuków pionowych



W – wierzchołek (punkt załomu)

P – początek łuku

K – koniec łuku

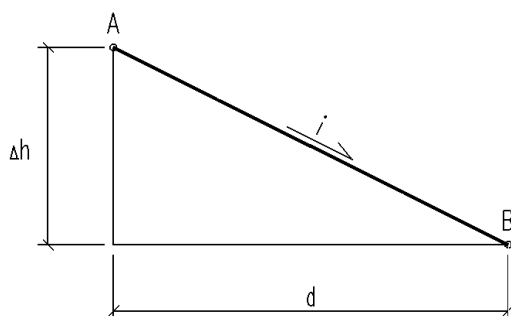
U – punkt łuku nad załomem

i_1, i_2 - pochylenia [%o]

R_v - promień [m]

t - styczna [m] - (rzut na oś poziomą !)

z - odległość punktu załomu od krzywizny łuku [mm] (strzałka - niepoprawnie !)



pochylenia mają:

- wartość:

$$i = \frac{\Delta h}{d} \cdot 1000 \text{ ‰}$$

- znaki:

- w dół: $i < 0$ (ujemne)

- w górę: $i > 0$ (dodatnie)

5.1 Algebraiczna różnica sąsiednich pochyłeń Δi [%o]

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

i_1 – pochylenie przed załomem

i_2 – pochylenie za załomem

5.2 Styczna t [m]

$$t = \frac{R_v \cdot |\Delta i|}{2000}$$

R_v – promień łuku pionowego [m]

$R_{v \min} = 10\,000$ m - linie kat. 0 i 1

5 000 m - linie kat. 2

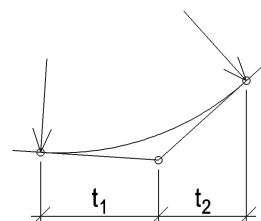
2 000 m - linie kat. 3

5.3 Odległość z [mm]

$$z = \frac{R_v \cdot \Delta i^2}{8000}$$

UWAGA:

- t jest wyliczane w [m], natomiast z - w [mm] !
- wzory na t i z dają wyniki przybliżone ! (sformułowane przy zał., że dla małych wart. $\alpha \rightarrow \tan \alpha = \alpha$), (rozbieżności do zaniedbania - na poziomie 0,5‰)
- z progr. komp. - dokładnie:
 - sami konstruujemy (Autocad, Microstation, SkethUp)



- program nam wylicza (Civil3D, OpenRail, Ferrovia, Novapoint Railway) $t_1 \neq t_2$
- obie styczne mogą się różnić ! (*rozbieżności do 0,3‰ – czyli do zaniedbania*)
- łuków pionowych nie projektuje się, jeżeli wyliczone $z < 8$ mm (*w projekcie można pozostawić załom, gdyż w rzeczywistości szyna dzięki swej sprężystości sama wykształci łuk pionowy*)
- jednakże w naszym projekcie (*ze względów czysto dydaktycznych*) tak dobieramy wartość R_V , aby uzyskać $z \geq 8$ mm (*tak aby przeciwiczyć konstruowanie łuku pionowego*)

6. Do wykonania w projekcie

- w zależności od określonej w karcie tematu projektu kategorii linii przyjmujemy:
 - maksymalną prędkość pociągów pasażerskich (v_{max})
 - maksymalną prędkość pociągów towarowych (v_t)
 - klasę torów
 - maksymalne obciążenie przewozami (T)
- dla przypomnienia (z przedmiotu Koleje-podstawy):
 - dla linii kat. 1: $v_{max} = 120$ km/h, $v_t = 80$ km/h, klasa torów - 1, T - powyżej 25 Tg/rok
 - dla linii kat. 2: $v_{max} = 80$ km/h, $v_t = 60$ km/h, klasa torów - 2 albo 3, $T = 25$ albo 15 Tg/rok
 - dla linii kat. 3: $v_{max} = 60$ km/h, $v_t = 50$ km/h, klasa torów - 4, $T = 8$ Tg/rok
- określamy dopuszczalne wartości przyspieszeń odśrodkowych i dośrodkowych w łukach poziomych (a_{dop} , a_t)
- dla projektowanego przez nas odcinka linii kolejowej:
 - wyliczamy wartość przechyłki optymalnej w łuku poziomym (h)
 - wyliczamy długość rampy przechyłkowej i krzywej przejściowej (L)
 - sprawdzamy wartość pochylenia rampy przechyłkowej (i_r)
 - wyliczamy podstawowe parametry krzywej przejściowej (τ , n)
 - wyliczamy podstawowe parametry łuku przesuniętego i skróconego (p , α' , T' , E')
 - sprawdzamy maksymalne wartości parametrów kinematycznych (a , f , ψ)
 - określamy wartość promienia łuku pionowego (R_V) i wyliczamy podstawowe jego parametry (Δi , t , z)
- przykład obliczeń - na mojej stronie internetowej

II. RYSUNKI

Podobnie jak w projekcie koncepcyjnym (projekt z przedmiotu Koleje-podstawy) mamy do wykonania trzy typy rysunków: plan sytuacyjny, profil podłużny i przekroje poprzeczne.

Różnica jest natomiast taka, że o ile w projekcie koncepcyjnym można było je wykonywać kolejno jeden po drugim - od początku do końca, to teraz konieczne będzie przynajmniej częściowe ich równoczesne wykonywanie:

- *zaczniemy od planu sytuacyjnego, ale wykonamy go tylko do pewnego momentu,*
- *przejdziemy do profilu podłużnego, który również wykonamy do pewnego momentu,*
- *dopiero przekroje poprzeczne wykonamy od początku do końca,*
- *po czym wrócimy na profil podłużny, a potem na plan sytuacyjny, aby je dokończyć.*

1. Wygląd rysunków

- przykłady na mojej stronie internetowej

2. Kolejność postępowania

a) plan sytuacyjny:

- wykorzystujemy rysunek (*plik dwg*) planu sytuacyjnego projektu koncepcyjnego (z przedmiotu *Koleje-podstawy*), ale ograniczamy się jedynie do projektowanego przez nas wybranego odcinka linii kolejowej (*obejmującego fragment prostej i łuku poziomego*)
- korzystając z opisu długości linii kolejowej (*oznaczeń kilometrów*) zaznaczamy początek i koniec naszego odcinka
- obracamy widok rysunku tak, aby trasa naszego odcinka przebiegała ze strony lewej do prawej, „w miarę” poziomo (*UWAGA: obracamy sam widok rysunku, a nie wszystkie narysowane w nim elementy*)
- zaznaczamy wstępnie granice rysunku planu sytuacyjnego:
 - rysunek jest w skali 1:1000, czyli 1 m w rzeczywistości - to będzie 1 mm na rysunku
 - wskazane aby rysunek mieścił się w pionie na formacie A4 (297 mm)
 - jeżeli nasz odcinek ma 500 m długości – rysujemy prostokąt o wymiarach:
 - poziomo 500 m + 2 x 50 m („zapasy” na początku i końcu) = 600 m
 - pionowo 297 mtak, aby nasz odcinek znalazł się w jego środku
- w zakresie narysowanego prostokąta:
 - z rysunku planu sytuacyjnego projektu koncepcyjnego (*z wyświetlanej w pliku dwg podczytanej mapy jpg*) odrysowujemy poziomice oraz przebieg cieku i drogi (*jeśli występują*)
 - zagęszczamy poziomice (dodajemy nowe - co 0,25 m wysokości) – to jest w sumie „sztuczna robota”, gdyż w profesjonalnym projektowaniu po prostu korzystalibyśmy z dokładniejszych map, ale w naszym projekcie musimy sami sobie je w ten sposób wygenerować (*UWAGA: w rysunku przykładowym na mojej stronie internetowej jest nieco inaczej - zagęszczone poziomice są co 0,5 m*)
 - zaznaczamy kierunek północy
 - dodajemy symbole hektometrów
- projektujemy łuk z krzywą przejściową:

- przesuwamy i skracamy łuk (można to zrobić „globalnie” – odwołując się do wszystkich wyliczonych parametrów, albo tylko „lokalnie” – odwołując się jedynie do wyliczonych: p, n i $L/2$)
- odnajdujemy początek i koniec paraboli
- konstruujemy parabolę (*np. przybliżając jej przebieg pięcioma łukami*)
- przerywamy tworzenie rysunku planu sytuacyjnego

b) profil podłużny

- rozpoczynamy od narysowania dolnej części tabelarycznej – analogicznie jak w przypadku profilu podłużnego z projektu koncepcyjnego (*z przedmiotu Koleje-podstawy*), z tą tylko różnicą, że rubryki z rzędnymi niwelety są dwie: osobna dla niwelety główki szyny i osobna dla niwelety torowiska
- wypełniamy rubryki:
 - kolometrażu – oznaczenia co hektometr; *UWAGA: inna niż w projekcie koncepcyjnym skala pozioma (1:1000)*
 - proste i łuki poziome – również nieco inaczej niż w projekcie koncepcyjnym, gdyż pokazujemy już krzywą przejściową, a parametry łuku i prostej są nieco inne
 - rzędne terenu i odległości – odwzorowujemy z planu sytuacyjnego, uzupełnionego o zagęszczone (nowo dodane) poziomicę
 - pochylenia i rzędne niwelety – przenosimy dane z profilu podłużnego projektu koncepcyjnego (*z przedmiotu Koleje-podstawy*), a następnie w załomie dodajemy symbol oraz dane dotyczące wyliczonego łuku pionowego
- określamy poziom porównawczy; *UWAGA: inna niż w projekcie koncepcyjnym skala pionowa (1:100)*
- rysujemy górną część graficzną:
 - odwzorowanie terenu
 - opis dolny: ciek, droga
 - niwelety główki szyny oraz torowiska (z pokazaniem łuku pionowego)
 - opis górny: początek i koniec odcinka, przepust (określamy jego typ i wymiary; *UWAGA: stosujemy przepusty prostokątne !*), przejazd kol.-drog. (określamy jego kategorię)
- przerywamy tworzenie rysunku profilu podłużnego

c) przekroje poprzeczne

- w przeciwieństwie do przekrojów normalnych z projektu koncepcyjnego (*z przedmiotu Koleje-podstawy*) nie są to rysunki ogólne – w przypadku których, na minimalnej ich liczbie (*konkretnie dwóch – osobno na prostej / w łuku*) staraliśmy się pokazać maksymalną liczbę przypadków, jakie mogły wystąpić w projekcie (*osobno w nasypie / w przekopie*)
- w projekcie budowlanym rysujemy przekroje poprzeczne, które są dowiązane do konkretnych miejsc na długości projektowanego przez nas wybranego odcinka linii kolejowej
- im więcej ich wykonamy, tym łatwiej będzie nam wrócić i dokończyć rozpoczęte już rysunki profilu podłużnego i planu sytuacyjnego
- na pewno potrzebujemy wykonać przekroje poprzeczne w następujących czterech miejscach:
 - na początku odcinka
 - na końcu odcinka
 - w miejscu projektowanego przepustu
 - w miejscu projektowanego przejazdu kol.-drog.
- dobrze jest również wykonać je na początku i na końcu krzywej przejściowej
- każdy rysunek przekroju poprzecznego posiada:

- w nagłówku – lokalizację miejsca w którym jest wykonany
- w środku – część graficzną
- na dole – część tabelaryczną (*podobnie jak w rysunku profilu podłużnego*)
- jego skala to 1:100 zarówno w pionie jak i poziomie (*brak skażenia*)
- przekroje rysujemy w widoku zgodnie z kierunkiem kilometrażu linii (*odwrotnie niż w standardowych rysunkach technicznych*)
- w części graficznej i tabelarycznej czarnym kolorem pokazujemy elementy istniejące, a czerwonym - projektowane
- część tabelaryczna zawiera cztery rubryki; opisy rubryk odległości zaczynają się (są tam wartości 0,00) od środka - od osi toru (dla linii jednotorowych) albo międzytorza (dla linii dwutorowych) odpowiednio w lewo i w prawo (tylko wartości dodatnie)
- dla każdego z tworzonych przekrojów poprzecznych:
 - dobieramy odpowiednią wartość poziomu porównawczego
 - z wykonanego już częściowo rysunku profilu podłużnego odczytujemy rzędną terenu i wprowadzamy ją do rubryki „Rzędne terenu” w miejscu osi toru (tam gdzie w rubryce „Odległości istniejące” jest wartość 0,00); na jej podstawie w części graficznej rysujemy (czarnym kolorem) linie terenu; jego pochylenia wnioskujemy na podstawie przebiegu poziomicy z wykonanego już częściowo rysunku planu sytuacyjnego
 - również z wykonanego już częściowo rysunku profilu podłużnego odczytujemy rzędną niwelety i wprowadzamy ją do rubryki „Rzędne projektowane” w miejscu osi toru - dla linii dwutorowych, natomiast w najwyższym punkcie torowiska (tam gdzie w rubryce „Odległości projektowane” jest wartość 2,00) - dla linii jednotorowych; na jej podstawie w części graficznej rysujemy (czerwonym kolorem): torowisko, rowy boczne (jeśli przekrój wypada w przekopie), skarpy; rysując - stosujemy wartości odległości i pochyłeń takie jak na rysunku przekroju normalnego z projektu koncepcyjnego (*z przedmiotu Koleje-podstawy*)
 - znajdujemy przecięcia linii skarp z liniami terenu
 - dla przekrojów wypadających w nasypie, w przypadkach tego wymagających (nasyp niższy niż 0,6 m albo teren pochylony w stronę nasypu) konstruujemy rowy odprowadzające z ławami ochronnymi
 - wrysowujemy nawierzchnię (pryzmę podsypki, podkład i szyny), albo tylko pokazujemy „krzyżyki” - symbolizujące najwyższe punkty główek szyn;
 - uzupełniamy rzędne i odległości w części tabelarycznej
 - podajemy rzędne główki (jednej - na prostej) / główek (obu - w łuku) szyn
 - wrysowujemy dolną linię warstwy ochronnej
 - czarne linie poziomu terenu w miejscach gdzie jest on usuwany (przekop oraz rowy odprowadzające) zamieniamy na linię przerywaną
 - kolorujemy nasypy (na różowo) i przekopy (na żółto) - pomiędzy powierzchnią terenu, a spodem warstwy ochronnej; nie w postaci kreskowań, tylko jako jednolite wypełnienia; kolory łagodne (pastelowe), a nie intensywne
- przekroje wypadające w miejscach przepustu oraz przejazdu kol.-drog. rysujemy najpierw bez tych obiektów, a dopiero potem dodajemy elementy charakterystyczne tych rozwiązań
- po wykonaniu wszystkich przekrojów poprzecznych wracamy do rysunku profilu podłużnego

d) profil podłużny

- dorysowujemy przebiegi rowów (na podstawie rzędnych ich dna z przekrojów poprzecznych); dodajemy legendę ich oznaczeń (*UWAGA: obecnie stosuje się rozróżnienie tylko na rów lewo i prawostronny !*)
- rysujemy symbol przepustu (prostokątny !), z uwzględnieniem skażenia skali

- rysujemy roboczą (niewidoczną na „gotowym” rysunku) linię poziomą spodu warstwy ochronnej
- kolorujemy nasypy (na różowo) i przekopy (na żółto) – do poziomu wspomnianej powyżej roboczej linii spodu warstwy ochronnej (*UWAGA: w rysunku przykładowym na mojej stronie internetowej jest inaczej - „po staremu” tzn. bez warstwy ochronnej*); nie w postaci kreskowań, tylko jako jednolite wypełnienia; kolory łagodne (pastelowe), a nie intensywne; w świetle przepustu nie dajemy kolorowania nasypu
- wracamy do rysunku planu sytuacyjnego

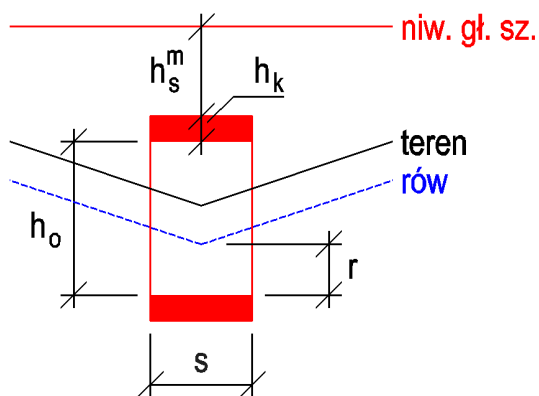
e) plan sytuacyjny

- przenosimy odległości z wykonanych rysunków przekrojów poprzecznych (*oznaczenia robocze: 1 - krawędzie torowiska, 2 - dolne krawędzie skarp nasypu, 3 - oś dna rowu, 4 - zewnętrzna górna krawędź rowu*) i rysujemy:
 - krawędzie skarp - górne i dolne (*dolne tylko dla nasypu*)
 - przebiegi rowów (oś ich dna)
- rysujemy:
 - elementy przepustów
 - elementy przejazdu kol.-drog. z dojazdami (w tym ewentualnie odcinek drogi wymagający przebudowy - wyniesienia jej na nasyp, „spotkanie się” nasypów drogi i linii kolejowej, przepusty pod drogą w kontynuacji rowów wzdłuż linii kolejowej)
- usuwamy poziomice z powierzchni przeznaczonej do wykonania prac budowlanych (spod nasypu albo przekopu)
- kolorujemy ale tylko skarpy (czyli bez torowiska !): nasypów (na zielono - UWAGA: nie na różowo !) oraz przekopów i rowów (na żółto); nie w postaci kreskowań, tylko jako jednolite wypełnienia; kolory łagodne (pastelowe), a nie intensywne
- kreskujemy powierzchnie skarp (w celu pokazania kierunku ich pochyłości), nie trzeba zakreślować całych powierzchni – wystarczy w pewnych odstępach
- dodajemy odnośniki oznaczeń:
 - początku i końca odcinka linii kolejowej
 - początku i końca krzywej przejściowej
 - przepustu wraz z jego wymiarami (w świetle)
 - przejazdu kol.-drog. wraz z jego kategorią
 - załomu profilu podłużnego z łukiem pionowym
- dodajemy symbole kierunku spadku rowów

3. Informacje uzupełniające

a) przepusty

- przekroje prostokątne (płaskie szerokie dno - ułatwia migrację zwierząt)
- z prefabrykowanych elementów żelbetowych
- kąt skrzyżowania - 90°
- wymiary:



h_s^m - wys. skrajni dla maszyn do robót torowo-
podtorzowych ($Id-3$) = 1,5 m

h_k - grubość płyty górnej = 0,3 m
(nadmiarowo - różni producenci, zapas na izolację)

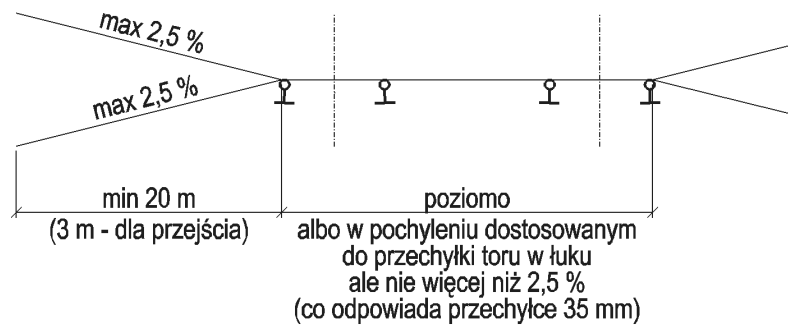
h_o - wysokość przepustu w świetle
typowe (prefabrykacja) = 1 m; 1,5 m; 2 m

s - szerokość przepustu = h_o

r - zagłębienie dna cieku w stosunku do dna ujęcia
rowu = min 0,2 m

b) przejazdy kol.-drog.

- nie mogą występować na przecięciach z autostradami i drogami ekspresowymi, a ponadto na długości:
 - o ramp przechyłkowych
 - o łuków z przechyłką ponad 35 mm
 - o rozjazdów
- kategorie:
 - o A - przejazd użytku publicznego z rogatkami (szlabanami) na całą szerokość jezdni i sygnalizacją świetlną, obsługiwany przez dróżnika (albo bez tych urządzeń, ale z ruchem drogowym kierowanym przez pracownika kolejowego)
 - o B - przejazd użytku publicznego z półrogatkami (tylko na wjeździe) i sygnalizacją świetlną samoczynną
 - o C - przejazd użytku publicznego z sygnalizacją świetlną samoczynną
 - o D - przejazd użytku publicznego bez rogatek i sygnalizacji świetlnej (niestrzeżony)
 - o E - przejście dla pieszych użytku publicznego z rogatkami i sygnalizacją świetlną, albo tylko z labiryntami, kołowrotekami lub barierkami, albo nawet bez nich
 - o F - przejazd lub przejście użytku niepublicznego (na drogach wewnętrznych) z rogatkami zamkniętymi, otwieranymi przez użytkowników tylko w razie potrzeby
- w profesjonalnych projektach kategorię przejazdu ustala się na podstawie tzw. iloczynu ruchu (pojazdów kolejowych i drogowych); w naszych projektach proszę przyjmować:
 - o dla dróg wojewódzkich, powiatowych i gminnych - kat. A albo B
 - o dla pozostałych dróg - kat. C albo D
- kąt skrzyżowania:
 - o 90° - zalecany
 - o 60° - minimalny (45° - koleje wąskotorowe; 30° - bocznice)
- droga w planie:
 - o w odcinku prostym - zalecane, wtedy początki krzywizn (łuków albo krzywych przejściowych) drogi w planie (jeśli występują) - oddalone minimalnie 6 m od skrajnej szyny
 - o w łuku (na przejeździe) - dopuszczalne
- droga w profilu podłużnym:



- droga w przekroju poprzecznym:
 - pochylenia poprzeczne drogi dostosowuje się do pochyłeń podłużnych torów kolejowych
 - na rysunku planu sytuacyjnego pokazujemy symbole dwóch płyt przejazdowych (po obu stronach osi toru), choć w rzeczywistości są to trzy płyty (jedna między szynami i dwie na zewnątrz szyn), a ponadto wzdłuż toru są to rzędy płyt (a nie pojedyncze)
- c) załomy i łuki pionowe
- załomy i łuki pionowe nie mogą być wykonywane na długości:
 - krzywych przejściowych z rampami przechyłkowymi (*ze wzgl. na niekomplikowanie geometrii*)
 - mostów i wiaduktów bez podsypki (*j.w., a ponadto, aby uniknąć działania siły odśrodkowej w przypadku łuku pionowego wklęsłego*)
 a jedynie w odległości 6 m od nich
 - załomy i łuki pionowe wklęsłe pomiędzy pochyleniami odwrotnymi nie mogą być wykonywane w przekopach (*ze wzgl. na odwodnienie*)