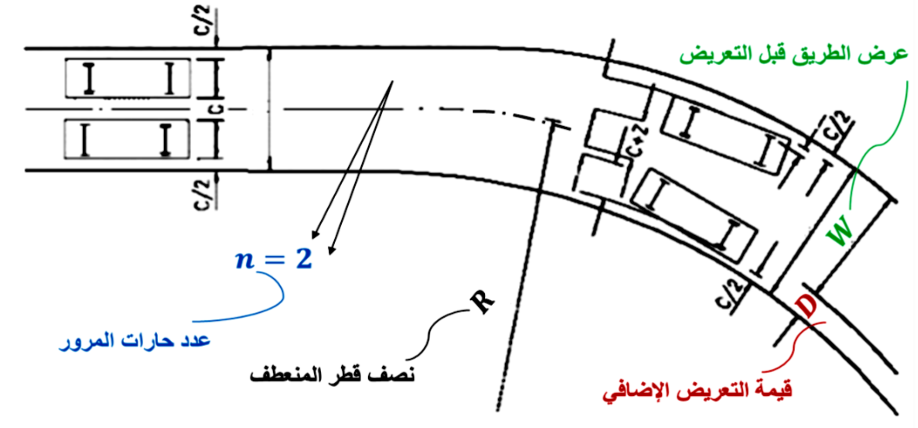
التعريض الإضافي في المنعطفات Curve Widening:

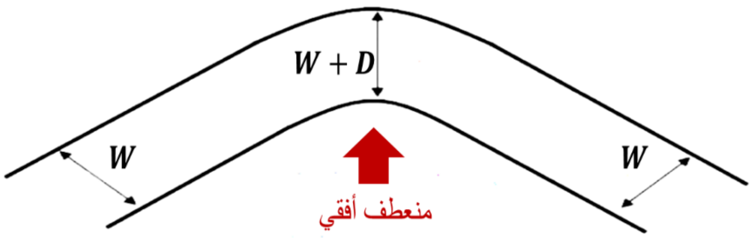
يجب أن يعطى الطريق (الجزء المزفت أو القارعة) عرضاً إضافياً في المنعطفات لكي تكون شروط الحركة على هذا المنحني مشابهة لشروط الحركة على الاستقامة، حتى لا يكون جزء من العربة خارج حدود الطريق. ويطبق التعريض الإضافي من طرفي الجزء المزفت أو من أحد أطرافه، ويفضل دائماً تطبيقه في الطرف الداخلي (باتجاه مركز القوس الدائري)، ويحسب التعريض الإضافي من العلاقة التالية:

$$D = n\left(R - \sqrt{R^2 - L^2}\right) + \frac{v}{10\sqrt{R}}$$

- D: قيمة التعريض الإضافي للطريق وهو ثابت على طول القوس الدائري (م)
- n: عدد الحارات المرورية
- L: طول العربة التصميمية (م)
- R: نصف قطر المنحنى الدائري الداخلي (م)
- v: السرعة التصميمية (كم/سا) وتؤخذ نفس قيمتها بالاستقامة إذا كانت قيمتها أقل أو تساوي 100كم/سا وفي حال كانت أكبر فتؤخذ 75% من قيمتها وبحيث لاتقل عن 90كم/سا

ملاحظة: يجب أن لاتزيد قيمة $\frac{v}{10\sqrt{R}}$ عن 0.5 متر مهما كانت قيمة السرعة، وإذا تجاوزت 0.5 متر نحذف القيمة ونضع 0.5 متر.





قيمة التعريض الإضافي لكل حارة مرور على أن تضرب القيم المستخرجة من الجدول بعدد الحارات المرورية في الطريق.

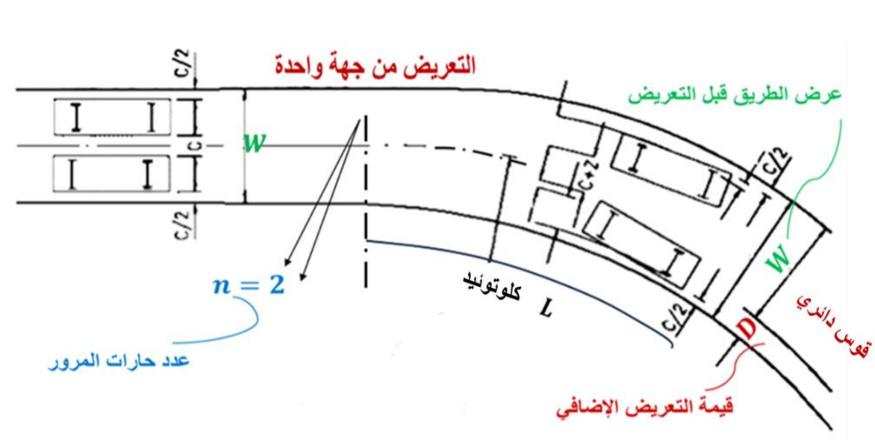
نصف قطر القوس الدائري (متر)	التعريض الواجب إعطاؤه للجزء المزفت من الطريق لكل حارة مرور (متر)											
	عرض الحارة المرورية 3.65 متراً					عرض الحارة المرورية 3.25 متراً						
	السرعة التصميمية كم/سا					السرعة التصميمية كم/سا						
	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80	90	100
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7
300	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7	
250	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.8		
200	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9		
175	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8			
150	0	0	0.6	0.6		0.6	0.8	0.8	0.9			
125	0.5	0.6	0.6			0.7	0.8	0.9				
100	0.6	0.6				0.8	0.9					
80	0.7	0.8				0.9	1.1					
60	0.8					1.1						
50	0.9					1.3						
45	1.0					1.4						

يطبق التعريض الإضافي من طرفي الجزء المزفت أو من أحد أطرافه، على حسب الاعتبارات الهندسية والمرورية، ويفضل تطبيقه في الطرف الداخلي (باتجاه مركز القوس الدائري) وهو الأكثر شيوعاً والمفضل هندسياً في معظم الحالات، وذلك للأسباب التالية:

1- **اقتصادياً** أقل تكلفة

2- **هندسياً** المركبات تميل للانحراف نحو الداخل بسبب القوى الجانبية فالتعريض يوفرلها مساحة إضافية طبيعية للحركة

3- مسار العجلات في المنعطف الأمامي والخلفي يختلف خاصة للمركبات الطويلة وتميل العجلات الخلفية للاقتراب من الحافة الداخلية.

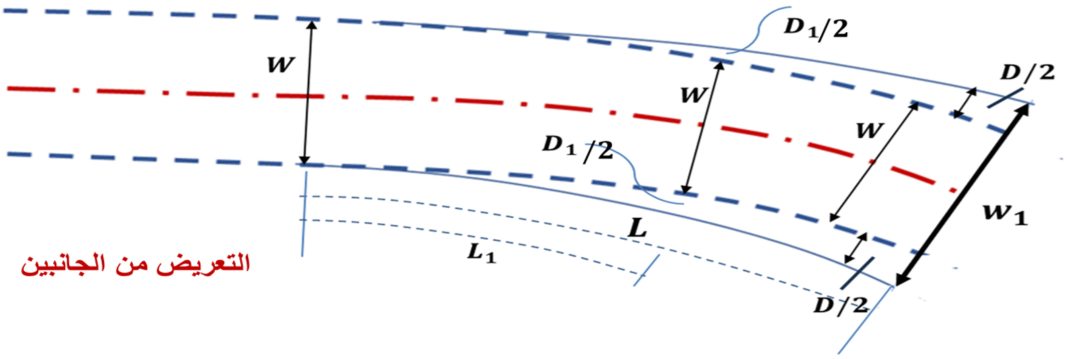


متى نعرض من الطرفين؟

1- يكون المنعطف حاد جداً ونصف القطر صغير جداً

2- الطريق باتجاهين والمساحة متوفرة

3- لتقليل الانحراف الجانبي الفجائي



توزع قيمة التعريض الكلية على جانبي الطريق كما يلي:

$\Delta R < \frac{D}{2} \Leftarrow$ يعرض الطرف الخارجي للطريق بقيمة ΔR ، ويعرض الطرف الداخلي بالقيمة المتبقية.

$\Delta R > \frac{D}{2} \Leftarrow$ نعرض طرفي الطريق بشكل متساوي (الداخلي والخارجي).

في حال عدم وجود منحني انتقالي، فإنه يفضل ألا يقل التدرج بالتعريض كما يلي:

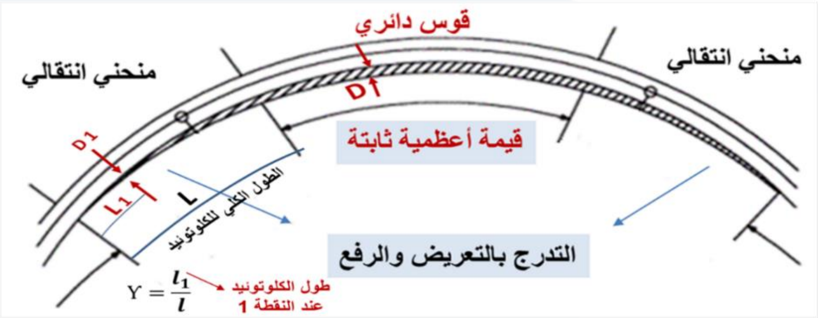
- لطرق الدرجة الثالثة والرابعة: **نعرض الطريق بمقدار 1 متر على طول مسافة انتقالية مستقيمة مقدارها 25 متر).**
- طرق الدرجة الأولى والثانية والأوتسترادات: **(أي نعرض الطريق بمقدار 1 متر على طول مسافة انتقالية مستقيمة 50 متر).**

طول التدرج بالتعريض هو نفسه طول المنحني الانتقالي (الكلوتوئيد)، يتم الانتقال بالتعريض الإضافي تدريجياً قبل الوصول إلى القوس الدائري، ثم تبقى قيمة التعريض ثابتة على كامل طول القوس الدائري، وبعد القوس الدائري يتدرج بالنقصان حتى القيمة صفر، ثم يعود الطريق إلى عرضه الأصلي في الاستقامة.

وتحسب قيمة التعريض في أية نقطة من نقاط منحنى الوصل المتدرج من العلاقة التالية:

$$D_1 = D(4Y^3 - 3Y^4)$$

Y : نسبة الطول الجزئي للكلوتوئيد عند كل نقطة على الطول الكامل للكلوتوئيد، l : الطول الكلي للكلوتوئيد بالمتر، l_1: طول الكلوتوئيد الجزئي عند النقطة 1 المراد حساب مقدار العرض الإضافي الانتقالي عندها بالأمتار، D : قيمة التعريض الكامل للطريق في القوس الدائري بالمتر، D_1: قيمة التعريض الإضافي الانتقالي عند النقطة 1 بالمتر.



التعريض اللازم لحارة المرور الداخلية في المنعطفات الأفقية

<u>مثال:</u>

ما هو معدل ارتفاع الطريق (الرفع العرضاني) المطلوب تحقيقه على منعطف أفقي، يخضع لتأثير القوة النابذة وبسرعة تصميمية للطريق تبلغ 80 كم/سا، إذا علمت أن نصف قطر المنعطف R=100m وأن عامل الاحتكاك الجانبي أو العرضاني f= 0.14، ثم تحقق من قيمة هذا الرفع إذا كان مناسباً، وماهي الحلول المقترحة في حال عدم توفر الشروط الحدية؟

$$e=\frac{v^2}{127*R}-f=\frac{80^2}{127*100}-0.14=0.364\,m/m$$

أي أن قيمة الرفع 0.364 متر لكل 1 متر من عرض الطريق.

<u>للتحقق من قيمة الرفع العرضاني من الناحية العملية نتبع الخطوات التالية:</u>

1- نحسب معدل الرفع العرضاني عند 75% من قيمة السرعة التصميمية، مع إهمال الاحتكاك الجانبي، (أي اعتبار أن السرعة تقوم بـ 75% أو تقاوم 75% من تأثير القوة النابذة والعامل f يقاوم 25%.

$$e=\frac{v^2}{127*R}=\frac{60^2}{127*100}=0.28\,m/m$$

2- عندئذ يجب التأكد من قيمة f حسب السرعة التصميمية:

$$f=\frac{v^2}{127*R}-e=\frac{80^2}{127*100}-0.28=0.22>0.15$$

في هذا المثال ومن الأرقام الناتجة نجد أنه لكي يتحقق استقرار السيارة على المنعطف، سيأخذ الاحتكاك الجانبي أكثر من القيمة الحدية المسموحة 0.15، وبالتالي معدل التعلية غير مناسب.

3- نحسب نصف القطر المناسب للمنعطف الأفقي، بحيث لاتزيد القيم e,f عن القيم المسموحة مجتمعةً.
وبالتالي يجب مراجعة السرع المسموحة على المنعطف v_a:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{v^2}{127 * R}$$

$$0.067 + 0.15 = \frac{80^2}{127 * R} \Rightarrow R = 232.22m$$

في حال لم تسمح الظروف بزيادة نصف القطر، عندئذ سيضطر المصمم إلى اعتماد قيمة أخرى للسرعة التصميمية مناسبة للقيم المسموحة للتعلية، والتي تحسب كما يلي:

$$0.067 + 0.15 = \frac{{v_a}^2}{127 * 100} \Rightarrow v_a = 52.5 km/h$$

مثال:

احسب معدل الارتفاع العرضاني الذي يجب تطبيقه على منعطف أفقي نصف قطره R=700m تسير عليه عربة بسرعة تصميمية v=80km/h، وتحقق من قيمة عامل الاحتكاك العرضاني، إذا علمت أن الطريق مؤلف من حارتي مرور عرض كل منهما 3.5 متر، وأن نسبة ميل المنحدر تساوي 0.5، واحسب طول المنحدر وبين كيف يمكن تطبيق الرفع العرضاني، إذا علمت أن القوس الدائري متصل بالاستقامة مباشرة.

$$e = \frac{(0.75v)^2}{127 * R} = \frac{(0.75 * 80)^2}{127 * 700} = 0.040\, m/m < 0.067\, m/m$$

أي 4 سم لكل 1 متر من عرض الطريق، وهذه القيمة أصغر من القيمة الحدية **1/15=0.067**

$$f = \frac{v^2}{127 * R} - e = \frac{80^2}{127 * 700} - 0.04 = 0.031 < 0.15$$

وبالتالي التصميم مناسب وملائم.

حساب طول المنحدر:

$$L = \frac{50 * e * w}{\mu} = \frac{50 * 0.04 * (3.5 * 2)}{\mu} = 28m$$

وهو الطول الأصغري للتعلية الإضافية، ويمكن تطبيقها بأن يكون ثلثان من الطول على الاستقامة أي 18.7 متر والقيمة 9.33 متر على القوس الدائري.

مثال:

تسير عربة على منعطف أفقي مؤلف من قوس دائري وكلوتوئيدين متناظرين بسرعة 110 كم/ سا، فإذا علمت أن نصف قطر المنعطف 500 متر وطول كل من الكلوتوئيدين هو 100 متر، احسب مقدار التعريض الإضافي في هذا المنعطف، علماً أن عدد الحارات المرورية 4 حارات وطول العربة الأعظمي الذي يمكن أن تسير على المنعطف هو 15 متر، ثم احسب مقدار هذا التعريض كل 20 متر من طول هذا المنعطف.

$$D = n\left(R - \sqrt{R^2 - l^2}\right) + \frac{v}{10\sqrt{R}}$$

تؤخذ قيمة السرعة 75% من قيمتها في الاستقامة على أن لاتقل عن 90 كم/ سا

$$D = 4\left(500 - \sqrt{500^2 - 15^2}\right) + \frac{90}{10\sqrt{500}} = 1.3m$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{100^2}{24 * 500} = 0.83$$

$$\Delta R > \frac{D}{2} \Rightarrow 0.83 > 0.65 \Rightarrow$$

نعرض الطريق من طرفيه الداخلي والخارجي بشكل متساوي، ويكون التعريض من بداية الكلوتوئيد بالتدريج حتى الوصول إلى القوس الدائري، ويبقى ثابتاً على كامل طول القوس الدائري، ثم يبدأ بالنقصان حتى القيمة صفر بعد الانتهاء من الكلوتوئيد والدخول في الاستقامة.

حساب مقدار التعريض كل 20 متر من طول المنعطف:

$$Y_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{20}{100} = 0.2$$

$$Y_1 = 0.2 \Rightarrow D_1 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.2^3 - 3 * 0.2^4) = 0.035m$$

$$Y_2 = 0.4 \Rightarrow D_2 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.4^3 - 3 * 0.4^4) = 0.23m$$

$$Y_3 = 0.6 \Rightarrow D_3 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.6^3 - 3 * 0.6^4) = 0.618m$$

$$Y_4 = 0.8 \Rightarrow D_4 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.8^3 - 3 * 0.8^4) = 1.065m$$

$$Y_5 = 1.0 \Rightarrow D_5 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 1^3 - 3 * 1^4) = 1.3m$$

مثال:

في منطقة ذات هطول مطري شديد، تم تنفيذ مشروع طريق باتجاهين بعرض للرصف الاسفلتي 7.2 متر، وبميل عرضي باتجاهين في الاستقامة وفي المنعطف الدائري الذي يبلغ نصف قطره 380 متر، فإذا علمت أن السرعة التصميمية لهذا المشروع هي 70 كم/سا، وبأن الاحتكاك العرضي يعادل 0.14، المطلوب:

1. مناقشة توازن العربات عند اجتيازهم هذا المنعطف
2. حساب السرعة الأعظمية المسموحة على هذا المنعطف
3. مقترحات تعديل المقطع العرضي لتصبح السرعة المسموحة 100 كم/ سا.

ملاحظة: عندما نقول هطول مطري شديد نأخذ **i=2.5%**، وعندما نقول هطول مطري خفيف نأخذ **i=2%**، **هنا سيتم دراسة حالتين:**

1. **الميل العرضي يلعب دوراً مقاوماً للقوة النابذة**
2. **الميل العرضي يلعب دوراً مساعداً للقوة النابذة**

دور مقاوم:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = \frac{(70)^2}{127 * (\frac{2.5}{100} + 014)} = 233.33m < 380m$$

ستمر المركبات بسلام على الطريق

دور مساعد:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (-e + f)} = \frac{(70)^2}{127 * (-\frac{2.5}{100} + 0.14)} = 335.5m < 380m$$

ستمر المركبات بسلام على الطريق

حساب السرعة الأعظمية المسموحة على هذا المنعطف:

$$380 = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = \frac{V^2}{127 * (\frac{2.5}{100} + 014)} \rightarrow V = 89.34\ Km/h$$

$$380 = \frac{V^2}{127 * (-e + f)} = \frac{V^2}{127 * (-\frac{2.5}{100} + 0.14)} \rightarrow V = 74.5\ Km/h$$

نعتمد للأمان القيمة الأصغر أي $V = 74.5\ Km/h$

مقترحات تعديل المقطع العرضي لتصبح السرعة المسموحة 100 كم/ سا:

$$380 = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = \frac{(100)^2}{127 * (014 + \frac{i}{100})} \rightarrow i = 6.72\%$$

نجعل الميل باتجاه واحد مقاوم للقوة النابذة وبقيمة $i = 6.72\%$

مثال:

منطقة ذات هطول مطري خفيف تم تنفيذ مشروع طريق باتجاهين برصف اسفلتي عرض 7.2 متر، وبميل عرضي باتجاهين في الاستقامة، وباتجاه واحد في منعطف أفقي دائري نصف قطره 230 متر، مع تعلية 6%، واحتكاك عرضي 0.15، والمطلوب:

1. تحديد السرعة التصميمية على هذا المنعطف
2. حساب الطول اللازم لتدرج المقطع العرضي (Runoff_Runout)

3. رسم مسار الرفع الجانبي للمقطع العرضي

اعتبر دوران المقطع العرضي حول محور الطريق وزيادة العرض من الجانبين.

تحديد السرعة التصميمية على هذا المنعطف:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e+f)} \rightarrow 230 = \frac{(V)^2}{127 * (0.06 + 0.15)} \rightarrow V = 78\ Km/h$$

حساب الطول اللازم لتدرج المقطع العرضي (Runoff_Runout):

$$h_1 = \frac{\text{عرض الطريق}}{2} * i = \frac{7.2}{2} * 0.02 = 0.072m$$

لأن الهطول المطري خفيف أخذنا i=2 %، وإذا كان الهطول شديد يؤخذ i=2.5%

نحسب قيمة h_2 بعد التعريض حيث نحسبها دوماً بقيمة الميل الأعظمية:

$$h_2 = \frac{\text{عرض الطريق مع الزيادة}}{2} * i_{max}$$

$$D = \frac{n * l^2}{2 * R_{min}} + \frac{v}{10\sqrt{R}} = \frac{2 * (6)^2}{2 * 230} + \frac{78}{10\sqrt{230}} = 0.67m$$

(عرض الطريق مع الزيادة):

$$w_1 = w + D = 7.2 + 0.67 = 7.87\ m$$

$$h_2 = \frac{w_1}{2} * 0.06 = \frac{7.87}{2} * 0.06 = 0.236\ m$$

$$h = h_1 + h_2 = 0.072 + 0.236 = 0.308\ m$$

حساب طول المنحنى الانتقالي:

$$L_1 = \frac{v^3}{47 * K * R_{min}} = \frac{(78)^3}{47 * 0.3 * 230} = 146.3\ m$$

اعتمدنا القيمة (K=0.3- 0.6)
واعتمدنا K=0.3 للتكبير

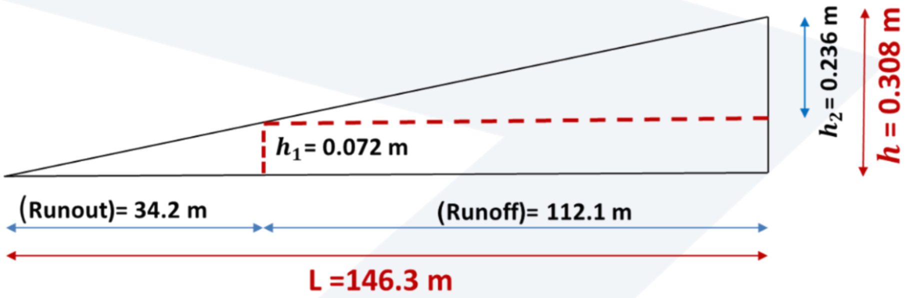
$$L_2 = [150 - 200] * h = 200 * 0.308 = 61.6\ m$$

اعتمدنا القيمة 200 للتكبير

$$L_3 = [0.8 - 1.4] * v = 1.4 * 78 = 109.2\ m$$

اعتمدنا القيمة 1.4 للتكبير

$$L = max\ of \begin{bmatrix} L_1 = 146.3\ m \\ L_2 = 61.6\ m \\ L_3 = 109.2\ m \end{bmatrix} = 146.3\ m$$



$$\frac{h_1}{Runout} = \frac{h}{L} \rightarrow Runout = \frac{h_1 * L}{h} = \frac{0.072 * 146.3}{0.308} = 34.2\ m$$

$$\frac{h_2}{Runoff} = \frac{h}{L} \rightarrow Runoff = \frac{h_2 * L}{h} = \frac{0.236 * 146.3}{0.308} = 112.1\ m$$

مثال:

احسب قيمة الرفع العرضاني لمنعطف أفقي بنصف قطر 500 متر، وبسرعة تصميمية 100 كم/ سا ، علماً أن المرور مختلط.

$$e = \frac{(0.75*100)^2}{127*500} = 0.0885\ m/m > 0.067\ m/m$$

نأخذ القيمة 0.067 ونتحقق من معامل الاحتكاك العرضي:

$$f = \left(\frac{100^2}{127*500} - 0.067\right) = 0.157-0.067=0.09 < 0.15$$

وبالتالي التصميم مناسب بتعلية قيمتها 0.067 متر/ متر.

مثال:

إذا علمت أن السرعة التصميمة لطريق 80 كم/ سا ويقع عليه منعطف أفقي بنصف قطر 200 متر، أوجد مقدار الرفع العرضاني لإمكانية السير بالسرعة التصميمية، وفي حال التقيد بالقيمة الأعظمية القصوى 0.067 احسب أقصى سرعة للمسير على هذا المنعطف.

$$e = \frac{(0.75*80)^2}{127*200} = 0.143\ m/m > 0.067\ m/m$$

نأخذ القيمة 0.067 ونتحقق من معامل الاحتكاك العرضي:

$$e + f = 0.067 + 0.15 = \frac{{v_a}^2}{127 * 200}$$

v_a= 74 km/ h
وهي أقصى سرعة
مسموح بها

مثال:

أوجد طول منحني الانتقال إذا علمت ان السرعة التصميمية 60 كم/ سا، نصف قطر المنحني 220 متر، معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية 0.6 م/ ثا2، معدل ميل منحدر التعلية في الاتجاه الطولي 0.6، اتساع الرصف بما فيه التعريض 7.2 متر.

1- طول منحني الانتقال بالنسبة لمعدل تغير العجلة الطاردة المركزية:

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

2- حساب قيمة الميل العرضاني عند المنحني:

$$e = \frac{(0.75v)^2}{127\,R} = \frac{(0.75*60)^2}{127*220} = 0.073\text{ m/ m} > 0.067\text{m/ m}$$

يجب التحقق من إمكانية السير بسرعة 60 كم/ سا:

$$f = (\frac{v^2}{127\,R} - e) = (\frac{60^2}{127*220} - 0.067) = 0.063 < 0.15$$

لذلك يسمح بالسير على هذا المنعطف بالسرعة 60 كم/سا، ويكون مقدار الرفع العرضاني بالنسبة لمحور الطريق0.067

3- حساب طول منحني الانتقال بالنسبة لمعدل ميل منحدر التعلية في الاتجاه الطولي :

$$L = \frac{50*e*W}{\mu} = \frac{50*0.067*7.2}{0.6} = 40.2\text{ m}$$

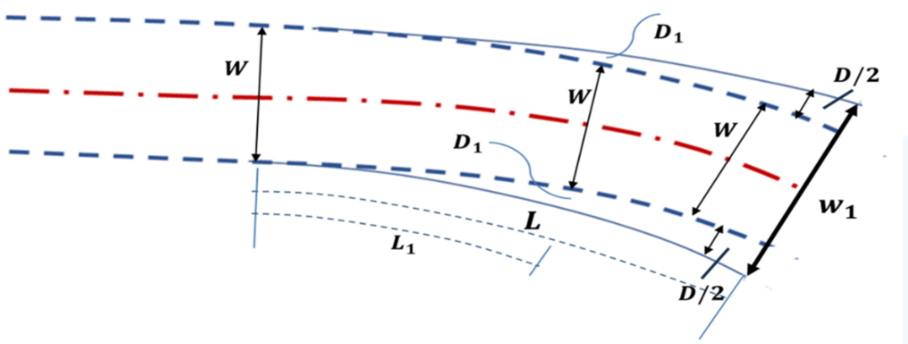
وبالتالي تؤخذ القيمة الأكبر أي 40.2 متر وتقرب إلى 45 متر.

مثال:

تعطى القيمة الكلية للتعريض في المنعطف الدائري (نهاية الكلوتوئيد) D=70 cm، ولدينا طول الكلوتوئيد الكلي L= 45.27 m، ماهي قيمة التعريض الكلية من أجل النقطة الواقعة على بعد L_1=18m، (باعتبار أن التعريض من الجهتين بالتساوي).

نوجد قيمة ζ:

$$\zeta = \frac{L_1}{L_k} = \frac{18}{45.27} = 0.397 \sim 0.4m$$



$$D_1 = D(4\zeta^3 - 3\zeta^4) = 70\ (4 * 0.397^3 - 3 * 0.397^4) = 12.3\ cm$$

وبالتالي فإن زيادة العرض الكلية تكون عند النقطة السابقة:

$$D_1 = 2 * 12.3 = 24.6\ cm$$

مثال:

بفرض أن نصف قطر المنحني الدائري 100 متر والسرعة التصميمية 50 كم/سا ومعامل الاحتكاك 0.15، أوجد ما يلي:

1- معدل الرفع العرضاني للمنحني في حالة الاستفادة من الاحتكاك الجانبي.

2- معامل الاحتكاك في حالة عدم تنفيذ الرفع العرضاني أو التعلية.

3- ما هو الرفع العرضاني المعادل، أي عندما يكون الضغط على العجل الخارجي يساوي الضغط على العجل الداخلي.

$$e + 0.15 = \frac{50^2}{127 * 100} = 0.197$$

$$e = 0.197 - 0.15 = 0.047$$

في حالة e =0

$$f = \frac{50^2}{127 * 100} = 0.197$$

في حالة f =0

$$e = \frac{50^2}{127 * 100} = 0.197$$

ومن الناحية العملية لا يستخدم الرفع العرضاني عند سرعات أقل من السرعة التصميمية، حيث تتعرض العربة إلى الانزلاق إلى الداخل نتيجة لتولد قوة طاردة مركزية صغيرة مقارنةً بمركبة وزن العربة.

يجب أن يتساوى الرفع العرضاني بمعامل الاحتكاك حتى لا تنزلق العربة إلى الداخل، وفي بعض الأحيان هناك صعوبة عملية للرفع العرضاني كما في حال التقاطعات، وعندها يجب أن تقاوم قوة الاحتكاك القوة الطاردة المركزية، وأن تحدد السرعات على هذه المنعطفات على هذا الأساس، أي:

$$f = \frac{v^2}{127\,R} \qquad e = 0$$

الحد الأقصى يؤخذ عادةً 1:15 (0.067 متر لكل متر)،
على أن لا يقل الحد الأدنى عن الميل العرضي اللازم لصرف مياه الأمطار.

مثال:
طريق من حارتين يقع عليه منحنى أفقي بنصف قطر 480 متر، فإذا كانت السرعة التصميمية 80 كم/سا، أوجد قيمة التعلية الإضافية للمرور المختلط، وما هو ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة لمحور الطريق في حال دوران الرصف حول المحور الطولي للطريق.

$$e = \frac{(0.75v)^2}{127 * R} = \frac{(0.75*80)^2}{127*480} = 0.059$$

وبما أنها أقل من 0.067 فإنه يمكن استخدامها، وبفرض أن عرض الرصف 7 أمتار، يكون لدينا ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة لمحور الطريق:

$$0.059 * \frac{7}{2} = 0.206\ m$$