

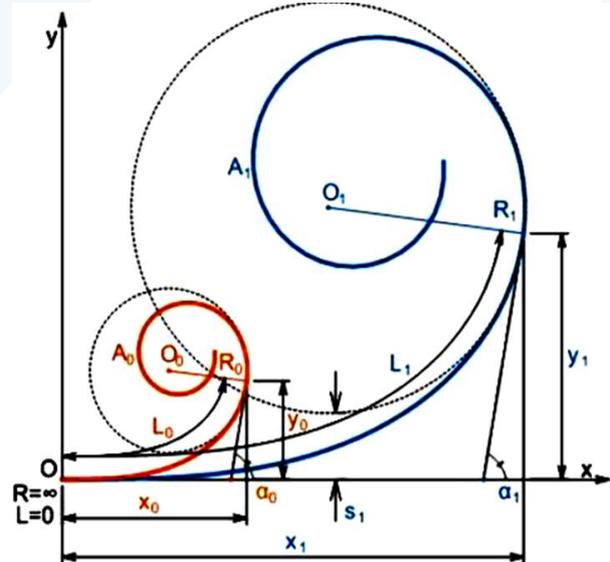
المنحنيات الانتقالية (الكلوتويدات)

المنحنيات الانتقالية هي مسارات فعلية جيدة للحركة على المنعطفات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة أو حين الخروج من المنحنيات إلى الاستقامات مع تسارع تدريجي، حيث تؤمن انتقال تدريجي للمتغيرات التصميمية (نصف قطر الانحناء، الميل العرضي، زيادة العرض في المنحنيات).

أنواع المنحنيات الانتقالية:

- ليمسكات برنولي أو المنحنيات البيضوية وهي سهلة الإنشاء وخاصةً في المناطق الجبلية.
- القطع المكافئ المكعبي وهو لا يستخدم في الطرق وإنما يستخدم في السكك الحديدية، لأنه يناسب المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة.
- الكلوتويدات (حلزون كورنو) وهي الأكثر استخداماً لأنها تحقق مميزات مثالية هندسية ومميزات حركية مثالية.

الكلوتويدات هي المنحنيات المستخدمة في الطرق حديثاً لربط المستقيمت مع المنحنيات الأفقية في المسقط الأفقي، وهي المنحنيات الأفضل التي تحقق المميزات المثالية الديناميكية (الحركية) والهندسية في تصميم الطريق،



Clothoid



الكلوتويد (المنحني الحلزوني)

$$A^2 = L * R$$

ثابت الكلوتويد (ليس له واحدة)

نصف قطر الانحناء التابع
للكلوتويد في نهاية طوله،
(m)

طول الكلوتويد عند أية نقطة (m)

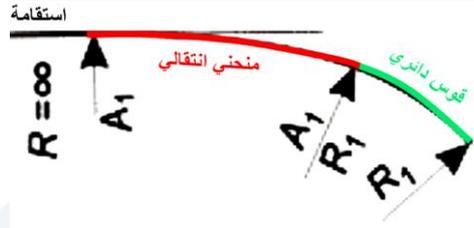
كلما صغرت قيمة ثابت الكلوتويد كلما
زادت سرعة انحنائه

ثابت الكلوتويد يتوقف على نصف القطر للمنحني الدائري وعلى السرعة التصميمية، ويمكن أن نفرض قيمته ما بين R إلى R/3 أو يفرض حسب مقدار السرعة التصميمية من جدول خاص.

V, km/h	40	60	80	100	120	140
A_{min}	50	100	150	200	350	500

يتزايد انحناء الكلوتويدات بشكل مستمر من الصفر عند الاستقامة وحتى قيمة 1/R عند بداية المنحني الدائري، ويكون نصف القطر عند الاتصال بالاستقامة مساوياً لانهاية (∞)، ثم يتناقص في كل نقطة منه حتى يصل إلى قيمة نصف قطر القوس الدائري التصميمي.

تبدأ القوة الطاردة المركزية صغيرة ثم تزداد تدريجياً إلى أن تصل إلى نهايتها العظمى عند بداية المنحني الدائري، وبالتالي المقصود من إدخال المنحني الانتقالي هو **إدخال القوة الطاردة المركزية في سير العربات بشكل تدريجي حتى لا تقع تحت تأثير مفاجئ.**



لذلك فإن العجلة الطاردة المركزية موزعة على طول المنحني الانتقالي L بالأمتار، وبفرض أن الزمن اللازم لعبور المنحني الانتقال هو t بالثانية و v بالم/ثا:

$$t = \frac{L}{v}$$

والعجلة الطاردة المركزية خلال الفترة الزمنية t هي:

$$\frac{v^2}{R}$$

وبالتالي معدل التغير في العجلة الطاردة المركزية C :

$$C = \frac{v^2}{R * t} = \frac{v^2}{R * \frac{L}{v}} = \frac{v^3}{R * L} , m/sec^3$$

□ حساب طول منحني الانتقال بدلالة السرعة ونصف القطر ومعدل التغير أو التسارع العرضاني:

$$\rightarrow L = \frac{v^3}{C * R} = \frac{v^3}{(3.6)^3 * C * R} = \frac{v^3}{46.5 * C * R}$$

طول منحني الانتقال، م

معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية

نصف القطر، م

0.76 م/ثا³ إذا كانت السرعة أقل من 32 كم / سا

0.46 م/ثا³ إذا كانت السرعة أكبر من 96 كم / سا

$\frac{73}{v + 64}$ م/ثا³ إذا كانت السرعة ما بين 32-96 كم/سا

مثال: احسب طول منحني الانتقال إذا علمت أن السرعة التصميمية 60 كم/سا، نصف القطر 220 م، معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية هو $0.6 m/sec^3$

$$L = \frac{60^3}{46.5 * 0.6 * 220} = 35.2 m$$

ومن شروط حركة التباطؤ المنتظم نحصل على قيم العاملين:

$$a = \frac{v_s - v_c}{t}$$

$$J = \frac{v_c^2(v_s + v_c)}{2 * R * L}$$

a : تسارع التباطؤ السلبي

J : تسارع القوة النابذة

v_s : السرعة على الاستقامة

v_c : السرعة على المنحني الدائري

R : نصف قطر المنعطف الدائري

L : طول المنحني الانتقالي

t : الزمن اللازم لقطع المسافة على المنحني الانتقالي طوله L .

$$r = \frac{c}{l} \Rightarrow c = r * l$$

c : ثابت الكلوتويد

r : نصف قطر انحناء نقطة ما من المنحني الانتقالي تبعد مسافة l عن بدايته.

عند استخدام الكلوتويد يجب مراعاة ما يلي:

- 1- زاوية المماس τ أكبر من $3.5gr$
 - 2- القيمة الأصغر لـ A هي $A_{min} = R/3$ ويمكن اختيار A أقل من $R/3$ إذا كانت أنصاف الأقطار كبيرة.
 - 3- يجب ألا تقل قيمة ΔR عن 0.25 .
 - 4- يجب أن يستغرق السير على المنحني الانتقالي ثانيتين على الأقل خلال السرعة التصميمية v_c :
- $$A_{min} = 0.75\sqrt{R \cdot v_c}$$
- 5- يجب أن يكون اختيار الكلوتويد كبيراً بحيث يقع الرفع العرضي على كامل طول الكلوتويد.

□ حساب ثابت الكلوتويد بدلالة السرعة ومعدل التغير في العجلة الطاردة المركزية (التسارع العرضي):

$$L = \frac{v^3}{47 * C * R} \Rightarrow L * R = \frac{v^3}{47 * C}$$

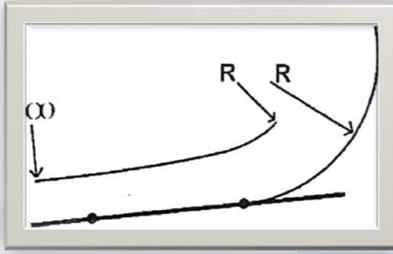
$$A^2 = \frac{v^3}{47 * C} \Rightarrow A = \sqrt{\frac{V^3}{47 * C}}$$

□ حساب ثابت الكلوتونيد بدلالة السرعة إذا لم تعط قيمة (التسارع العرضي):

$$A = 1.543\sqrt{0.018 * V^3 - 23.33 * V}$$

السرعة بالكم/سا

V, km/h	40	60	80	100	120	140
A_{min}	50	100	150	200	350	500



طول منحنى الوصل الانتقالي (الكلوتونيد):

يحدد الطول الأصغري للكلوتونيد بأكبر القيمتين التاليتين:

$$L_{min} = 0.0173\left(\frac{v^3}{R}\right)$$

السرعة التصميمية،
كم/سا

$$L_{min} = \sqrt{4.8 * R}$$

نصف قطر منحنى القوس
الدائري، م

ويحدد الطول الأعظمي لمنحنى الوصل بالعلاقة:

$$L_{max} = \sqrt{24 * R}$$

130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	السرعة التصميمية كم/سا
72	67	61	56	50	44	39	33	28	22	17	11	الطول الأنسب لمنحني الانتقال (متر)

بعض المراجع تعتمد على استخدام قيم أصغرية ومفضلة لطول منحنى الانتقال
بالاعتماد على نصف قطر المنحنى الدائري

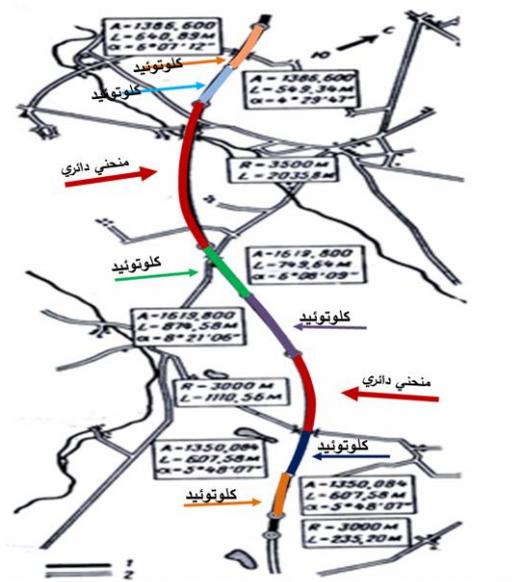
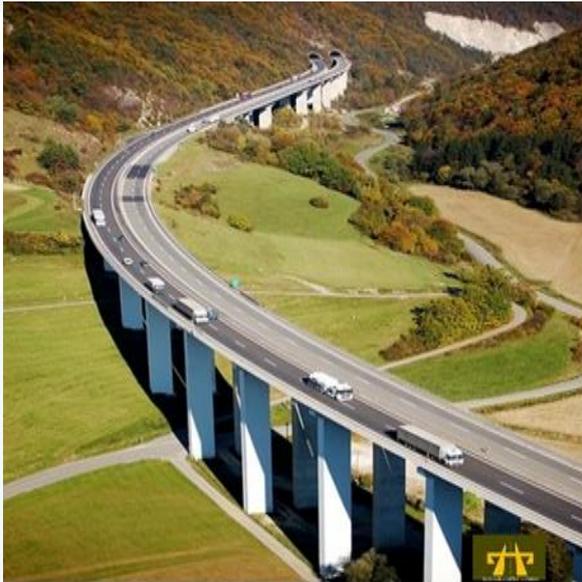
R	30m	60m	100m	200m	300m	500m	600m & more
L (min)	30m	40m	50m	70m	90m	100m	120m
L (desirable)	45m	60m	75m	105m	135m	150m	180m

مميزات الكلوئويدات

- تؤمن الكلوئويدات حركة طبيعية وسهلة للعربات في المنعطفات.
- تؤمن تعريض للطريق في المنعطفات، وتعطي مظهراً جميلاً للطريق في المنعطفات.
- تخفف من مظهر الإنكسارات التي يشعر بها السائق بين الاستقامات والأقواس الدائرية.
- تؤمن الطول الكافي لتحقيق الدوران الكامل للمقطع العرضي من التحذب الطبيعي للطريق في المقطع العرضي حتى الوصول إلى التعلية الإضافية في القوس الدائري.

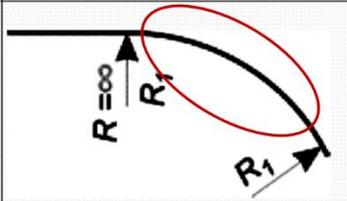
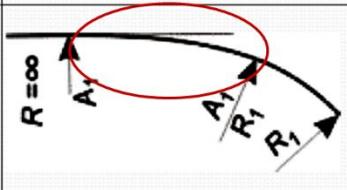
يمكن عدم استخدام المنحني الانتقالي إذا كان نصف قطر المنحني الأفقي 1500 متر، عند سرعات لا تزيد عن 80 كم/سا، وإذا زادت السرعة عن هذه القيمة لا بد من زيادة نصف القطر عن ذلك.

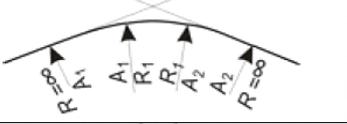
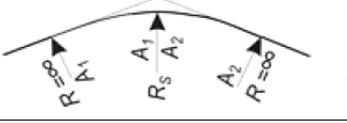
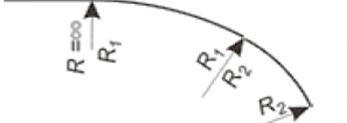
نصف القطر الأصغر المقترح لتجنب منحنيات الوصل (متر)	السرعة التصميمية (كم/سا)
1200	80
1400	90
1800	100
2000	110
2500	120
3000	130

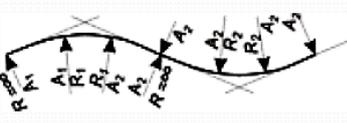
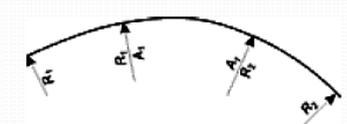


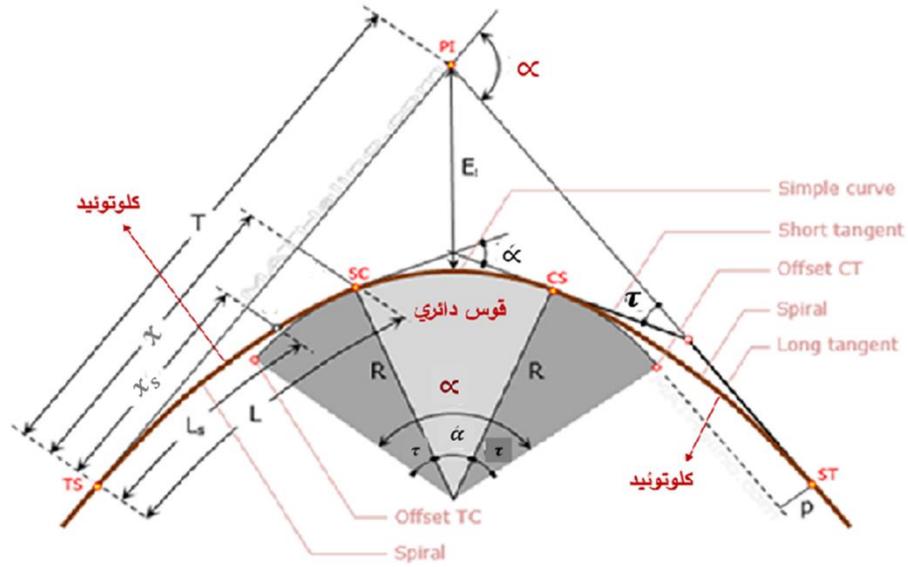
انسيابية المسارات الطرقية باستخدام الكلوئويدات

حالات استخدام الكلو تونيدات

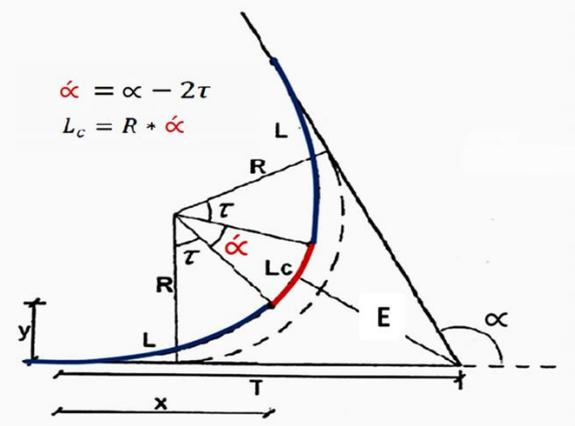
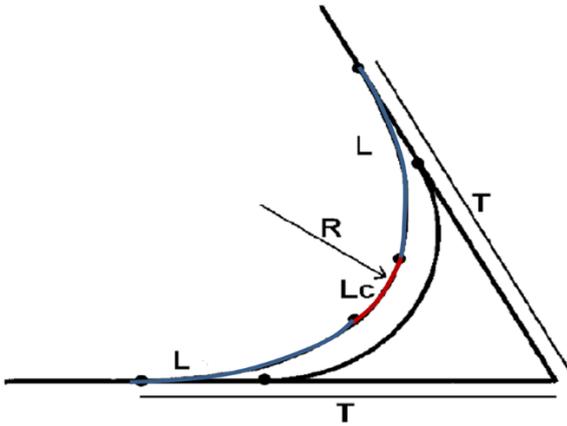
الشكل	تتابع العناصر	التسمية	الاستخدام
	مستقيم- منحنى دائري	منحنى دائري دون منحنى انتقال	مستخدم بتحفظ
	مستقيم-كلوتويد- منحنى دائري	كلوتويد بسيط	مستخدم

الشكل	تتابع العناصر	التسمية	الاستخدام
	مستقيم-كلوتويد- منحنى دائري- كلوتويد-مستقيم	منحنى ربط	مستخدم
	مستقيم-كلوتويد- كلوتويد- مستقيم	كلوتويدان ملتقيان	مستخدم بتحفظ
	منحنى دائري-منحنى دائري (نفس الإتجاه)	منحنيان دائريان	يفضل تجنبه

الشكل	تتابع العناصر	التسمية	الاستخدام
	منحنى دائري- كلوتويد- كلوتويد- منحنى دائري	كلوتويد عودة / خط عودة	مستخدم
	منحنى دائري- كلوتويد-منحنى دائري	كلوتويد بيضوي / خط بيضوي	مستخدم
	كلوتويد- كلوتويد (نفس الإتجاه)	كلوتويدان	يفضل تجنبه



شكل نموذجي لمنحني مؤلف من قوس دائري مع منحنيات وصل (كلوتويدات)

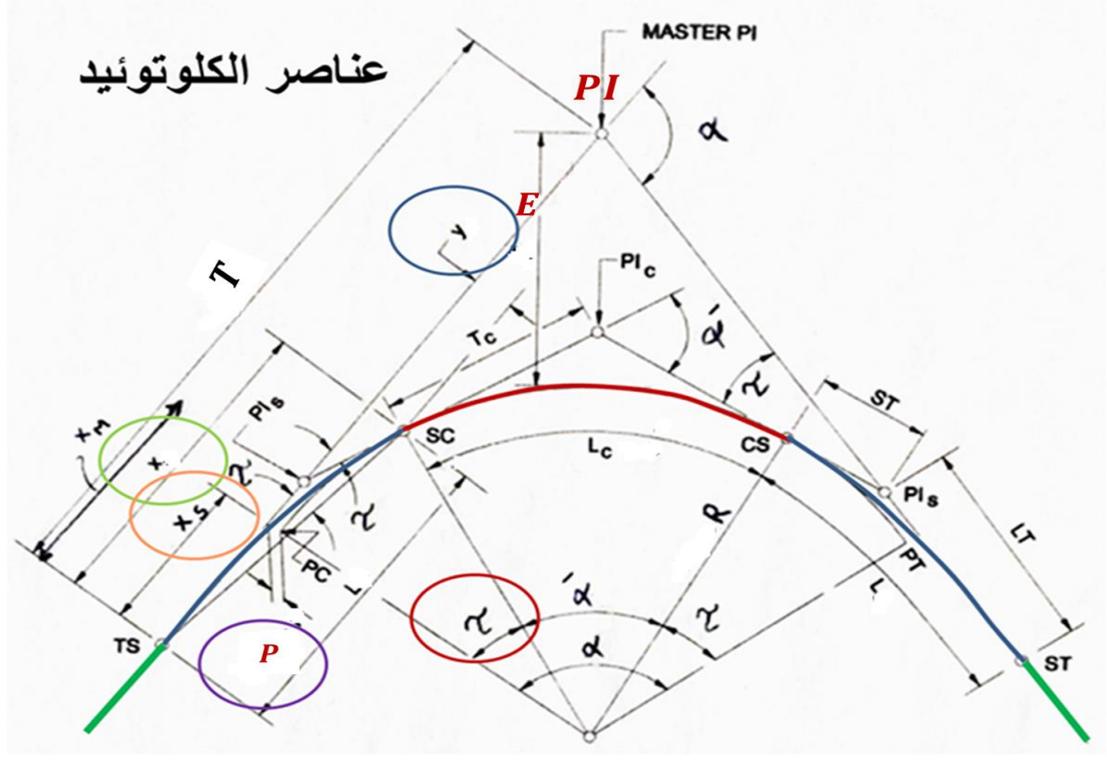


$$\alpha' = \alpha - 2\tau$$

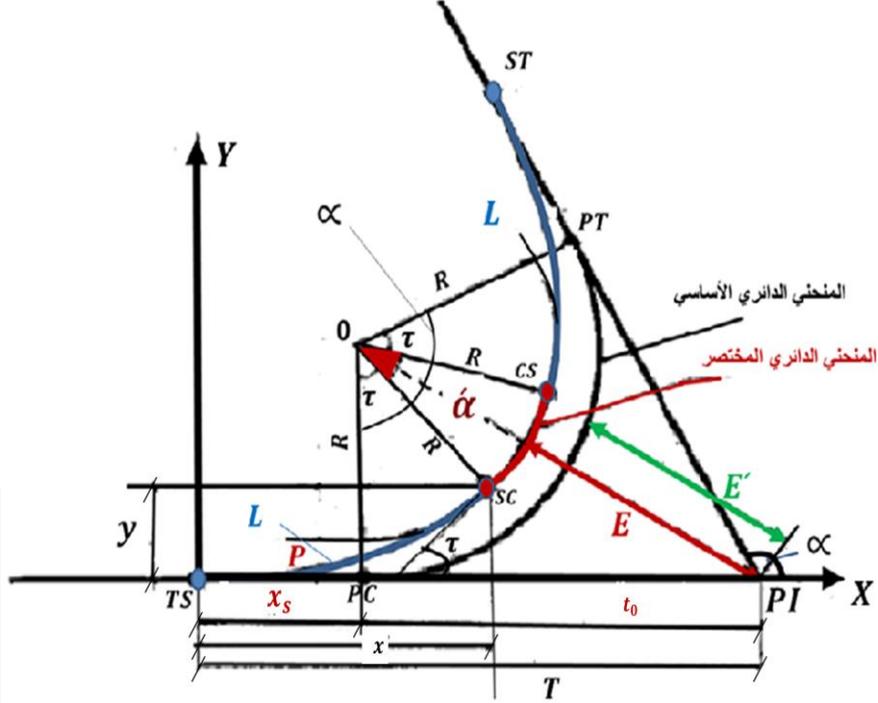
$$L_c = R * \alpha'$$

العناصر الهندسية للكلوتويد:

- TS** - بداية المنحني الانتقالي الأول ونهاية الخط المستقيم.
- SC** - نهاية المنحني الانتقالي الأول وبداية المنحني الأفقي.
- CS** - نهاية المنحني الأفقي وبداية المنحني الانتقالي الثاني.
- ST** - نهاية المنحني الانتقالي الثاني وبداية الخط المستقيم.
- PI** - نقطة تقاطع المماسين.
- L** - طول المنحني الانتقالي.



- α زاوية الانحراف، الزاوية المركزية.
- τ زاوية مماس الكلوتويد في نهايته مع محور الفوصل،
(زاوية تقاطع مماس الكلوتويد عند نقطة اتصاله بالدائرة مع المماس الكلي).
- P مقدار الإزاحة في النقطة التي تبعد بمسافة X_s عن بداية الكلوتويد.
- α' زاوية القوس الدائري.
- x, y -إحداثيات النقاط الطرفية للكلوتويد.
- E البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي.
- L_c - طول القوس الدائري.
- x_s, y_s إحداثيات مركز انحناء الكلوتويد.
- t_0 - طول مماس الانحناء الدائري الأساسي.
- T - طول مماس الانحناء الكلي.
- D - مقدار التوفير في طول المسار.



1- نحسب زاوية مماس الكلوتويد في نهايته τ بدلالة طول الكلوتويد ونصف قطر القوس الدائري، ثم نتأكد من إمكانية توضع الكلوتويد من شرط الزاوية:

$$\alpha \geq 2\tau$$

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^\circ}{\pi}$$

2- نحسب ثابت الكلوتويد:

$$A^2 = L * R$$

3- نحسب زاوية القوس الدائري:

$$\alpha' = \alpha - 2\tau$$

4- نحسب الإحداثيات الطرفية للكلوتويد:

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2}$$

$$y = \frac{L^2}{6 * R}$$

5- نحسب انزياح القوس الدائري p في النقطة التي تبعد بمسافة x_s عن بداية الكلوتويد:

$$P = \frac{L^2}{24 * R}$$

$$P = y - R(1 - \cos\tau)$$

6- نحسب إحداثيات مركز انحناء الكلوتويد:

$$x_s = x - R * \sin\tau$$

$$y_s = R + P$$

7- نحسب طول مماس الانحناء الكلي T:

$$T = t_0 + x_s$$

$$t_0 = (R + P) * \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

8- نحسب البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي:

$$E = (R + P) * \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) + P$$

9- نحسب القيمة x_M (نقطة تقاطع مماس القوس الدائري مع محور الفواصل)، (فاصلة مسقط مركز القوس الدائري على المماس الكلي):

$$x_M = x - y * \operatorname{cotg}\tau$$

10 - نحسب طول القوس الدائري L_c :

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

11- نحسب طول المنعطف الكلي:

$$S = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} + 2L$$

12- نحسب مقدار التوفير في طول المسار:

$$D = 2T - (2L + L_c)$$

مثال (1):

طريق تسير عليه العربية بسرعة تصميمية 80 Km/h ويراد تصميم كلوتويد بسيط يقع بين استقامة وقوس دائري يبلغ نصف قطره 300m :

1. ما هو الطول الأصغري لهذا الكلوتويد، إذا علمت أن السرعة على المنعطف 40Km/h ، وماهي قيمة الطول الأعظمي له؟
2. ما هو الزمن اللازم لقطع هذا الكلوتويد إذا علمت أن قيمة التسارع السلبي للتباطؤ تساوي 0.3 m/sec^2 ، وماهي قيمة تسارع القوة النابذة عند الانتقال عليه؟
3. ماهي قيمة ثابت الكلوتويد، وماهي قيمة نصف قطر انحناء كل 10 أمتار؟

1 - الطول الأصغري للكلوتويد يتحدد بالقيمة الأكبر بين القيمتين التاليتين:

$$L_{min} = \sqrt{4.8 R}$$

$$L_{min} = 0.01783 \cdot \frac{v^3}{R}$$

v - كم/سا

R - متر

$$L_{min} = \sqrt{4.8 \cdot 300} = 37.95\text{m}$$

$$L_{min} = 0.01783 \cdot \frac{80^3}{300} = 30.43\text{m}$$

أي تؤخذ قيمة الطول الأصغري للكلوتويد 37.95 متر، ويفضل زيادة الطول بمقدار الضعف لإكساب محور الطريق الشكل أو المظهر الانسيابي أي:

$$L = 37.95 * 2 = 75.9 \text{ m}$$

وهو الطول المطلوب للكلوتويد.

أما الطول الأعظمي:

$$L_{max} = \sqrt{24 * R} = \sqrt{24 * 300} = 84.85 \text{ m}$$

2 - الزمن اللازم لقطع الكلوتويد:

$$a = \frac{V_s - V_c}{t}$$

حيث:

a - تسارع التباطؤ، م/ث²

V_s - السرعة على الاستقامة

V_c - السرعة على المنعطف

t - الزمن اللازم

$$t = \frac{V_s - V_c}{a} = \frac{22.22 - 11.11}{0.3} = 37.03 \text{ sec}$$

$$J = \frac{V_c^2 * (V_s + V_c)}{2 * R * L} = \frac{11.11^2 * (11.11 + 22.22)}{2 * 300 * 75.9} = 0.09 \text{ m/sec}^2$$

$$< 0.18 \text{ m/sec}^2$$

حيث:

0.18 m/sec^2 هي قيمة التسارع الذي يسبب الانزعاج عند السفر.

3 - قيمة ثابت الكلوتويد تعطى بالمعادلة التالية:

$$A^2 = R * L = 300 * 75.88 = 22764$$

$$r_1 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{10} = 2276.4 \text{ m}$$

$$r_2 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{20} = 1138.2 \text{ m}$$

$$r_3 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{30} = 758.8 \text{ m}$$

$$r_4 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{40} = 569.1 \text{ m}$$

$$r_5 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{50} = 455.28 \text{ m}$$

$$r_6 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{60} = 379.4 \text{ m}$$

$$r_7 = \frac{A^2}{l} = \frac{22764}{70} = 325.2 \text{ m}$$

مثال (2):

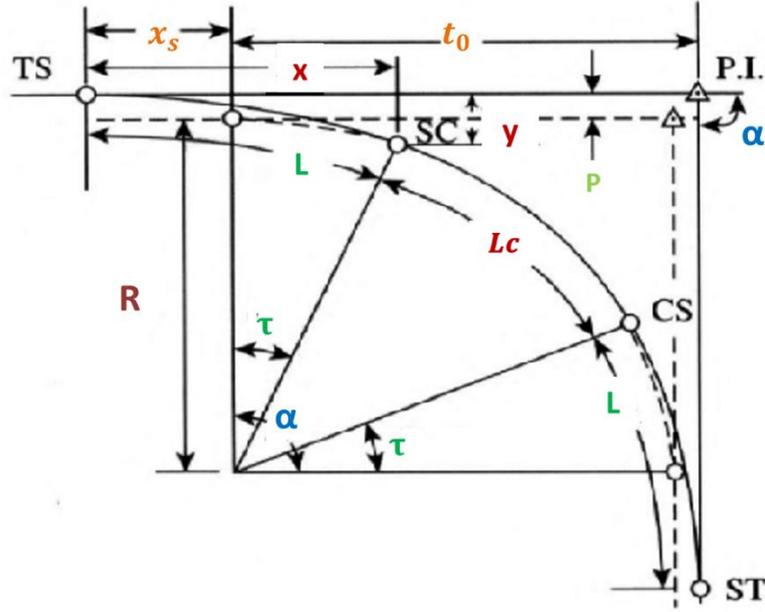
احسب عناصر منعطف أفقي مؤلف من قوس دائري ومنحنيات وصل متدرجة ومتناظرة علماً أن:

$\alpha = 110^\circ$ و $R=800\text{m}$ و $L=100\text{m}$ (طول كل من الكلوتويدين المتساويين).

عناصر الكلوتويد هي:

1. زاوية مماس الكلوتويد في نهاية t .
2. طول المماس الكلي t .
3. انزياح القوس الدائري P في النقطة التي تبعد بمسافة X_s عن بداية الكلوتويد.
4. النقاط الطرفية للكلوتويد (تحديد إحداثياتها (x, y)).

5. إحداثيات مركز انحناء الكلوتويد.
6. تحديد الطول X_M .
7. البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي E.
8. حساب طول المنعطف الكلي S بعد تحديد قيمة الزاوية α (زاوية القوس الدائري).



$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^\circ}{\pi} = 28.65 * \frac{L}{800} = 28.65 * \frac{100}{800} = 3.6^\circ$$

$$\alpha' = \alpha - 2\tau = 110^\circ - 7.2^\circ = 102.8^\circ$$

$$T = t_0 + X_s$$

$$t_0 = (R + P) * tg \frac{\alpha}{2}$$

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{100^2}{24 * 800} = 0.52m$$

$$t_0 = (800 + 0.52) * tg 55^\circ = 1143.26m$$

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2} = 100 - \frac{100^3}{40 * 800^2} = 100 - 0.039 = 99.96m$$

$$y = \frac{L^2}{6 * R} = \frac{100^2}{6 * 800} = 2.083m$$

$$X_s = x - R * \sin\tau = 99.96 - 800 * \sin 3.6^\circ = 49.73m$$

$$T = t_0 + X_s = 1143.26 + 49.73 = 1192.99 = 1193m$$

$$Y_s = R + P = y + R * \cos\tau = 800.52m$$

$$X_M = x - y * \cotg\tau = 99.96 - 2.083 * \cotg 3.6^\circ = 66.85m$$

$$E = (R + P) * \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) + P$$

$$= (800 + 0.52) * \left(\frac{1}{\cos 55^\circ} - 1 \right) + 0.52 = 595.31m$$

$$S = \frac{\pi * R * \alpha}{180^\circ} + 2L = \frac{3.14 * 800 * 102.8^\circ}{180^\circ} + 200 = 1634.63m$$

مثال (3):

طريق ريفي مؤلف من حارتي مرور تسير عليه عربة بسرعة تصميمية 100Km/h ونصف قطر الدوران R=900m، احسب المعطيات المتعلقة بالمنحني الكلوتويدي المؤلف من قوس دائري و كلوتويدين متناظرين بطول 60 متر، علماً أن زاوية الانحراف تبلغ $\alpha = 15^\circ$ وأن المحطة الرئيسية هي النقطة الرئيسية:

$$P_1 \text{ station} = 43 + 16.63$$

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^\circ}{\pi} = 28.65 * \frac{L}{R} = 28.65 * \frac{60}{900} = 1.91^\circ$$

زاوية القوس الدائري:

$$\alpha' = \alpha - 2\tau = 15^\circ - 2 * 1.91^\circ = 11.18^\circ$$

تحديد إحداثيات النقاط الطرفية لكلوتويد:

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2} = 60 - \frac{60^3}{40 * 900^2} = 59.993m$$

$$y = \frac{L^2}{6 * R} = \frac{60^2}{6 * 900} = 0.667m$$

حساب إحداثيات مركز انحناء الكلوتويد:

$$X_s = x - R * \sin\tau = 59.993 - 900 * \sin 1.91^\circ = 29.996m$$

$$Y_s = R + P = y + R * \cos\tau = 900.167m$$

$$L_c = \frac{2. \pi. R. \alpha}{360^\circ} = 175.52m$$

تحديد الطول X_M :

$$X_M = x - y * \cotg\tau = 59.993 - 0.667. \cotg 1.91^\circ = 18.4m$$

حساب البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي E :

$$E = (R + P) * \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) + P = (900 + 0.167) * \left(\frac{1}{\cos 7.5^\circ} - 1 \right) + 0.167$$

$$= 7.91m$$

حساب طول المماس الكلي:

$$T = t_0 + X_s$$

$$t_0 = (R + P) * \tg \frac{\alpha}{2}$$

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{60^2}{24 * 900} = 0.167m$$

$$t_0 = (900 + 0.167) * \tg 7.5^\circ = 118.51m$$

حساب T :

$$T = t_0 + X_s = 118.51 + 29.996 = 148.51m$$

حساب طول المنعطف الكلي:

$$S = \frac{\pi. R. \alpha}{180^\circ} + 2L = \frac{3.14.900.11.18^\circ}{180^\circ} + 2 * 60 = 295.53m$$

$$Ts \text{ station} = P1 \text{ station} - T = 43+16.63 - 148.51 = 41+68.12$$

$$SC \text{ station} = TS \text{ station} + L = 41 + 68.12+60 = 42+ 28.12$$

$$CS \text{ station} = SC \text{ station} + L_c = 42 +28.12 +175.52 = 44+03.64$$

$$ST \text{ station} = CS \text{ station} + L = 44 + 03.64+60 = 44+63.64$$