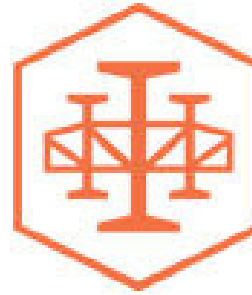




Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego



**Katedra Dróg,
Mostów, Kolei
i Lotnisk**

dr inż. Jacek Makuch

KOLEJE PODSTAWY

zajęcia projektowe

prezentacja nr 3

PROJEKTOWANIE LINII KOLEJOWEJ W PLANIE

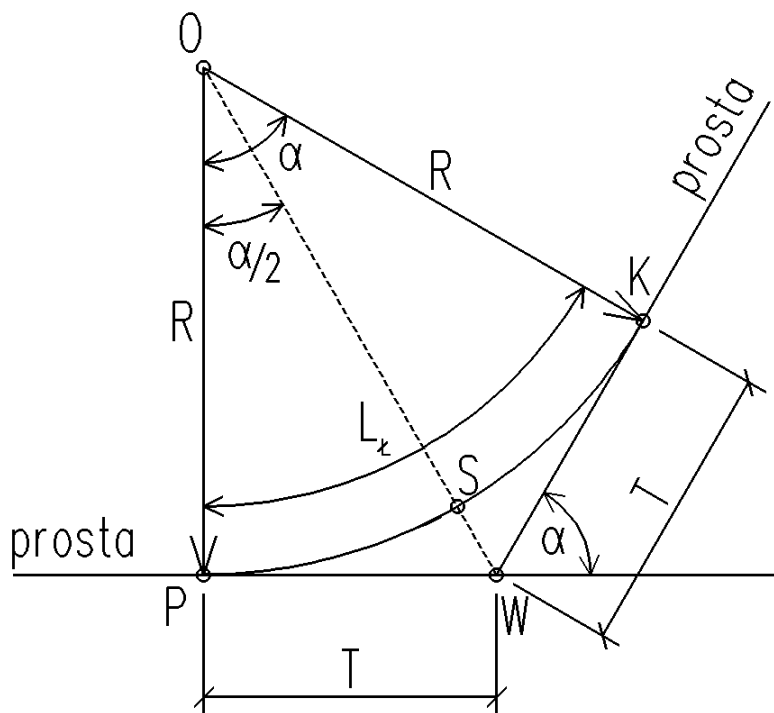
studia I stopnia, semestr 5
rok akademicki 2026/27, semestr zimowy

1. Elementy geometrii toru w planie

a) odcinki proste

- w przypadku ich niewielkiej długości – nazywane wstawkami prostymi
- podstawowy (*i właściwie jedyny*) ich parametr to długość - L_P
(*L - od angielskiego słowa „length”, indeks P – od polskiego „prosta”*)
(*starsze oznaczenie D - od słowa „długość”*)

b) łuki poziome



punkty charakterystyczne:

W – wierzchołek

O – środek

P – początek

S – środek długości

K - koniec

parametry:

α - kąt zwrotu (wg standardów γ)

R - promień (od angielskiego „radius”; w literaturze niekiedy R_H (H - horizontal))

T - styczna (od angielskiego „tangent”; wg standardów t)

L_L - długość (wg standardów L_L ; starsze oznaczenia: D, L, U, L_U)

WS - odległość od wierzchołka łuku do środka jego długości (*niekiedy w literaturze nazywana „strzałką” - niepoprawnie*)

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$L_{\ell} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^{\circ}}$$

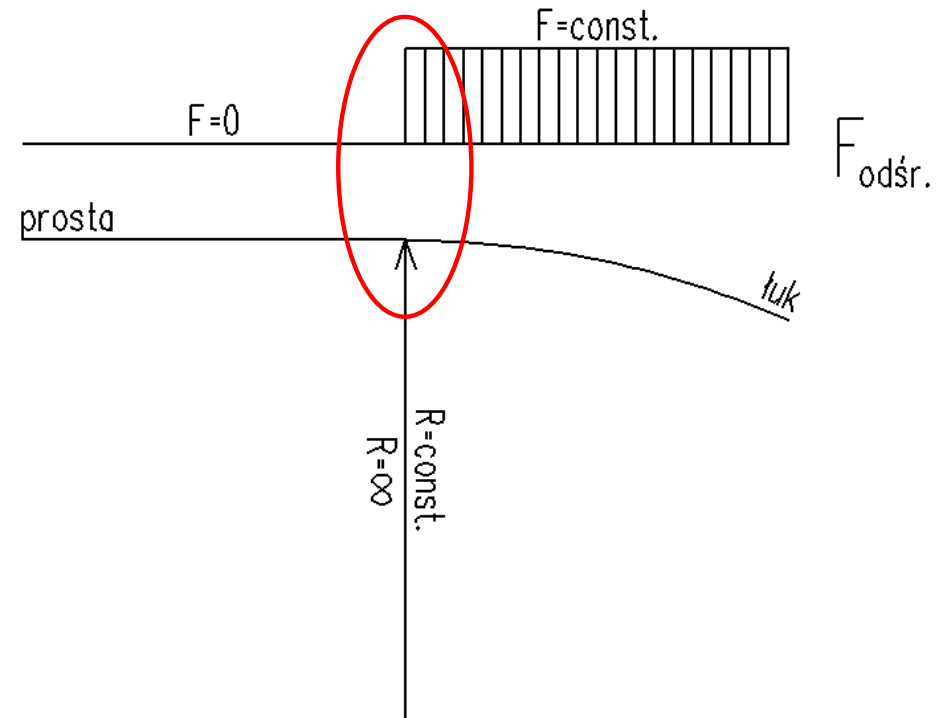
$$WS = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

$$WS = \sqrt{R^2 + T^2} - R$$

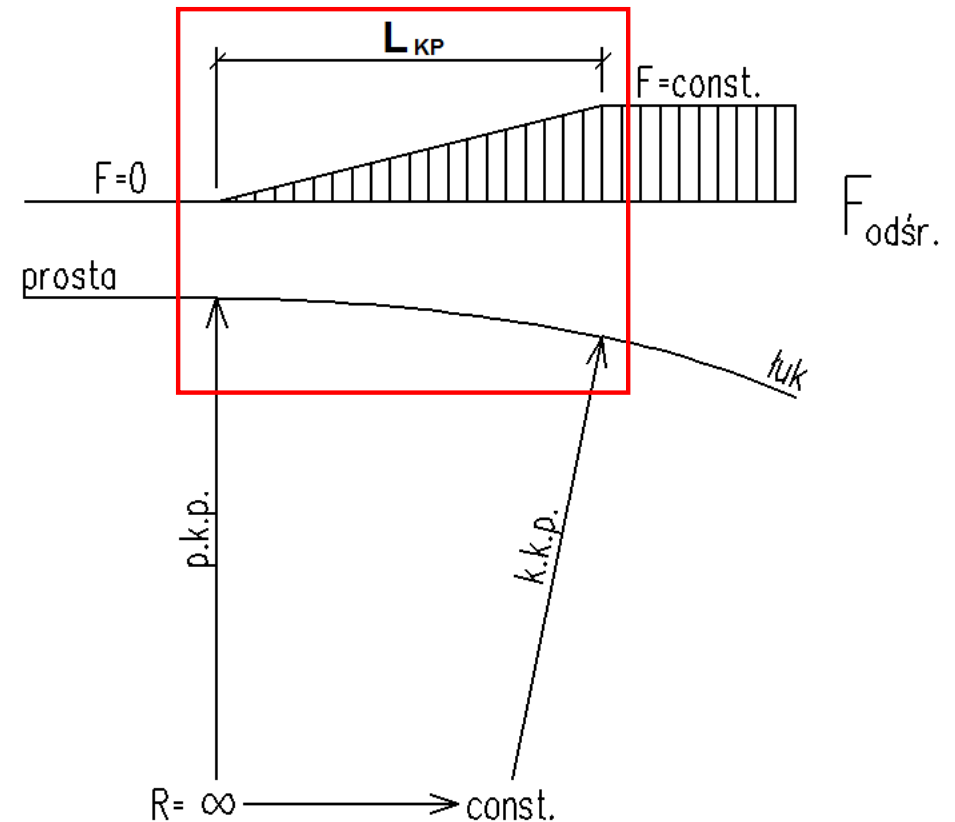
c) **krzywe przejściowe**

- w skrócie – k.p.
- krzywe, na długości których promień R - nie jest wartością stałą i zmienia się płynnie:
 - od nieskończoności (∞ - *jak na prostej*)
 - do pewnej stałej wartości (*constans* - *jak w łuku kołowym*)
- stosuje się je pomiędzy odcinkami prostymi a łukami
 - po to, aby zminimalizować negatywne skutki skokowej zmiany wartości siły odśrodkowej
 - powodującej:
 - dyskomfort jazdy
 - większe obciążenie i w efekcie zużycie szyny zewnętrznej

- układ bez krzywej przejściowej:



- układ z krzywą przejściową:

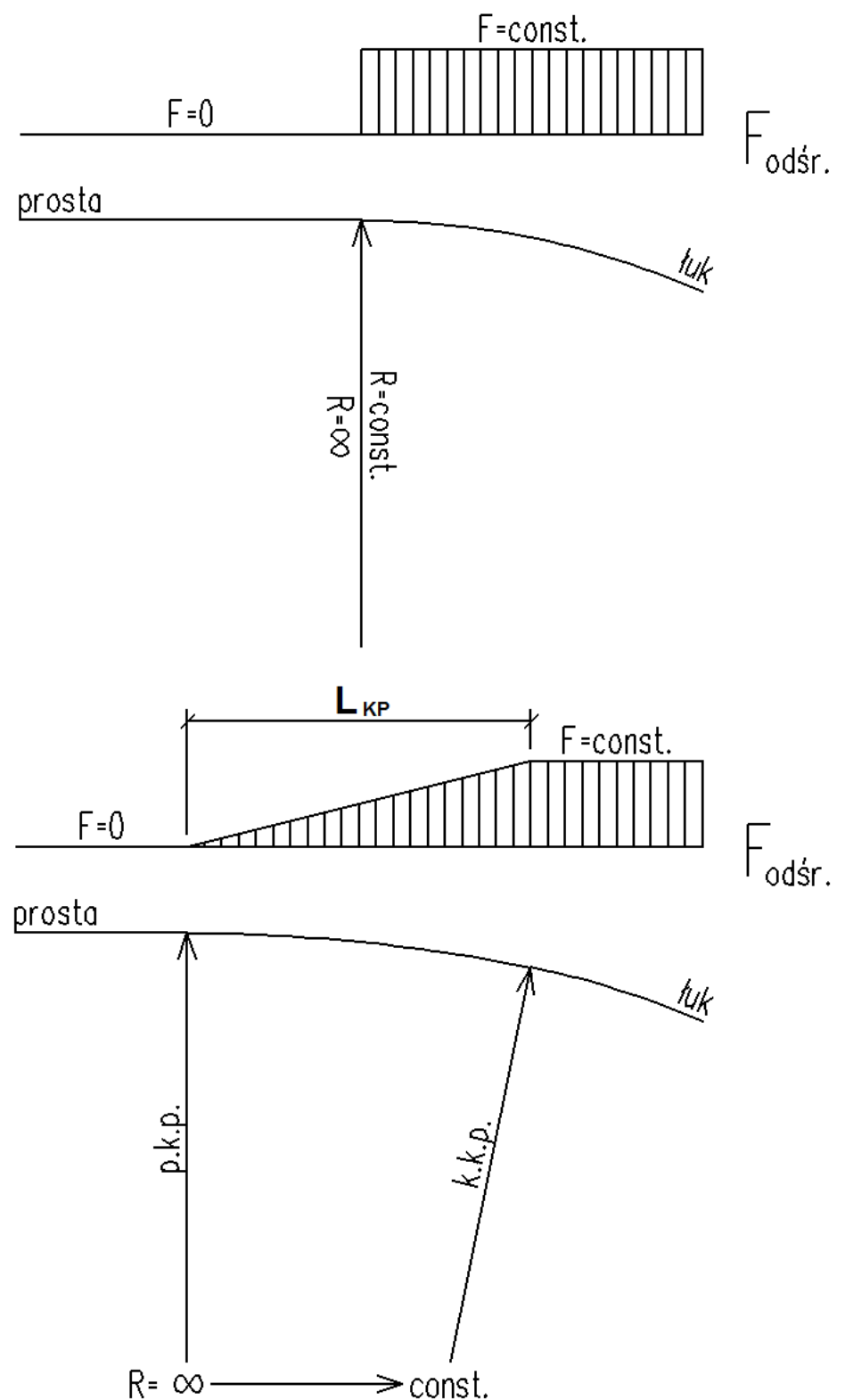


L_{KP} - długość krzywej przejściowej

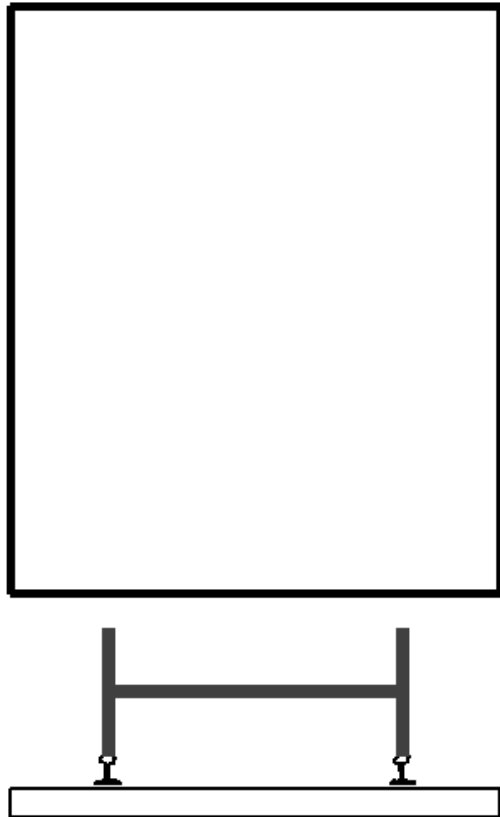
p.k.p. – początek krzywej przejściowej
(zawsze od strony prostej)

k.k.p. – koniec krzywej przejściowej
(zawsze od strony łuku)

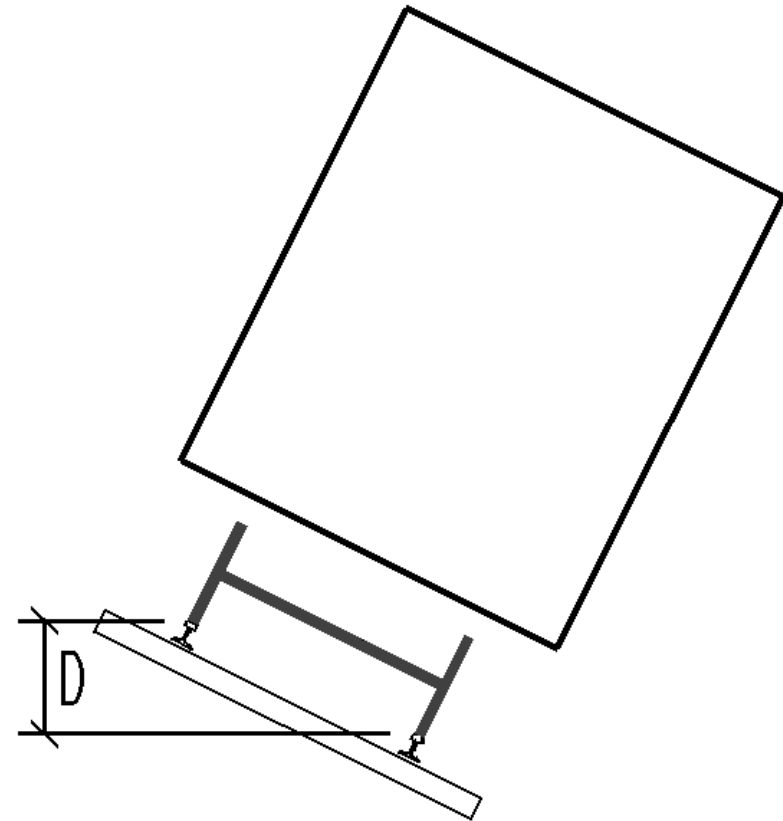
- krzywych przejściowych nie pokazuje się na etapie koncepcji, ale na dalszych etapach projektowania (*PB i PW*) - już tak, wykonując projekt koncepcyjny musimy więc o nich pamiętać
- krzywe przejściowe mają kilka parametrów (*podobnie jak łuki poziome*), ale na etapie koncepcji wystarczy nam znajomość jedynie jednego z nich
 - konkretnie ich długości L_{KP}
- pierwsza połowa długości krzywej przejściowej „zastępuje” zakończenie prostej, a druga połowa – początek łuku
- sposób wyliczenia długości krzywych przejściowych zależy od tego, czy w torze na długości łuku występuje **przechyłka**, czy nie



tor bez przechyłki



tor z przechyłką

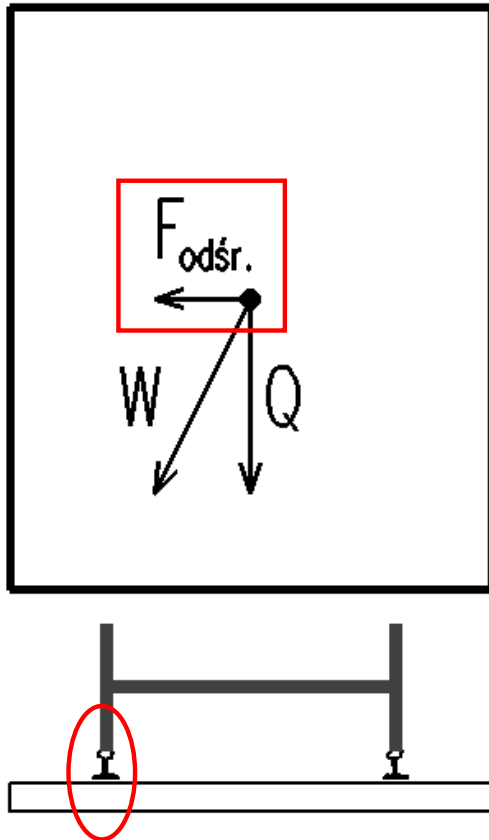


- **przechyłką toru - nazywamy wyniesienie do góry szyny toku zewnętrznego w łuku poziomym na pewną określoną wysokość, którą oznaczamy jako *D* (od francuskiego „dévers”) (starsze oznaczenie *h*)**

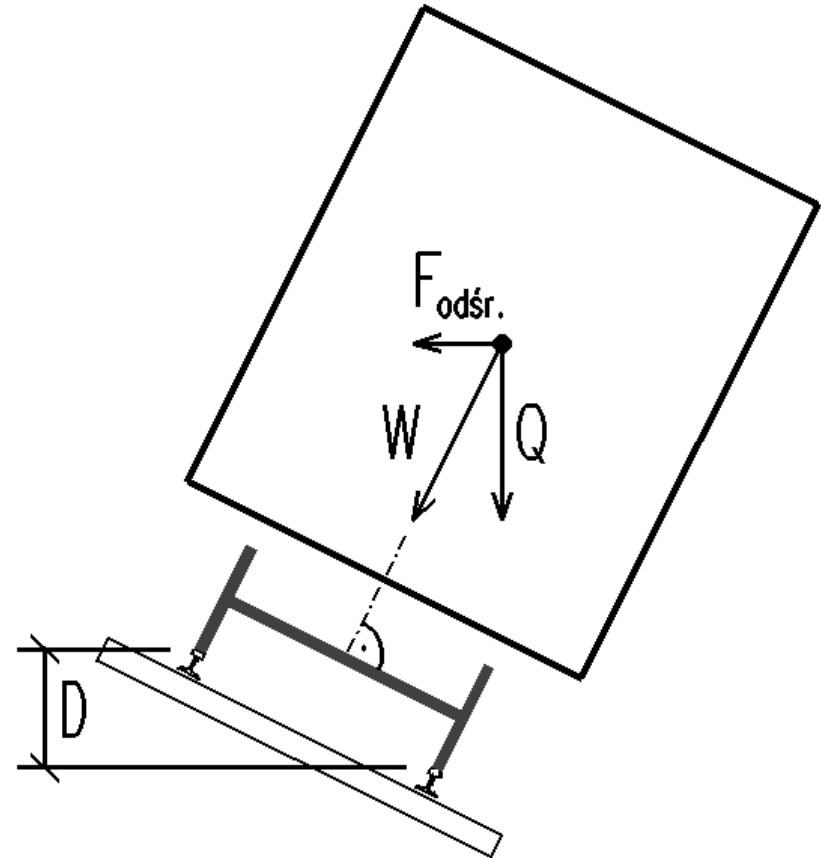
- **przechyłkę stosuje się po to, aby zminimalizować negatywne skutki oddziaływania siły odśrodkowej**

przykład - tor na łuku „w prawo”

bez przechyłki



z przechyłką



- **siła odśrodkowa powoduje:**
 - **dyskomfort jazdy**
 - **większe obciążenie i w efekcie zużycie szyny zewnętrznej**

w jaki sposób wyliczamy D ?

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

D_{eq} - przechyłka równoważąca [mm]

v - prędkość maksymalna poc. [km/h]

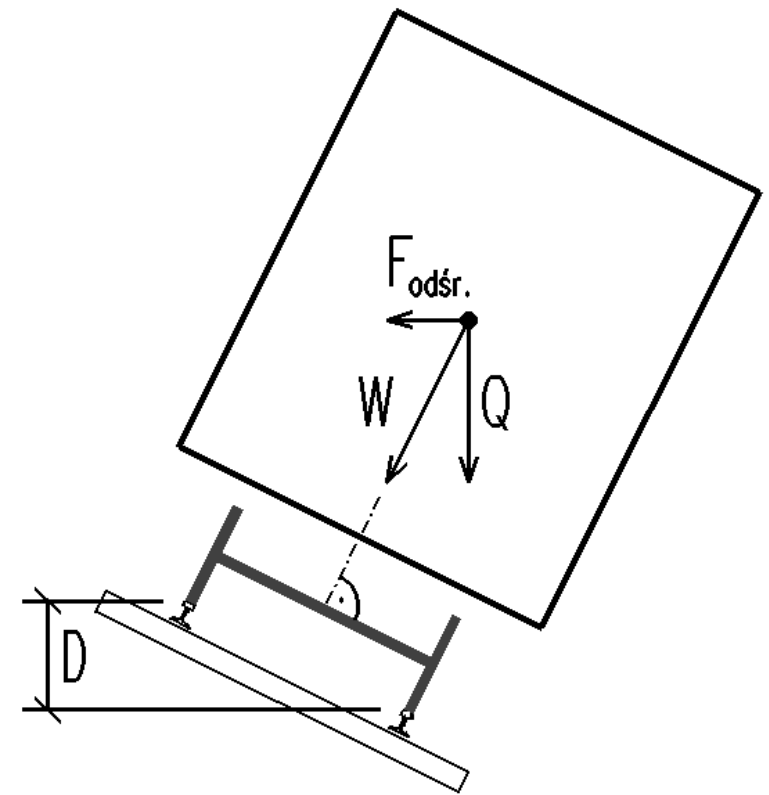
R - promień łuku poziomego [m]

UWAGA:

przedstawiony powyżej wzór - jest „kolejowy”
(*pierwszy w naszych rozważaniach*)

w jego przypadku:

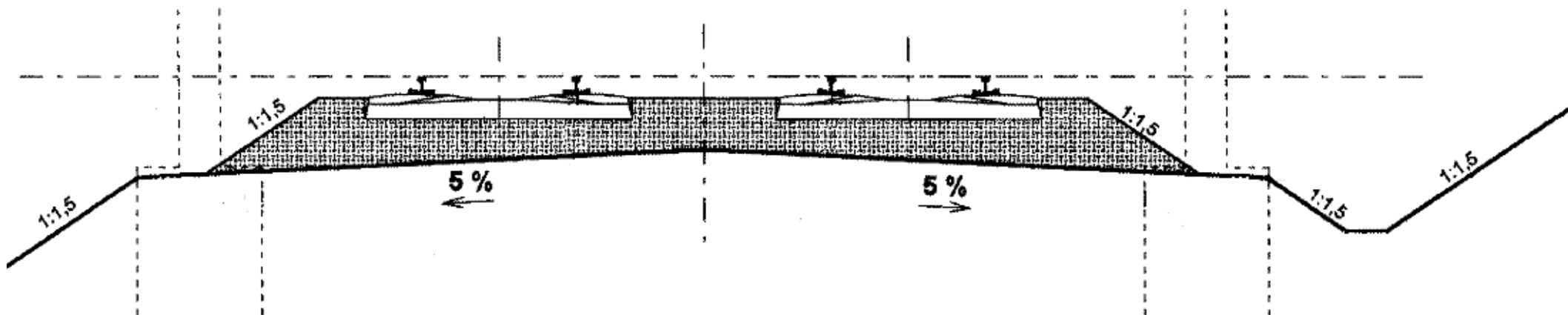
- nie należy dokonywać fizycznego rachunku na jednostkach
- należy wiedzieć, w jakich jednostkach podstawiamy dane i w jakich otrzymujemy wynik
- ze względu na różne prędkości poc. pas. i tow. nie da się zaprojektować jednej „uniwersalnej” przechyłki
(*tak samo dobrej zarówno dla ruchu pasażerskiego, jak i towarowego*)
- przechyłkę liczymy osobno dla maksymalnych prędkości poc. pas. (D_{eqP}), a następnie dla maksymalnych prędkości poc. tow. (D_{eqT}), po czym przyjmujemy wartość ze środka tego przedziału
(*uproszczenie - ale dopuszczalne na etapie koncepcji*)



- wyliczoną wartość przechyłki zaokrąglamy do pełnych 5 mm
- taka jest bowiem dokładność pracy podbijarki torowej

o co tu chodzi ?

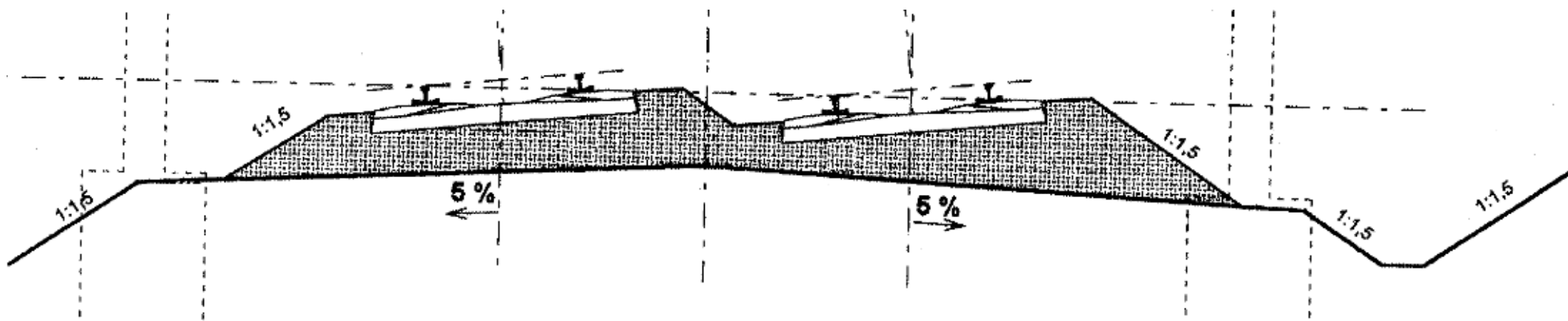
*tory kolejowe w łukach - buduje się najpierw bez przechyłki
(czyli tak jak na odcinkach prostych)*



a dopiero po ich zmontowaniu - wjeżdża na nie pojazd kolejowy zwany podbijarką, który:

- *chwytą i przechyla ruszt torowy (szyny z podkładami) oraz*
- *wpycha tłuczeń pod podkłady*

i w ten sposób uzyskuje się przechyłkę (film1)



- zaokrąglenie wykonujemy w górę lub w dół (*gdzie bliżej*)
 - przykładowo:
 - dla wyliczonych 52 mm - zaokrąglamy do 50 mm
 - dla wyliczonych 53 mm - zaokrąglamy do 55 mm
- jeśli wyliczona i zaokrąglona przechyłka:
 - jest większa niż 150 mm
 - stosujemy przechyłkę 150 mm
 - jest to górna granica*
 - ze względu na możliwość awaryjnego zatrzymania się pociągu w łuku i ryzyko uszkodzeń bardziej obciążonego toku wewnętrznego
 - jest mniejsza niż 20 mm
 - nie stosujemy przechyłki
 - 20 mm - jest to dolna granica*
 - ze względu na ekonomię
 - (zużycie szyn i dyskomfort jazdy są niewielkie, a zbudowanie i późniejsze utrzymywanie przechyłki w torze wymaga dodatkowych nakładów finansowych)*
- max wartość przechyłki - w przypadkach szczególnych:
 - w rozjazdach i w torach przy peronie - 100 mm
 - w łukach o promieniach $200\text{ m} < R \leq 300\text{ m}$ – 100 mm
 - w łukach o promieniach $R \leq 200\text{ m}$ – 60 mm
 - ponadto w łukach o $R < 300\text{ m}$ - wg wzoru $D_{max} = (R - 50)/1,5$

- przyjęta przez nas wartość przechyłki (D) jest:
 - nieco za duża - dla pociągów pasażerskich
 - nieco za mała - dla pociągów towarowych
- wiążą się z tym następujące dwa pojęcia:
 - niedomiar przechyłki I [mm]:
(od francuskiego *insuffisance*)

$$I = D_{eqP} - D$$
 - nadmiar przechyłki E [mm]:
(od francuskiego *excès*)

$$E = D - D_{eqT}$$
- standardy określają graniczne wartości tych parametrów

- graniczne wartości parametrów do projektowania
- przyjmujemy w oparciu o standardy,
a konkretnie:

TOM I – DROGA SZYNOWA
ZAŁĄCZNIK ST-T1-A6
UKŁADY GEOOMETRYCZNE TORÓW
(od 17.04.2025)

Próg 0 – zalecane wartości dopuszczalne	
Przekroczenie Progu 0:	Dopuszczone jest w przypadkach uzasadnionych względami technicznymi lub ekonomicznymi - decyzję podejmuje projektant.
Próg 1 – normalne wartości dopuszczalne	
Przekroczenie Progu 1:	Wymaga zgody Zakładu Linii Kolejowych lub we wskazanych przypadkach Zarządu PLK SA.
Próg 2 – graniczne wartości dopuszczalne	
Przekroczenie Progu 2:	Wymaga uzyskania odstępstwa od zapisów niniejszych standardów udzielanego przez komórkę organizacyjną Centrali Spółki ds. dróg kolejowych.
Próg 3 – graniczne wartości wynikające z przepisów powszechnie obowiązujących	

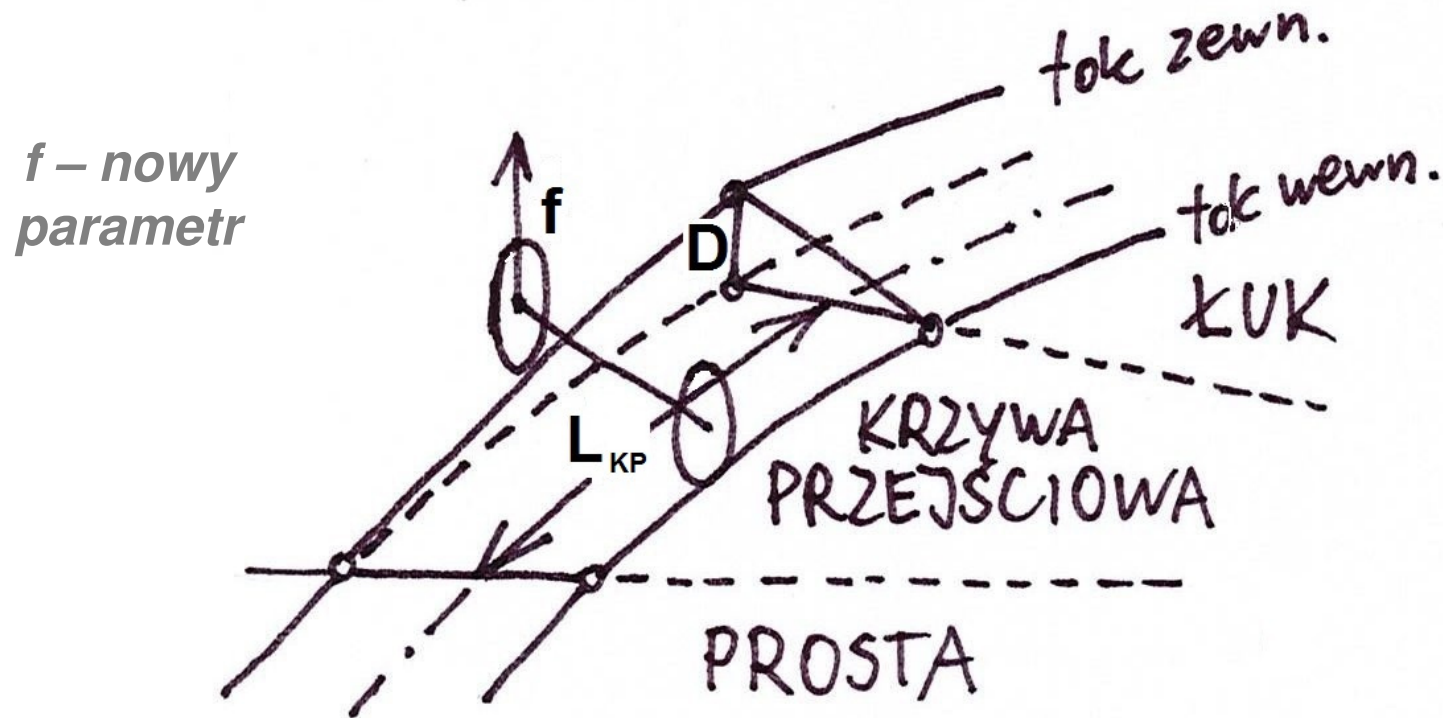
- w naszych projektach – stosujemy normalne wartości dopuszczalne (próg 1)

Wartości dopuszczalne niedomiaru przechyłki (I)				
Uwarunkowania		Zalecane wartości dopuszczalne	Normalne wartości dopuszczalne	Graniczne wartości dopuszczalne ³⁾
		P0	P1	P2
		[mm]	[mm]	[mm]
1		2	3	4
tory szlakowe oraz główne zasadnicze i dodatkowe		110	130	150 ^{1), 2)}
tory boczne		80	100	100
łuki o promieniach $200\text{ m} < R \leq 250\text{ m}$		80	100	100
łuki o promieniach $R \leq 200\text{ m}$		50	70	70
rozjazdy ze stałą krzyżownicą	$V \leq 160$	90	110	110
	$160 < V \leq 200$	60	90	90
rozjazdy z ruchomym dziobem krzyżownicy	$V \leq 230$	100	130	130
	$230 < V \leq 250$	80	80	110
skrzyżowania torów, rozjazdy krzyżowe		$V \leq 120$	0	80
przyrządy wyrównawcze	$V \leq 160$	80	100	100
	$160 < V \leq 200$	0	80	80
	$200 < V \leq 250$	0	60	60
1) w przypadku pojazdów wyposażonych w system kompensacji niedomiaru przechyłki zarządca infrastruktury dopuszcza zwiększenie wartości dopuszczalnych, po przeprowadzeniu odpowiednich badań 2) wartość $l=150\text{ mm}$ dopuszcza się stosować tylko dla wybranych typów pojazdów pasażerskich 3) zgody udziela Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., na zasadach określonych w rozdziale 7				

Tabela 9.8

Wartości dopuszczalne nadmiaru przechyłki (E)			
Prognozowane natężenie przewozów dla toru „q”	Zalecane wartości dopuszczalne	Normalne wartości dopuszczalne	Graniczne wartości dopuszczalne ¹⁾
	P0	P1	P2
[Tg/rok]	[mm]	[mm]	[mm]
1	2	3	4
$q \leq 5$	90	110	110
$5 < q \leq 10$	85	95	110
$10 < q \leq 15$	80	95	110
$15 < q \leq 20$	65	80	110
$q > 20$	50	80	110
1) zgody udziela właściwy terenowo Zakład Linii Kolejowych			

po między torami bez przechyłki (*na prostych*) a torami z przechyłką (*w łukach*) stosuje się **rampy przechyłkowe**



- na długości krzywej przejściowej (L_{KP}) ruszt torowy płynnie przechodzi:
 - od położenia poziomego (*na prostej*)
 - do położenia przechylonego (*w łuku*)
- w efekcie szyna toku zewnętrznego:
 - od położenia w pionie zgodnego z położeniem szyny toku wewnętrznego
 - płynnie przechodzi do położenia podwyższonego (o wartość D)
- przyrost różnicy wysokości szyny toku zewnętrznego względem wewnętrznego na dług. L_{KP} jest liniowy (*prostoliniowa rampa przechyłkowa*)
jedynie w warunkach trudnych i przy modernizacji linii kolejowych dopuszcza się stosowanie ramp krzywoliniowych (*np. sinusoidalnych*)

w jaki sposób wyliczamy długość k.p. ?

- jeśli łuk wymaga zastosowania przechyłki - długość krzywej przejściowej L_{KP} jest równa długości rampy przechyłkowej L_{RP}
- jako długość rampy przechyłkowej przyjmujemy maksymalną wartość wyliczoną z następujących wzorów:

$$L_{RP} = \frac{D}{p_{dop}}$$

L_{RP} - długość rampy przechyłkowej [m]

D - przechyłka w łuku [mm]

p_{dop} - dopuszczalne pochylenie rampy przechyłkowej [mm/m]

w standardach oznaczane jako $(dD/ds)_{dop}$

$$L_{RP} = \frac{v_{max} \cdot D}{3,6 \cdot f_{dop}}$$

L_{RP} , D - jak powyżej

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

f_{dop} - dopuszczalna prędkość podnoszenia koła na rampie przechyłkowej [mm/s]

w standardach nazywana dopuszczalną zmianą przechyłki w czasie i oznaczana jako $(dD/dt)_{dop}$

$$L_{RP} = \frac{v_{max} \cdot I}{3,6 \cdot u_{dop}}$$

L_{RP} , v_{max} - jak powyżej

I - niedomiar przechyłki [mm]

u_{dop} - dopuszczalna zmiana niedomiaru przechyłki w czasie [mm/s]

w standardach oznaczana jako $(dI/dt)_{dop}$

$$p_{dop} = ?$$

Tabela 9.12

Wartości dopuszczalne pochylenia rampy przechyłkowej (dD/ds)						
Prędkość	Zalecane wartości dopuszczalne		Normalne wartości dopuszczalne		Graniczne wartości dopuszczalne ¹⁾	
	P0		P1		P2	
	pochylenie rampy	wichrowatość na bazie 5 m	pochylenie rampy	wichrowatość na bazie 5 m	pochylenie rampy	wichrowatość na bazie 5 m
[km/h]	[mm/m]	[mm]	[mm/m]	[mm]	[mm/m]	[mm]
$V \leq 250$	1,6	8	2,0	10	2,5	12,5

1) zgody udziela właściwy terenowo Zakład Linii Kolejowych

$$f_{dop} = ?$$

Tabela 9.13

Wartości dopuszczalne zmiany przechyłki w czasie (dD/dt)			
Niedomiar przechyłki	Zalecane wartości dopuszczalne		Graniczne wartości dopuszczalne ¹⁾
	P0	P1	
[mm]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
dla prostoliniowych ramp przechyłkowych			
$l \leq 150$	35 mm/s	50 mm/s	60 mm/s
dla krzywoliniowych ramp przechyłkowych			
$l \leq 150$	55 mm/s		70 mm/s

1) zgody udziela właściwy terenowo Zakład Linii Kolejowych

$$u_{dop} = ?$$

Tabela 9.14

Wartości dopuszczalne zmiany niedomiaru przechyłki w czasie (dl/dt)			
Prędkość	Zalecane wartości dopuszczalne	Normalne wartości dopuszczalne	Graniczne wartości dopuszczalne ¹⁾
	P0	P1	P2
[km/h]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
dla prostoliniowych ramp przechyłkowych			
V ≤ 200 km/h	55 mm/s	70 mm/s	80 mm/s
200 < V ≤ 250 km/h	55 mm/s		70 mm/s
dla krzywoliniowych ramp przechyłkowych			
V ≤ 250 km/h	90 mm/s		100 mm/s
1) zgody udziela właściwy terenowo Zakład Linii Kolejowych			

- jeśli łuk nie wymaga zastosowania przechyłki
(po zaokrągleniu do pełnych 5 mm jest ona mniejsza niż 20 mm):

$$L_{KP} = 3,279 \frac{v_{\max}^3}{R \cdot u_{dop}}$$

L_{KP} - długość krzywej przejściowej [m]

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

R - promień łuku poziomego [m]

u_{dop} - dopuszczalna zmiana niedomiaru przechyłki w czasie [mm/s]

w standardach oznaczana jako $(dl/dt)_{dop}$

- wyliczoną długość k.p. zaokrąglamy wyłącznie w górę, do pełnego 1 m
- jeśli wyliczona i zaokrąglona długość k.p. jest mniejsza niż 30 m
- stosujemy k.p. o długości 30 m
jest to dolna granica

UWAGA:

- ze względu na ograniczenia formatowania opisów w przypadku niektórych programów (Excel, Autocad)
w naszych projektach możemy stosować uproszczone opisy:
 - zamieniając indeksy dolne na małe litery
 - oraz rezygnując z kursywy (*pochylania liter*)

$$L_P \rightarrow Lp$$

$$L_{\ell} \rightarrow Ll$$

$$L_{KP} \rightarrow Lkp$$