



*Получена: 29.01.2019 г.*

*Приета: 06.03.2019 г.*

## ОТВОДНЯВАНЕ НА ПЪТНАТА НАСТИЛКА В ПРЕХОДНИ КРИВИ

Д. Мартинов<sup>1</sup>

*Ключови думи: пътна настилка, отводняване, надвишение, преходна крива*

### РЕЗЮМЕ

Статията предлага насоки за подобряване на отводняването на пътната настилка по дължина на преходната крива, там където е разположена и рампата на надвишението. По тази дължина от пътя, особено във външната лента или платно за движение, където напречният наклон на настилката сменя посоката си, се появява и опасната зона. В нея повърхностните води блуждаят и се оттичат бавно. В този случай има опасност от поява на явлението аквапланинг, което рязко влошава безопасността на движението.

### 1. Въведение

Отводнителният наклон, или още градиент на отводняването (Drainage Gradient) (DG), е термин в проектирането на пътя, определен като комбиниран наклон, дължащ се на напречния и надлъжния наклон на пътната повърхност. Ако отводнителният наклон е с ниски стойности, има опасност от бавно и недостатъчно добро отводняване. При интензивен дъждовен валеж това може да доведе до поява на воден пласт с опасно голяма дебелина и възможност за аквапланинг. Аквапланинг е явлението, при което дебелината на водния слой преминава критична стойност, при която между протектора на автомобилното колело и настилката се получава хидродинамичен клин, което води до частично или напълно изчезване на сцеплението между тях. При това състояние на практика транспортното средство става неуправляемо. Ако наклонът е много голям, има опасност от затрудненото му преодоляване от автомобилите със съответната проектна скорост и ня-

---

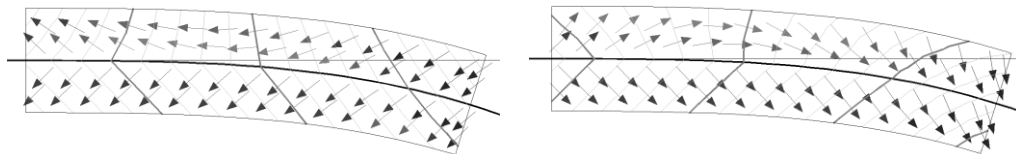
<sup>1</sup> Димитър Мартинов, гл. ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: martinov@mail.com

ма голямо влияние върху разглеждания проблем с отводняването. Минималните стойности на отводнителните наклони в повечето страни са приети – 0,5%. Едно изключение от този минимум от 0,5% може да бъде намерено в Норвежкото ръководство за проектиране на пътища, където минималният наклон на оттичане е 2% вместо 0.5%.

Градиентът на отводняване в общия случай за нови пътища с асфалтобетонена настилка у нас е 2,54%, като се има предвид напречният наклон от 2,5% и минималният надлъжен наклон от 0,5 (0.3)%. Но като минимални стойности се приемат 0,5%, които ще гарантират едни минимални скорости на отводняване по изключение.

Преходната крива е елемент с пр оменлив радиус на кривина, който има редица важни функции не само при установяване на пътната ос. При наличие на преходна крива в нея се помества рампата на уширението и надвишението на настилка, необходими в хоризонталната крива. При липса на преходна крива се установява преходна рампа в която самостоятелно се поместват уширението и надвишението, необходими за съответната кръгова крива. Обикновено рампата се разполага с 1/3 до 2/3 от дължината си в правия участък, а останалата част, в кръговата крива. В този случай пълната стойност на надвишението се постига в края на преходната рампа.

Проблемите в отводняването по дължината на рампата на надвишението идват най-вече от факта, че особено във външната лента или платно за движение се получава смяна на посоката на напречния наклон. В този случай се формира опасна зона, която се характеризира с много малък напречен наклон и свързаното с това бавно и неподходящо по посока оттичане на повърхностните води. Това води до опасност от поява на явление-то аквапланинг, което рязко влошава безопасността на движението.



1) Качване отляво надясно (посоката на надлъжния и допълнителния наклон от надвишението съвпадат)

2) Слизане отляво надясно (посоката на надлъжния и допълнителния наклон от надвишението са в обратни посоки)

**Фиг. 1. Посока на оттичане на водите в преходната рампа**

Голямо проучване в Швеция в областта на пътната безопасност [3] показва, че много повече от инцидентите на единични автомобили или почти 5 пъти повече се случват в зоната на преходните криви във външната лента на движение. Този факт може частично да се обясни именно с указаната опасна зона при външната лента на прехода на надвишението [7].

За да се избегне отчасти този недостатък на пътното покритие и появата на аквапланинг, се разглеждат някои насоки при проектирането на рампата на надвишението, както и нейното разположение в общия план на трасето на пътя. Съществено е, разбира се, да се помисли и за самата повърхност на пътното покритие. Т.е. най-общо подобряването или частичното решение на проблема може да се разглежда в следните възможни аспекти:

- допълнителен надлъжен наклон на рампата на надвишението;
- местоположение на рампата на надвишението спрямо геометричните елементи на пътя;

- вид и структура на повърхността на пътното покритие в рампата.

## 2. Насоки за подобряване на отводняването при преходни криви

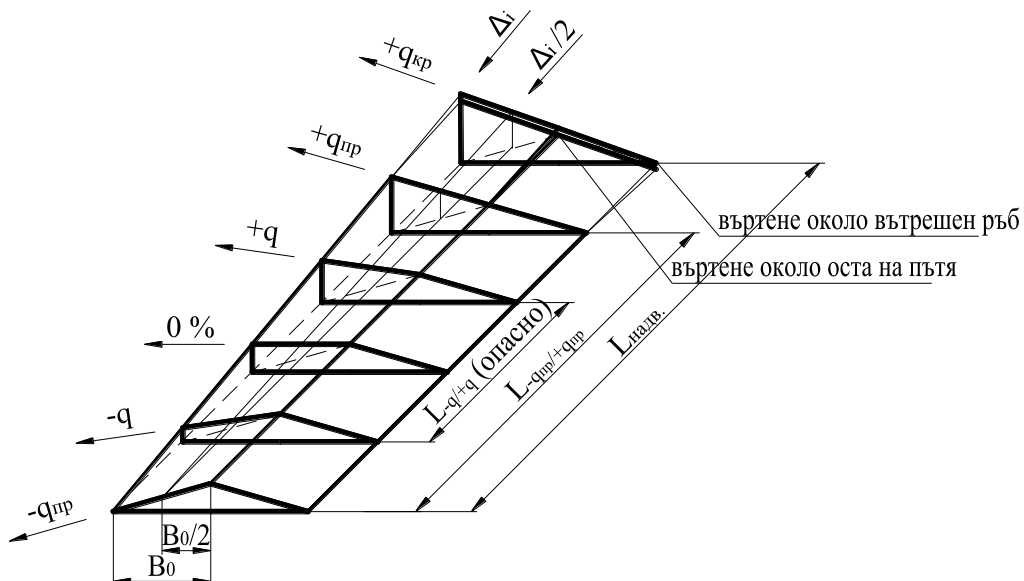
### 2.1. Допълнителен надлъжен наклон на рампата на надвишението

Завъртането на напречния наклон на пътната настилка поражда относителна промяна на нивото на ръбовете на настилка спрямо нивото на оста на пътя. Появява се допълнителен надлъжен наклон по ръбовете на настилка в рампата на надвишението, който се контролира спрямо гранично приети стойности, имащи за цел да допринесат за максималната безопасност на движение на автомобилите.

Стойностите на максималния допълнителен надлъжен наклон са от ограничението за скоростта на завъртане на напречния наклон на настилка, съответно напречното завъртане на автомобила, прието около  $0,025 \text{ rad/s}$ , с оглед на комфорта на движение и ускоренията, които се предизвикват. Те се дават в нормативните документи като функция от ширината на завъртането или с конкретни стойности. Но това няма отношение по настоящия проблем с отводняването пряко.

#### Минимален допълнителен надлъжен наклон

Стойностите на минималния допълнителен надлъжен наклон идват от изискването за ограничаване на дължината на участъци с малки напречни наклони, което ще доведе до относително по-слаб наклон за отводняване, и връщане на водите от ръба на настилка отново в активната ѝ средна част. Тук говорим най-вече за дължината на зоната с напречни наклони от  $-q\%$  до  $+q\%$ , което лесно може да бъде определено, като се има предвид геометрията на пътното тяло в рампата на надвишението, показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Схема за преоформяне на сеченията по дължина на рампата на надвишението

Дължината на рампата на надвишението е дадена в следващата формула

$$L_{\text{надв.}} = \frac{B_0 (q_{\text{кр}} \pm q_{\text{пр}})}{\Delta_i}, \text{ [m]}, \quad (1)$$

където  $L_{\text{надв.}}$  е дължината на рампата на надвишението в m;

$B_0$  – разстояние от оста на въртене до ръба на платното за движение в m;

$q_{\text{кр}}$  – напречният наклон на кривата в %;

$q_{\text{пр}}$  – напречният наклон в права в %;

$\Delta_i$  – допълнителен надлъжен наклон в ръба на настилката от надвишението в %.

Знакът е “+” при различна посока на напречните наклони в права и крива, и “-” при еднакви посоки на наклоните.

Наклоните  $q$ , които ограждат опасната зона, са такива, че да имаме един минимален градиент на отводняване, по-голям от 0,5%. Наклонът в зоната, и по точно в средата на външната лента, има две свои компоненти, едната е неизвестната и търсена стойност на напречния наклон  $q$ , а другата е надлъжният наклон. От фиг. 2 може да се види, че за средата на външната лента надлъжният наклон трябва да се ракордира с половината от очакваният допълнителен надлъжен наклон от надвишението. Очакваните стойности на надлъжния наклон в средата на лентата могат да се намерят също от формула (1), като функция от  $B_0$  и  $L_{\text{надв.}}$ , но това ще доведе до неопределеност. Очакваните стойности на допълнителния наклон са около 0,2 – 0,3%, за да не се получи невъзможно отводняване, предвид случай 2 от фиг. 1. Т.е. желателно е да се избягва допълнителният наклон да е равен на надлъжния. В такъв случай за средата на вътрешната лента приемаме надлъжен наклон от 0,4%.

Сега може да определим и стойността на търсения напречен наклон  $q$ , като го приемем за напречна компонента на минималния наклон за отводняване 0,5% и съответната друга, надлъжна компонента 0,4%. За  $q$  се получава:

$$q = \sqrt{0,5^2 - \left(i_{\text{мин}} - \frac{\Delta_i}{2}\right)^2} = \sqrt{0,5^2 - (0,4)^2} = 0,3, \text{ [%]}. \quad (2)$$

Имайки предвид формула (1), можем да определим дължината на зоната с опасност от поява на аквапланинг с напречни наклони  $q$ , от -0,3% до +0,3%.

$$L_{\text{надв.-}q/+q} = L_{\text{надв.-}0,3/+0,3} = \frac{B_0(0,3 \pm 0,3)}{\Delta_i}, \text{ [m]}. \quad (3)$$

Следва да се помисли за адекватно ограничаване на тази дължина. Личното ми предложение в полза на безопасността е тя да е такава, че автомобилът да може да я преодолее с дължината на колесната си база. В този случай добро сцепление ще бъде осигурено винаги поне за една от осите на автомобила. Или ако приемем за дължина на базата на масовия лек автомобил 2,7 m, както е фиксирано и в директива на Европейския съюз от 1996 г., то за допълнителния минимален надлъжен наклон ще се получи следното уравнение.

$$\min \Delta_i \geq \frac{B_0(q + q)}{L_{\text{надв.-}q/+q}} = \frac{B_0(0,3 + 0,3)}{2,7} = 0,22 \cdot B_0, \text{ [%]}. \quad (4)$$

Разположението на тази зона започва на разстояние от началото на рампата на надвишението, при известно  $q_{пр} = 2,5\%$ , съответно на

$$L_{-0.3\%} = \frac{B_0(-0,3 + q_{пр})}{\min \Delta_i} = \frac{B_0(-0,3 + 2,5)}{0,22 \cdot B_0} = 10, \text{ [m]}. \quad (5)$$

Получената с това разсъждение минимална стойност на допълнителния надлъжен наклон е повече от два пъти по-голяма от указаната в нормативните документи в нашата страна, както в Австрия и Германия [4, 5, 6, 8, 9, 10]. За минимални допълнителни наклони, там без значение от скоростта, е прието  $0,1 \cdot B_0$ .

Следва да се види каква е скоростта на завиване на напречния наклон по дължина на пътя за всяка една скорост и да се прецени дали не е висока.

Пътят, изминат за една секунда с проектната скорост, е

$$L = \frac{V_{пр}}{3,6}, \text{ [m]}, \quad (6)$$

от където може да се види какво се случва за всички проектни скорости при най-неблагоприятната ширина, в случая най-голямата възможна.

$$\frac{V_{пр}}{3,6} = \frac{B_0 \cdot \Delta q}{\Delta_i} \longrightarrow \Delta q = \frac{V_{пр} \cdot \Delta_i}{3,6 \cdot B_0}, \left[ \frac{\%}{s} \right] \longrightarrow \Delta q = \frac{V_{пр} \cdot \Delta_i}{3,6 \cdot B_0} \cdot \frac{1}{100} \cdot \frac{\pi}{200}, \left[ \frac{\text{rad}}{s} \right]. \quad (7)$$

От формула (7) в зависимост от скоростта и най-неблагоприятният случай за ширина в зависимост от елементите и габаритите в настоящата наредба РД 02-20-02 за проектиране на пътища може да се види на следната таблица.

**Таблица 1. Скорост на завъртане на напречния наклон на настилката с  $\min \Delta_i$**

$V_{пр}$ [km/h]	Най-голямото възможно $B_0$ [m]	Пътят, изминат за 1 sec [m]	$\min \Delta_i = 0,22 \cdot B_0$ [%]	max $\Delta_i$ по норми			$\Delta q$ [%/s]	$\Delta q$ [rad/s]
				b	max $\Delta_i = b \cdot B_0$ при $B \leq 4$ m [%]	max $\Delta_i$ при $B > 4$ m [%]		

30	4	8.33	0.88	0.5	<b>2</b>	2	1.8333	0.0003
40	4	11.11	0.88	0.5	<b>2</b>	2	2.4444	0.0004
50	3	13.89	0.66	0.5	<b>1.5</b>	2	3.0556	0.0005
60	3.75	16.67	0.825	0.4	<b>1.5</b>	1.6	3.6667	0.0006
70	3.75	19.44	0.825	0.4	<b>1.5</b>	1.6	4.2778	0.0007
80	7.5	22.22	1.65	0.25	1.875	<b>1</b>	4.8889	0.0008
90	7.5	25.00	1.65	0.25	1.875	<b>1</b>	5.5000	0.0009
100	7.5	27.78	1.65	0.225	1.6875	<b>0.9</b>	6.1111	0.0010
110	10	30.56	2.2	0.225	2.25	<b>0.9</b>	6.7222	0.0011
120	14.5	33.33	3.19	0.225	3.2625	<b>0.9</b>	7.3333	0.0012
130	14.5	36.11	3.19	0.225	3.2625	<b>0.9</b>	7.9444	0.0012
140	14.5	38.89	3.19	0.225	3.2625	<b>0.9</b>	8.5556	0.0013

От таблицата може да се забележи, че така формулираните минимални стойности на допълнителния надлъжен наклон допринасят за допустими стойности на скорост за завъртане на напречния наклон на настилката при различните проектни скорости. Вижда се обаче, че при големи ширини на настилката рязко се увеличава допълнителният наклон, като за най-големите габарити достига до 3,19%. За един сравнително хоризонтален пътен участък внезапно появяват такива наклони (половината от тези стойности за оста на външната лента) ще се отразят неблагоприятно върху удобството и експлоатационните стойности при движение. Ето защо те са ограничени от нормативните документи до 0,9%. Тоест така приетата формула работи добре при двулентови пътища, което означава възможност от използването ѝ, а това ще доведе до намаляване на дължината на зоната с отводнителен наклон под 0,5%. Във всички останали случаи на по-малки допълнителни наклони при пътища с две платна за движение, опасната зона е с дължина над тази на превозните средства и внимателното ѝ поместване спрямо геометричните елементи на пътя, там където е по-подходящо, е от особено значение за безопасността на движението. Подходящо място е такова с по-голям надлъжен наклон и с малък градиент на завиване на ситуационната ос.

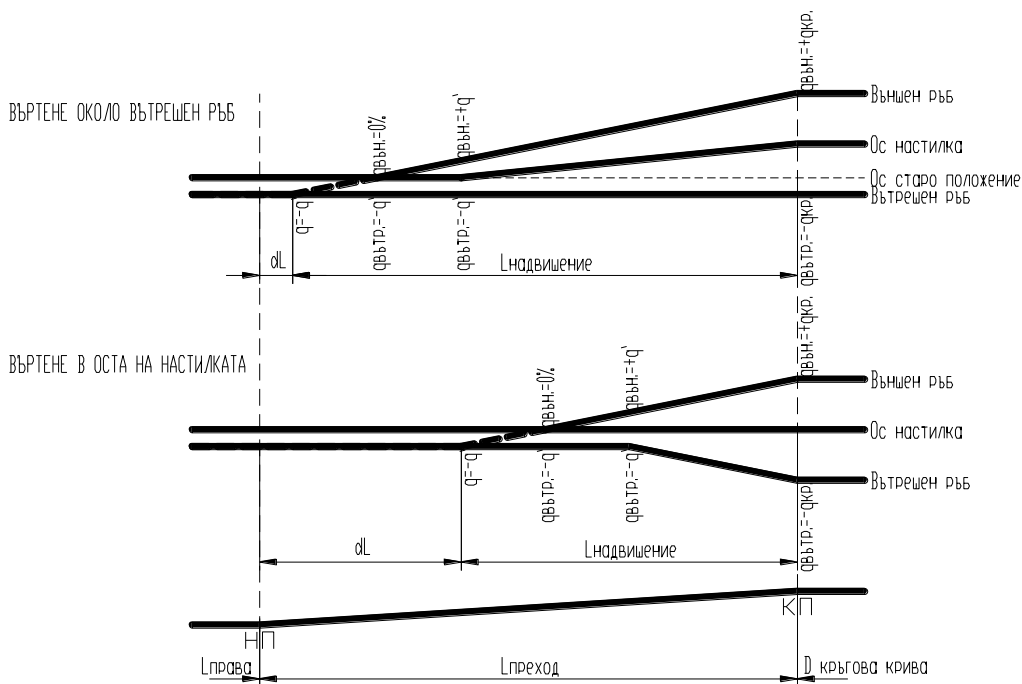
## **2.2. Местоположение на рампата на надвишението спрямо геометричните елементи на пътя**

В общия случай, повечето нормативни документи разполагат рампата на надвишението по дължината на преходната крива. Но ако разгледаме случаите с големи проектни скорости и големи радиуси, където имаме малки надвишения а в същото време големи дължини на преходните криви, става ясно, че наклонът за надвишението е много малък. В тези случаи зоната, при която напречният наклон е близък до 0, е много дълга. Ако този участък съвпадне и с равнинна част от пътя, където имаме много малки надлъжни наклони, ще се получи много голяма част от пътя с малък отводнителен наклон. Евентуалното скъсяване на дължината на преходната крива ще оправи отчасти проблема, но важната оптичска функция на кривата ще се влоши.

### **2.2.1. Приравняване на края на рампата на надвишението и преходната крива**

В горепосочения случай е необходимо да се помисли за ускорено преоформяне на настилката в една по-къса дължина, съответстваща на минималния допълнителен надлъжен наклон. Нормите в България за проектиране на пътища са дали възможност за това отделяне, само че в случаите, когато дължината на надвишението е по голяма, т.е. при къси преходни криви. В този случай двете рампи започват едновременно в точка НП, съответно НПГ, и дооформянето на наклона става след края на преходната крива. Изисква се условието в началото на кръговата крива (при наличие на преход това е около сечение  $X_m$ ) да сме достигнали с напречен наклон, по-голям от 2,0%. Но за обратното не е указана схема на завъртането. Един възможен вариант е даден от American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), който е лесен за внедряване и автоматизиране в софтуерните продукти, както е при AutoCAD Civil 3D. Там винаги по подразбиране рампата на надвишението и преходната крива са свързани в точка КП и съответно КПГ. Тоест максималното надвишение е винаги в края на преходната крива, а началото на рампата на надвишението зависи единствено от допълнителния надлъжен наклон, който може да се фиксира предварително. Схема на това може да се види на фиг. 3, където са показани случаите за завъртане на настилката около оста и около вътрешен ръб.

В този случай може да се отчете един недостатък. Сечението, при което напречният наклон на външната лента за движение е 0% и съответно зоната с опасност от поява на аквапланинг се намира в един етап от дължината на преходната крива. Сечението е при някакъв определен радиус на кривина, т.е. ако се получи аквапланинг, посоката на движение на автомобила или по-точно нейното мислено продължение върху водната повърхност няма да съвпадне с траекторията на лентата за движение. Това в определени случаи може да се окаже решаващо за безопасността на движението.

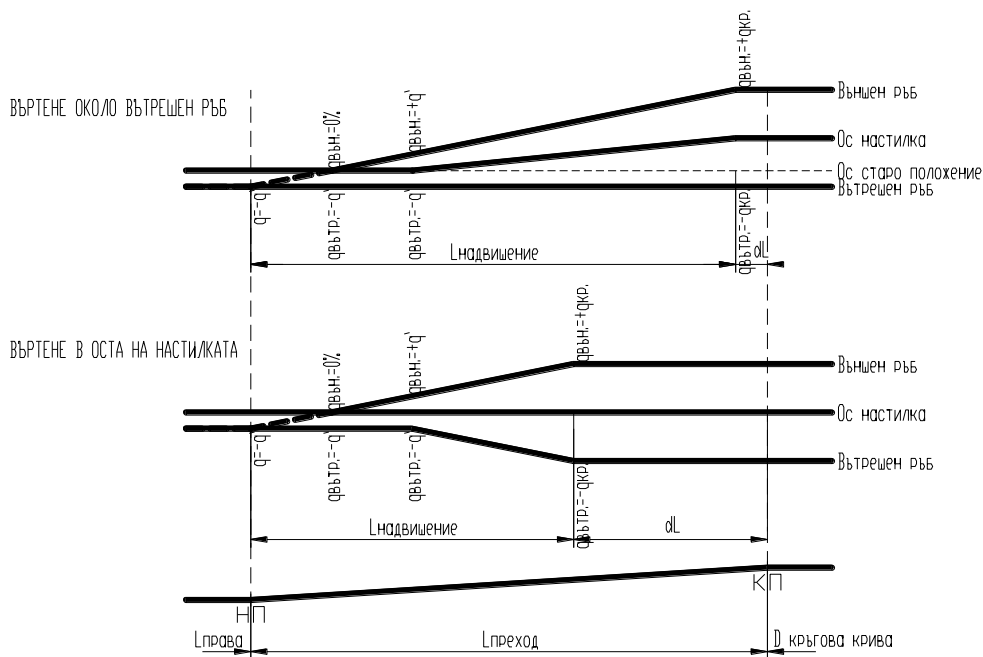


Фиг. 3. Схема за приравняване на края на рампата на надвишението и преходната крива

### 2.2.2. Приравняване на началото на рампата на надвишението и преходната крива

Друг възможен вариант при разлика в дължините на прехода на надвишението и преходната крива в полза на преходната крива е те да се комбинират така, че да съвпадат в началото си. По този начин зоната с възможна поява на аквапланинг ще се яви в началото на преходната крива, там където имаме малък градиент на завиване на пътната ос и съответно това би довело до подобрене на безопасността на движение.

Като основен недостатък на тази схема е появата на не малка дължина от пътя в максимален напречен наклон за съответната крива, разположен в голям радиус на кривина. Т.е. има несъответствие между напречните сили, действащи на автомобила при движението му в хоризонтална крива, и предвидения за това ефект от напречния наклон. Това би довело до опасност от приплъзване на автомобилите в посока към вътрешен ръб на настилка и голямо неудобство при движение със скорости, по-ниски от проектната.



Фиг. 4. Схема за приравняване на началото на рампата на надвишението и преходната крива

### 2.2.3. Ускорено завъртане на настилка до сечение с едностранен напречен наклон – $q'$

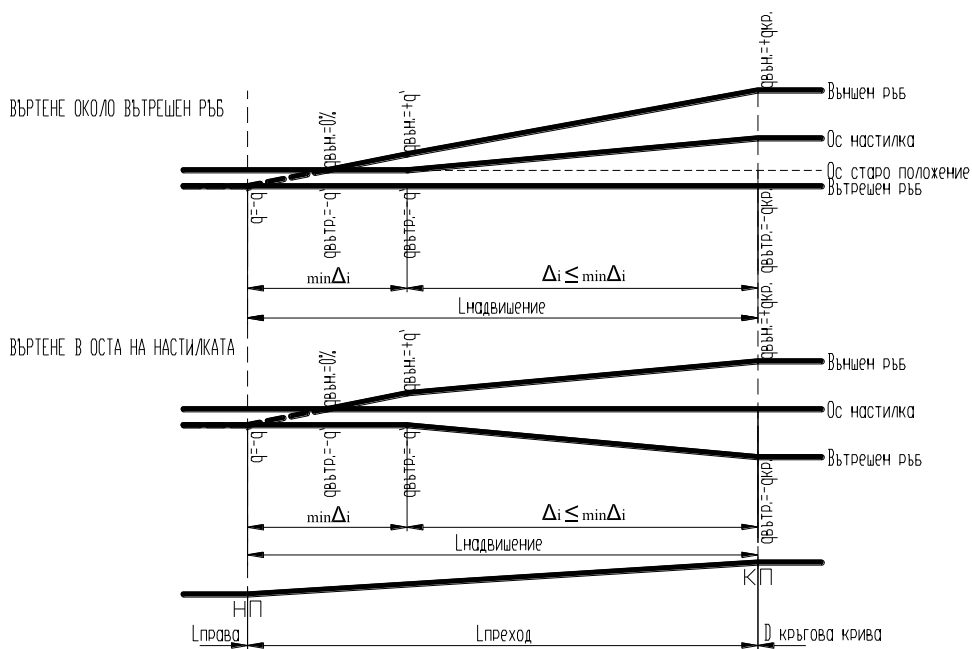
За да се избегне недостатъкът от горепосочените методи, може да се помисли за възможно изпълнение на надвишението чрез ускорено завъртане на настилка, както е показано на фиг. 5. На фигурата са показани случаите за завъртане на настилка около оста и около вътрешен ръб.

Тук в първия етап е извършено завъртането на настилка от двустранен напречен наклон до едностранен равен на двустранния в прав участък. Зоната за завъртане е разположена изцяло в преходната крива, като началото ѝ е допряно до началото на преходната крива в точка НП и съответно НП'. Завъртането е извършено с минималните стойности на допълнителния надлъжен наклон.

Вторият етап на дозавъртането на настилка се извършва, като дължината на етапа се премести така, че края на дозавъртането да съвпадне с края на преходната крива в точка КП и съответно КП', така както е в стандартния случай. Дължината на етап 2 в случая е фиксирана, като разлика между дължината на преходната крива и дължината на прехода на надвишението от етап 1. В дължината на етап 2 допълнителният надлъжен наклон се получава аналитично и няма основание за безопасността на движението, както и от гледна точка на отводняване, така и от силите, действащи на автомобила в хоризонтална крива и съответстващите за това напречни наклони. Може да се отбележи, че допълнителният надлъжен наклон в този случай е далеч под минималния.

В указания метод чрез ускорено преоформяне или завъртане на настилка до сечение –  $q'$  липсват съществените недостатъци от преходните два метода, което би могло да доведе до използването на схемата в повечето от случаите при проектирането на автомобилни пътища с високи скорости и равнинни терени.





Фиг. 5. Схема за ускорено завъртане на настилка до сечение с едностранен напречен наклон –  $q$

### 2.3. Вид и структура на повърхността на пътното покритие в рампата

Използването на дренажни асфалтови покрития е възможно решение за настоящия проблем. Но да не се забравя за недостатъците, които внасят към цялостното решение, а те не са малко: проблеми при поддържането на такъв вид настилка; къс експлоатационен период, предвид отворените пори и ниската устойчивост на замръзване; усложняване на технологията на изпълнение на асфалтовите работи и др. Това само по себе си показва ограниченото прилагане на този вид пътни покрития в последните години.

По-разумна би била насоката към използване на по-едри и груби фракции, по възможност за повърхностната обработка на асфалтовия пласт на пътното покритие. Това ще доведе до едно добро дрениране на повърхностните води, което ще се отрази много добре именно в зоните с нисък градиент на отводняване.

## 3. Изводи

Насоките за подобряване на отводняването при дълги преходни криви може да се разглеждат в няколко аспекта.

Използването на минимални допълнителни надлъжни наклони по ръбовете на външната лента за движение при двулентовите пътища, поне  $0,22 \cdot B_0$ , което ще гарантира дължина на зоната с нисък отводнителен градиент приблизително колкото е междуосието на масовия лек автомобил. Това ще обезпечи безопасното преминаване през опасния участък, чрез доброто сцепление поне на едната от осите на автомобила.

Използването на схема на преоформяне на настилната чрез ускореното ѝ завъртане в зона  $-q_{пр} /+ q_{пр}$ , чрез използване на минималния допълнителен надлъжен наклон, както и последващото ѝ дозавъртане до края на преходната крива. Това би довело до съвпадение на дължините на преходната рампа на надвишението и преходната крива, което е в полза за удобството, възприятието на пътя от водача, както и безопасността на движението.

Използването на по-груби текстури за повърхностна обработка на асфалтовите пластове ще доведе до оттичане на повърхностните води с една по-малка височина на водния пласт над покритието. Това е в основата за предотвратяване на състоянието аквапланинг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. Analysis of fatal single crashes on Swedish State Highways except expressways 1997-2000, Swedish Road Administration publ 2002:109.
3. James A. Bonneson. Superelevation Distribution Methods and Transitions Design, National Cooperative Highway Research Program, Report 439, Washington, 2000, ISSN 0077-5614.
4. RAA – Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, Ausgabe 2008.
5. RAL – Richtlinie für die Anlage von Landstraßen, Ausgabe 2012.
6. RAS-L – Richtlinie für die Anlage von Straßen, Ausgabe 1995.
7. Roadex III report on "Health issues related to poorly maintained road networks".
8. RVS – Linienführung und trassierung, Ausgabe 2014.
9. Наредба № 1/2000 норми за проектиране на автомобилни пътища, МРРБ, 2000 г.
10. Наредба № РД-02-20-2 за проектиране на пътища, МРРБ, август 2018 г.

## DRAINAGE OF ROAD PAVEMENT IN TRANSITION CURVES

D. Martinov<sup>1</sup>

*Keywords: road pavement, drainage, super elevation, transition curve*

### ABSTRACT

The paper provides guidelines for improving road drainage along the transition curve, where the ramp of super elevation is located. A dangerous zone appears along this length of the road, especially in the outer lane or traveled way, where the transverse slope of the pavement changes its direction. Surface waters wander and slowly descend on the pavement in this area. A danger of the phenomenon of aquaplaning arises, which can seriously impair the traffic safety.

---

<sup>1</sup> Dimitar Martinov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia1046, e-mail: martinov@mail.com