

АНАЛИЗА ГЛАВНИХ УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА НА БРЗИНУ И ТРАЈЕКТОРИЈУ КРЕТАЊА ВОЗИЛА У ПУТНИМ КРИВИНАМА

Доц. др Сања Фриц, дипл. грађ. инж.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, sfritic@grf.bg.ac.rs

В. проф. др Дејан Гавран, дипл. грађ. инж.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, gavran@eunet.rs

Истраживач-сарадник Владан Илић, мастер инж. грађ.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, vilic@grf.bg.ac.rs

Асис. Филип Трпчевски, мастер инж. грађ.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, ftprcevski@grf.bg.ac.rs

Асис. Стефан Врањевац, мастер инж. грађ.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Резиме: Безбедност саобраћаја, као последица значајног броја саобраћајних незгода и изгубљених људских живота у њима, постала је један од најактуелнијих проблема данашњег савременог друштва. Како би се достигао, а потом и одржао континуирани опадајући тренд догађања саобраћајних незгода, неопходно је проблем безбедности посматрати са становишта интеракције возача, возила и околине. Већина досадашњих истраживања показала су да кључне информације из околине возачу пружа управо пут. Тако највећи утицај на возача, при доношењу одлуке о начину војње и промени стања кретања возила, имају пре свега елементи ситуационог плана пута. У овом раду ће бити приказана синтеза домаћих и иностраних истраживања на тему главних утицајних фактора на брзину и трајекторију кретања возила у путним кривинама, са акцентом на анализи везе брзина – пројектни елементи пута, као једног од кључних параметара који утичу на безбедност и удобност војње у целини.

Кључне речи: безбедност саобраћаја, радијус кривине, трајекторија кретања, пројектна брзина, очекивана брзина војње, тренутна брзина

ANALYSIS OF THE MAIN IMPACT FACTORS ON THE VEHICLE SPEED AND TRAJECTORY ON RURAL ROAD CURVES

Abstract: Road safety, due to a large number of accidents and casualties, has become one of the most important issues of modern society. To achieve and maintain a continuous descending trend of traffic accidents, it is necessary to study the safety problem from the point of interaction of driver, vehicle and the environment (roadway). Previous studies have shown that the most important information perceived by driver is provided by the road itself. Thus, the utmost effect on the driver, when making a decision about how to drive, is made by the elements of road horizontal alignment... This paper will present the synthesis of domestic and foreign research of the main influencing factors regarding vehicle speed and trajectory in horizontal curves, with emphasis on the analysis of the link between speed and road design elements, as one of the key parameters that affect road safety and ride comfort in total.

Keywords: road safety, curve radius, vehicle trajectory, design speed, operating speed, current speed

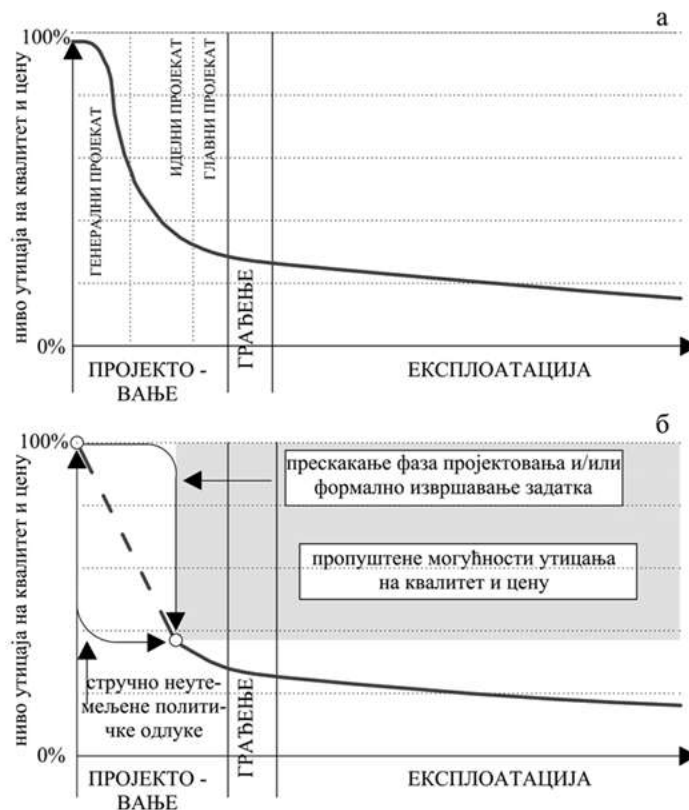
1. УВОД

Велики број људских жртава пре свега, као и велике материјалне штете, чине да безбедност саобраћаја полако постаје један од најактуелнијих проблема савременог друштва. Како би се обезбедио континуирани опадајући тренд дешавања саобраћајних незгода, неопходно је проблем безбедности разматрати на основу интеракције између возача, возила и инфраструктуре.

Аутомобил је значајно изменио живот сваког појединца, омогућивши му слободу кретања, али истовремено поставши симбол личног престижа свог власника. Квалитет живота човека у савременом друштву у значајној мери зависи управо од аутомобила.

Поред очигледних предности, коришћење аутомобила доноси и негативне последице, од којих су најзначајније: загађење животне средине, анагажовање драгоценог простора на дужи временски период и оно што је нарочито важно, саобраћајне незгоде [1]. Кључно питање је: Како укључити захтеве безбедности у процес планирања и пројектовања путева тако да се утицај пута на догађање саобраћајних незгода смањи и побољша безбедност саобраћаја у целини?

Исправан методолошки приступ процесу планирања и пројектовања путева у најранијим фазама пројектовања, омогућава ефикасно и континуално утицање на ниво квалитета пројекта и укупне трошкове грађења и експлоатације пута. Највећа, најалост и најчешћа грешка, у планирању и пројектовању путева јесте прескакање појединих фаза пројектовања и истовремено спровођење стручно неутемељених одлука (**Слика 1**), што често резултује неадекватним пројектним решењима која, по правилу, са собом носе значајне трошкове, како у фази грађења, тако и у фази експлоатације.



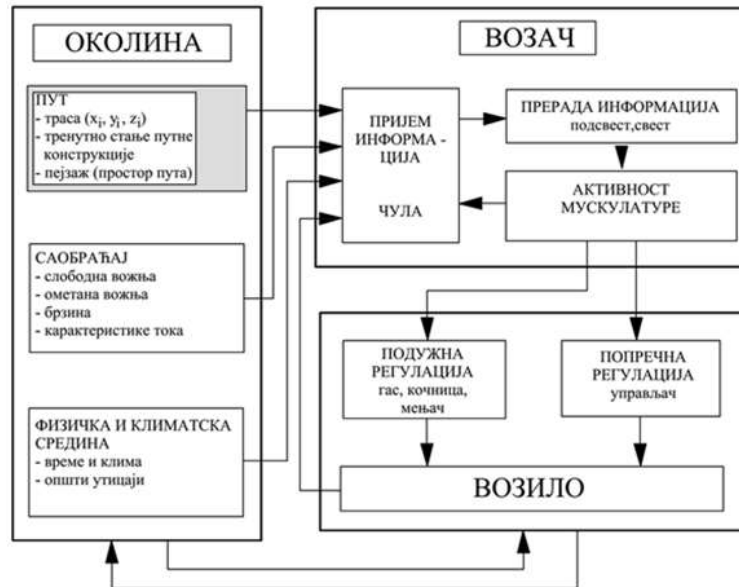
Слика 1. Ниво утицаја на квалитет и цену кроз фазе пројекта [1]

Већина досадашњих истраживања су показала да најважније информације из околине возачу пружа управо пут којим се креће у датом тренутку. Питање које из овога проистиче је у којој је мери управо пут узрочник догађања саобраћајне незгоде. Према истим истраживањима, највећи утицај на возача, када доноси одлуку о промени стања кретања возила, има постојећа геометрија пута.

Рад приказује анализу досадашњих истраживања главних утицајних параметара на реално вожену трајекторију у путним кривинама, као једног од основних елемената ситуационог плана ванградских путева.

2. СИСТЕМ ВОЗАЧ – ВОЗИЛО - ОКОЛИНА

У пројектовању путева, кључни проблем је како симулирати кретање возила на начин који ће довољно ефикасно описати реалне услове вожње, а у исто време бити и довољно једноставан за примену. У ову намену развијен је затворени кибернетички модел возач - возило - околина (Слика 2), који помаже да се у теоријском смислу на реалан начин прикажу стварне ситуације у вожњи.



Слика 2. Кибернетички систем возач – возило – околина [2]

Поред остваривања кретања ка жељеном циљу, возач истовремено има и кључну, управљачку улогу у функционисању целог система. Он прима информације из околине, обрађује их, и у складу са тим доноси одговарајућу одлуку и реагује у складу са том одлуком. Треба имати у виду да се способности возача да на прави начин реагује, временом мењају и да на њих утичу и године старости, стечено искуство, начин размишљања и сл. [3][4][5].

У систему В-В-О, возило представља објект управљања који, као последица донесених одлука управљача, заузима различите положаје у времену и простору. Најзначајније информације о стању система возач добија из целокупног простора који га окружује, односно из путног простора.

Утицај околине се различито дефинише у зависности од тога шта је предмет истраживања. Тако може обухватати низ различитих елемената који утичу на безбедност вожње па све до конкретизације на само одређени утицајни фактор, као што је, у овом раду, радијус путних кривина и брзина у тим кривинама. У условима слободног саобраћајног тока, са становишта грађевинских инжењера, може се сматрати да на понашање возача готово искључиво утичу информације о путу и путном простору које он током вожње добија.

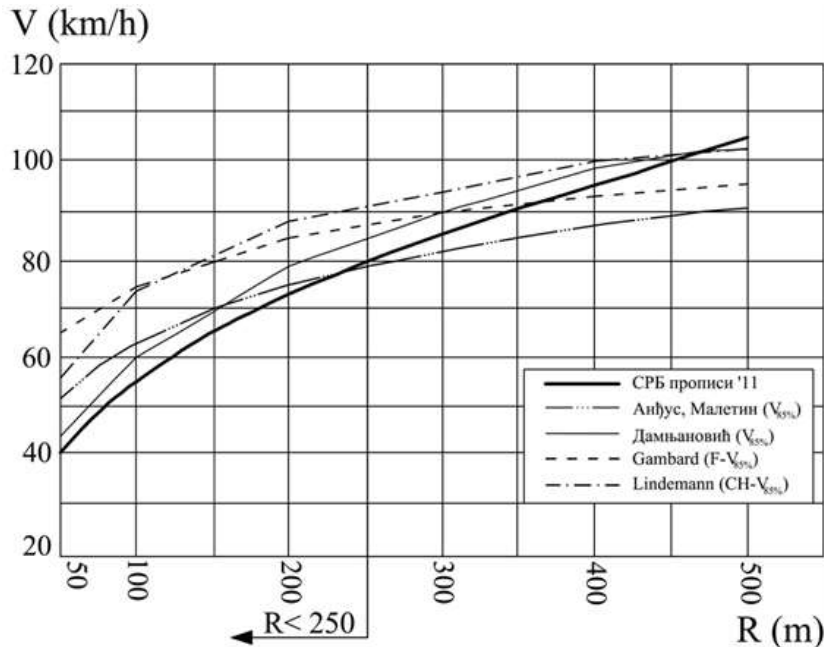
3. МЕРОДАВНЕ БРЗИНЕ У ПРОЈЕКТОВАЊУ ПУТЕВА

Брзина представља индикатор нивоа услуге пута али и основни показатељ при дефинисању трасе пута, димензионисању и вредновању пројектних решења. Такође, она представља и полазни елемент у дефинисању и димензионисању попречног профила пута.

Критеријуми за дефинисање сигурности и удобности вожње у условима слободног саобраћајног тока такође су у функцији брзине. У складу са тим, она представља и један од водећих узрочника догађања саобраћајних незгода на ванградским путевима.

Проблем меродавних брзина у пројектовању путева везан је пре свега за возно-динамичке анализе траса. Оне имају одлучујућу улогу у оцени квалитета одређеног пројектног решења и представљају његову прву проверу са становишта удобности и безбедности вожње.

Процес возно-динамичког оцењивања трасе пута заснива се на одређивању промене брзине у функцији примењених елемената плана и профила пута и саобраћајног оптерећења за дати ниво услуге. Нека од најважнијих истраживања теоријских зависности брзине од примењених елемената пута везана су за крај педесетих и почетак шездесетих година двадесетог века у Европи. Када су у питању наведена истраживања, углавном је већина њих везана за зависност брзине од примењених радијуса кривина у ситуационом плану (**Слика 3**).



Слика 3. Зависност брзине возње од радијуса кривине - компарација истраживања [2]

Резултати истраживања показали су недвосмислено да постоји сличност добијених резултата, без обзира на земљу у којој је истраживање спроведено. Може се закључити да у подручју радијуса мањих од 250 m постоји значајније одступање тренутних брзина возње - $V_{85\%}$ од теоријских брзина дефинисаних у важећим прописима, односно тренутне брзине су свакако веће. Ово је нарочито важно са аспекта безбедности возње, с обзиром да је подручје малих радијуса оно у којем су саобраћајне незгоде најзаступљеније.

4. ПОЈАМ ВОЖЕНЕ БРЗИНЕ И ВОЖЕНЕ ТРАЈЕКТОРИЈЕ

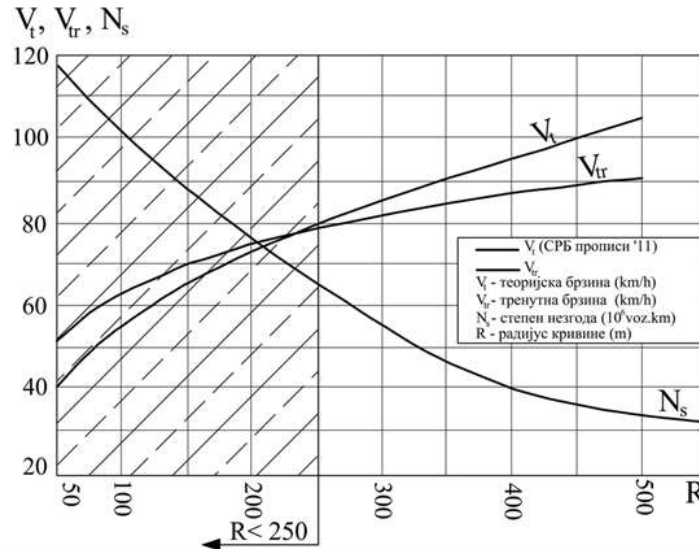
Којом ће се брзином и трајекторијом заиста возити у конкретној путној кривини, при унапред дефинисаним условима неопходним за безбедност возње (прегледност, подужни нагиб, попречни нагиб и сл.), зависи како од вредности радијуса те кривине, тако и од дужине кружног лука и скретног угла кривине. Ранија истраживања су показала да у путним кривинама мањег радијуса и мањег скретног угла, постоје значајне разлике између теоријске трајекторије возње, односно пројектованог радијуса кривине, и реалне, вожене трајекторије у тој кривини. Вожена трајекторија описује радијус који је значајно већи од пројектованог радијуса. Оваква комфорнија трајекторија као директну последицу има то да се у оваквим путним кривинама, вози брзинама које могу бити значајно веће од теоријски претпостављене брзине. Управо деонице са мањим радијусима кривина су оне које су са аспекта безбедности возње и најкритичније, односно, оне са највећим степеном несигурности и највећим бројем саобраћајних незгода које се у њима догађају (**Слика 4**).

Основни циљ спроведених истраживања био је да се, на основу теоријских и експерименталних анализа, утврди утицај постојећег радијуса путне кривине на начин возње (брзину и трајекторију) путничких возила у условима слободног саобраћајног тока. Претпоставка у свим истраживањима је била да постоји неусаглашеност вожене и теоријске трајекторије, као и да постоји значајна зависност брзине возње путничких возила у слободном саобраћајном току од изведеног радијуса путних кривина на ванградским путевима.

Услед неусаглашености вожене и теоријске трајекторије, сматра се да долази до тога да је тренутна брзина у конкретним кривинама већа од теоријске брзине на основу које се дате кривине и пројектују.

Као последица свега наведеног, може се закључити да долази до значајног угрожавања безбедности вожње у датим кривинама.

Утврђивањем праве зависности између стварне трајекторије возила и примењеног радијуса кривине, омогућило би се свакако смањење последица примењене путне геометрије али и спречило њихово настајање још у почетним фазама пројектовања, изменама важећих смерница за пројектовање путева.



Слика 4. Веза између теоријске брзине, очекиване брзине и степена незгода [2]

5. АНАЛИЗА ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Два најважнија чиниоца која могу описати понашање возача у путним кривинама су брзина и трајекторија којом се вози у тим кривинама. Како је брзина један од кључних параметара који утичу на безбедност саобраћаја, веома је важно испитати утицај вожене брзине на безбедност вожње у условима слободног саобраћајног тока.

У досадашњим истраживањима развијени су различити модели за предикцију брзине возила у путним кривинама. Поред брзине, анализиран је и бочни положај возила у кривинама, са циљем идентификације и типизације различитих вожених трајекторија у датим кривинама. Поред брзине и путање, испитивани су и други значајни фактори који могу утицати на безбедност вожње као што су стање коловоза, утицај коефицијената трења, утицај околине у најширем смислу и сл. [2].

Лоренц (Lorenz H.) [6] се још 1950. године бавио анализом кретања возила кроз кривину тзв. „оптималном“ брзином. Аутор је ту брзину дефинисао као брзину слободног волана која се јавља приликом кретања кроз кривину. У том случају се управљање возилом врши искључиво притиском на педалу за гас. Анализирајући кретање возила, уочио је 3 карактеристичне трајекторије кретања: возило које се креће оптималном брзином прати осовину возне траке; возило које се креће брзином већом од оптималне креће се ка спољној ивици возне траке; возило које се креће брзином мањом од оптималне креће се ка унутрашњој ивици возне траке. Аутор је закључио да је неопходно и коришћење волана за управљање возилом, како не би дошло до „излетања“ возила из кривине. Утврђено је да на возача утиче и недовољна прегледност, попречни нагиб коловоза неприлагођен просечној брзини кретања, неусклађеност суседних елемената ситуационог плана пута и др.

Кребс (Krebs G.H.) [7] такође се међу првима (1973.) бавио анализирањем трајекторије возила у путним кривинама. Он је у својим истраживањима утврдио да у кривинама долази до мањег или већег одступања вожене трајекторије од теоријске претпостављене. Вожени радијус по правилу је већи од пројектованог радијуса за испитивану кривину. Показао је да је разлика значајно већа код путних кривина чији су и радијус и скретни угао мањи. Аутор је дошао и до аналитичких израза који повезују вожени и пројектовани радијус, узимајући у обзир ширину возне траке и ширину меродавног возила. На

крају Кребс закључује да брзину вожње у кривинама треба одредити анализом радијуса вожене трајекторије а не анализом радијуса пројектоване трајекторије.

Истраживања Копела (Koppel G.) [8][9] (1980.) показала су да су разлике у теоријском и стварном понашању возача нарочито значајне код кривина малог скретног угла и радијуса између 50 и 300 m. Аутор се бавио истраживањем везе између брзине и елемената ситуационог плана пута. У свом истраживању је утврдио да не постоји чврста (једнозначна) веза V-R, већ би тај однос требало посматрати са статистичког становишта, при чему је радијус кривине значајан али не и једини параметар који утиче на вожену брзину у кривини. Мана наведеног истраживања је да је утврђена веза између вожене брзине и пројектованог радијуса, али не и између вожене брзине и воженог радијуса. Аутор у свом закључку указује на феномен променљиве вредности теоријске (пројектне) брзине као нешто што је неопходно детаљније истражити у будућности.

Дамњановић [3][4] је током 1981. године испитивао утицај елемената пута на брзину у слободном саобраћајном току. Елементи пута су представљали независне варијабле чији се утицај на брзину, као случајну величину, испитивао. Мерење је извршено „изнутра“, из 5 наменски опремљених возила за потребе експеримента. Возилима су управљали возачи по прецизно дефинисаним упуствима која су подразумевала и јасно дефинисану трајекторију кретања. Аутор је уочио 3 карактеристична случаја променљивог кретања возила. Заједничко за све случајеве је то да се брзина кретања возила прилагођавала наилазећем критичном елементу пута (непосредно пре/после кружне кривине, на дугачком правцу и сл.) и да, зависно од тога, возило успорава или убрзава. Мана наведеног истраживања је да није утврђен стварно вожени радијус и његова веза са брзином кретања, већ је утврђена веза између брзине и унапред дефинисаног радијуса кретања.

Савременија истраживања показују да је готово немогуће наћи праву везу између карактеристика пута и понашања возача, ако би се истраживање усмерило искључиво на анализу брзине кретања. Истраживање Немачког Савезног Завода за Путеве [10] 1987. године је као основни закључак навело да „поређење брзина на посматраним деоницама није, упркос свим очекивањима, успоставило никакву релевантну везу између брзина и честих саобраћајних незгода које су се на тим деоницама дешавале.“ Овакви и слични резултати су навели стручну и научну јавност да у анализама реалног саобраћајног тока, поред анализе брзине кретања, укључи и анализу трајекторије кретања возила.

Дончева [11] је 1993. године у свом истраживању дошла до закључка да са порастом кривинске карактеристике расте и број саобраћајних незгода. Најважнији закључак њеног истраживања је да са порастом коефицијента динамичке хомогености, расте и степен саобраћајних незгода. Овим се поново истакло да је у савременом пројектовању путева најважније пројектовати пут на којем би се остварила хомогена несигурност (по аутору, у 20-40% саобраћајних незгода главни узрочник незгоде је управо пут).

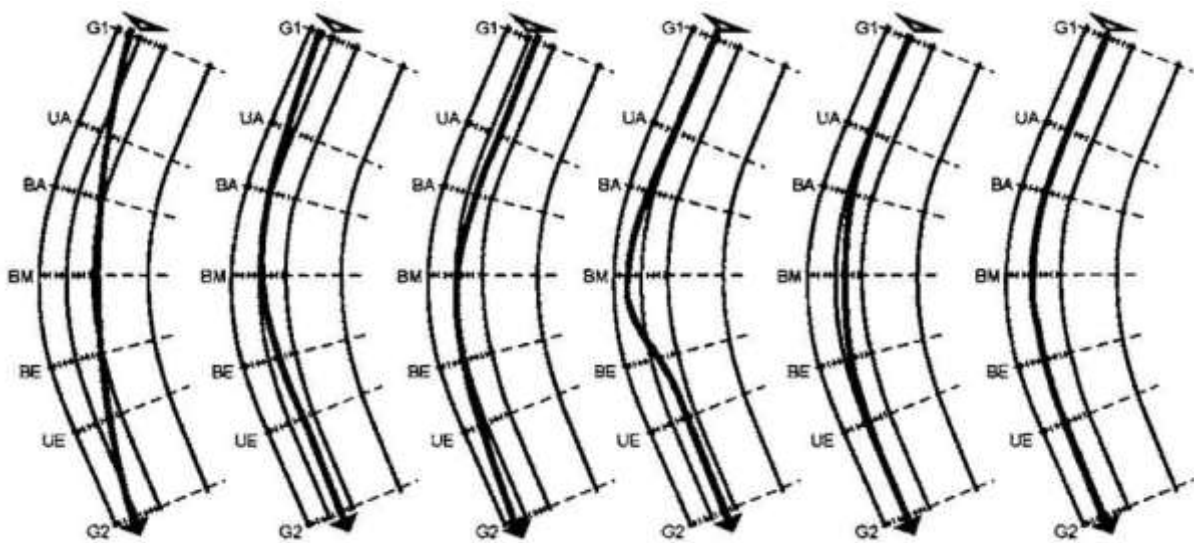
Вонг и Николсон (Wong D.Y., Nicholson A.) [12] су 1993. године анализирали понашање возача у слободном саобраћајном току у хоризонталним кривинама градског и ванградског подручја. Аутори су експериментално истраживање извршили „споља“ у условима дневне видљивости и сувог коловоза. Посебан акценат су ставили на анализирање везе између брзине и трајекторије кретања возила. Резултати истраживања су показали да постоји значајна разлика између трајекторије описане воженим и трајекторије описане пројектованим радијусом, али да не постоји јака зависност између брзине кретања и радијуса кретања возила. Аутори су указали и на везу између кривина малог радијуса и степена саобраћајних незгода: како се радијус кривине смањивао, степен саобраћајних незгода се повећавао.

Анђус и Малетин [13] су 1998. године детаљније истраживали трајекторију возила у хоризонталним кривинама, поготово у кривинама радијуса мањег од 250 m. Аутори су дошли до закључка да је вожена трајекторија у опсегу кривина мањег радијуса комфорнија од пројектоване трајекторије. Таква вожена трајекторија, по ауторима, омогућава возачу већу брзину кретања од теоријске брзине, а са већим брзинама расте и ризик од саобраћајних незгода. Аутори у закључку наводе да је управо брзина узрок 53.30 % саобраћајних незгода на двотрачним ванградским путевима.

Лам, Псарианос и Мејлендер (Lamm R., Psarianos R., Mailaender T.) [14][15] су током 1999. године направили синтезу истраживања брзина и њиховог утицаја на безбедност саобраћаја. Аутори су дошли до података да се 50 % саобраћајних незгода дешава на ванградским двотрачним путевима, од чега 30 % у кружним кривинама. Такође, 70% од тих саобраћајних незгода су незгоде са фаталним

последицама. Аутори су дошли и до закључка да се брзине у условима слободног саобраћајног тока, по сувом и по влажном коловозу (када је у питању мањи интезитет падавина), значајно не разликују. Иако вредности коефицијента трења опадају у условима влажног коловоза, истраживања су показала да возачи почињу да прилагођавају своје кретање условима коловоза тек у условима јаких пљускова и то превасходно услед смањене видљивости. Показало се и да у кружним кривинама чији је радијус мањи од 350 m, долази до значајног утицаја радијуса и закривљености кривине на повећање брзине у датим кривинама. Истраживања су показала да је у кружним кривинама радијуса мањег од 250 m, највећа стопа саобраћајних незгода и да ризик њиховог догађања опада са порастом вредности радијуса. Аутори на крају долазе до закључка да кружне кривине представљају значајан елемент путне геометрије, посебно са становишта безбедности и сигурности вожње.

Спачек (Спасек Р.) [16][17] се крајем двадесетог века бавио праћењем и типизирањем понашања возила у кривинама. Аутор је пошао од тога да се, код утврђивања зависности између понашања возача са једне стране, и карактеристика пута са друге стране, мора узети у обзир више параметара. Аутор наглашава да је чест случај да истраживања, која се заснивају искључиво на анализи утицаја брзине на безбедност вожње, у закључцима не докажу своју полазну претпоставку, јер се не може сматрати да је искључиво брзина узрок настанка саобраћајних незгода [10]. Аутор је пошао од претпоставке да постоји веза између геометрије кривине, трајекторије возила у кривини и догађања саобраћајних незгода. Експериментално истраживање је извршено у условима слободног саобраћајног тока, на 8 ванградских путних кривина радијуса између 65 и 220 m. У свакој кривини је постојало 12 мерних места (на унутрашњој и на спољашњој страни кривине), која су омогућавала праћење саобраћаја у оба смера кретања. Током експеримента, примећен је утицај карактеристика локалног саобраћаја на понашање возача у кривинама, у смислу доброг познавања пута и предвиђања ситуација које се на њему могу очекивати. Аутор је издвојио два понашања као доминантна: прво, када се возач понашао супротно важећим прописима и ограничењима и друго, када је понашање возача било условљено непостојањем одговарајућих информација из његове околине. Након извршеног експеримента, Спачек је изоловао 6 различитих типова трајекторија (Слика 5), које су обухватале и „нормално“ и „екстремно“ понашање возача (нпр. сечење кривина).



Слика 5. Различити типови трајекторија вожње [17]

Идеално понашање је подразумевало трајекторију која у потпуности одговара замишљеној средини возне траке којом се возило креће (прва трајекторија са десне стране). Остале изоловане трајекторије (Слика 5) су у већој или мањој мери одступале од идеалне трајекторије.

Када је у питању учесталост појављивања појединих трајекторија, аутор је дошао до закључка да је са најмањом учесталošћу управо идеална трајекторија. Аутор је нагласио да се ови типови даље могу поделити на подтипове у зависности од нивоа „екстремности“ возача приликом проласка кроз кривину. Као најтипичније понашање је изоловано оно када возач „прихвата“ и „разуме“ закривљеност кривине па самим тим њој прилагођава и своје понашање. Током експеримента се дешавало да возач не сагледа на време све карактеристике кривине па у њу уђе неодговарајућом брзином или погрешном трајекторијом. Тада је возач покушавао да на преосталом делу кривине исправи своју грешку

прилагођавањем услова вожње условима пута. Овакво понашање би резултирало трајекторијом чији је радијус мањи од пројектованог радијуса. Аутор је изоловао и случајеве када је возач „потцењивао“ закривљеност кривине, што га је доводило у непосредну опасност од излетања из кривине. Аутор у свом закључку између осталог наводи да постоје различити типови трајекторија у кривинама и да њихове карактеристике и учесталост њиховог понављања зависе од карактеристика дате кривине. Бонесон и Прат (Bonneson A.J., Pratt P.M.) [18][19] су у својим истраживањима на ову тему (2000. год.), дошли до закључка да, поред радијуса које возило описује приликом кретања кроз хоризонталну кривину, на вожену брзину значајно утиче и коефицијент трења.

Рифел и Цимерман (Riffel B.S., Zimmerman M.) [20] су 2011. године у свом експерименталном истраживању имали за циљ утврђивање модела трајекторије кретања возила у кривинама различитог радијуса и различитог скретног угла. Мерења су била „сакривена“ и извршена су уз помоћ наменски конструисане видео и радарске опреме. Намера аутора је била да се дефинисани модел кретања користи у даљој идентификацији опасних места на путној мрежи Немачке, са циљем побољшања безбедности вожње. Аутори су дошли до закључака да ограничења брзине немају значајан утицај на понашање возача у кривинама, већ има геометрија кривине (пре свега радијус), усклађеност суседних елемената ситуационог плана и сл.

Фицсимонс (Fitzsimmons, J.E.) [21][22][23] је експерименталним истраживањем уз помоћ индуктивних петљи смештених у коловозу пута, утврђивао брзину кретања возила и њихов положај у попречном профилу пута (2012. год.). Испитивање је обухватило једну ванградску и једну градску хоризонталну кривину. Резултати истраживања су показали да на трајекторију кретања кроз кривину највећи утицај има брзина којом се возило креће непосредно пре уласка у кривину. Аутор је утврдио да се у хоризонталним кривинама мањег радијуса вози значајно већим радијусом од оног који је пројектован. Аутор је у свом закључку указао на сложену везу између геометрије кривине, возила, возача и околине која га окружује, као и да је неопходно детаљније истражити везу између вожене трајекторије и степена саобраћајних незгода у кривинама.

Отман, Томсон и Ланер (Othman S., Thomson R., Lanner G.) [24] су 2013. године испитивали кружне кривине са аспекта безбедности вожње и догађања саобраћајних незгода у истим. Аутори су кружне кривине означили као критичан део путне мреже због значајног броја саобраћајних незгода које се у њима догађају, а који је 2.5-4.0 пута већи од оних које се догађају на правцу. Истраживање је подразумевало осматрање саобраћаја у реалним условима вожње, искључујући могућност да возачи знају да су предмет експерименталног истраживања. Експериментално мерење је трајало непрекидно 6 месеци и обухватило је укупно 96 хоризонталних кружних кривина. Мерене су брзине и убрзања сваког појединачног возила и одређиване су њихове вожене трајекторије. Аутори су дошли до следећег закључка: возачи у кривинама возе брзинама за које они оцене да су за дату кривину прикладне и те брзине су по правилу значајно веће од ограничења које у датим кривинама постоји. Затим, показало се да је вожени радијус значајно већи од пројектованог и да је то оно што омогућава кретање кроз кривину већим брзинама од теоријских брзина. Као најопаснији део кривине аутори су издвојили сам улазак у кривину, где се догађало значајно више саобраћајних незгода. Такође, истраживање је показало да су десне кривине опасније од левих и да се у њима дешава за око 20 % више саобраћајних незгода. Показано је и да су кривине чији је радијус мањи од 400 m, далеко опасније од кривина већег радијуса, без обзира на скретни угао предметне кривине. Аутори у свом закључку више пута упућују на утицај радијуса кривине на безбедност вожње у датим кривинама. Главни закључак аутора је да безбедност саобраћаја у кривинама највише зависи од радијуса кривина као и да је трајекторија кретања возила један од главних узрочника настанка саобраћајних незгода [2].

6. СМЕРНИЦЕ ЗА БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА ПУТНИХ КРИВИНА И ПРИМЕНУ ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Наведена истраживања су недвосмислено показала да је понашање возача у путним кривинама нарочито интересантно са аспекта анализирања безбедности и сигурности вожње у тим кривинама. Претходно је изнешен општи став да на кретање возила у таквим условима највећи утицај има пут и околина која га окружује. По свом значају, посебно се издвајају елементи ситуационог плана, пре свих радијуси путних кривина. Као што је претходно наглашено, изузетно значајне анализе, које представљају саставни део идејног пројекта су свакако возно - динамичке анализе пројектног решења. Овим анализама проверавају се сви кључни параметри одговорни за безбедност и удобност вожње у условима слободног саобраћајног тока.

У погледу будућих истраживања која би могла наћи своју примену на територији републике Србије, како би се дефинисала методологија пројектовања која би имала шири значај по безбедност вожње, могу се дати следеће препоруке:

- 1) извршити експериментална истраживања већег броја мерних деоница на путној мрежи Србије, како би резултати били веродостојни за процес генерализације добијених резултата. Потребно је анализирати кривине различитих радијуса у опсегу $50 < R < 250$ m, са различитим вредностима скретног угла γ , како би се утицај оштрих али и плитких кривина на реално понашање возача прецизније испитао;
- 2) извршити експериментална истраживања са циљем утврђивања утицаја усклађености суседних путних кривина на понашање возача у датим кривинама;
- 3) извршити експериментална истраживања брзина у условима мокрог коловоза, како би се прецизно утврдио утицај мокрог коловоза на брзину вожње, који би се потом могао генерализовати на ширу путну мрежу Србије;
- 4) укључивање добијених закључака ових истраживања у процес Провере сигурности пута, као саставног дела контролних листи које се у том процесу користе [2].

7. ЗАКЉУЧАК

Савремено пројектовање путева представља истраживачки процес у којем треба обезбедити захтевану ширину приступа проблему, са једне стране, а са друге јасно дефинисану хијерархијску уређеност. Изузетно је значајно формирати, а потом и доследно примењивати методологију пројектовања која је у складу са резултатима савремених истраживања.

У алгоритму процеса пројектовања издваја се једна фаза као најзначајнија са становишта безбедности и удобности вожње, а то је фаза идејног пројекта. Са правом се може рећи да је то фаза у којој пројектант засигурно има највеће могућности утицаја на карактеристике и квалитет будућег пута. Последице деловања у фази идејног пројекта значајно утичу на укупне трошкове грађења, експлоатације и одржавања одређеног путног правца.

Спровођење ширег опсега експерименталних истраживања утицаја елемената путних кривина на понашање возача у датим кривинама на територији републике Србије, могло би довести до кључног циља а то је имплементирање резултата тих истраживања у техничку регулативу за пројектовање нових деоница, реконструкције и рехабилитације (посебно у процесу идентификације црних тачака и „опасних“ места).

Ово би неспорно довело до побољшања безбедности вожње на путној мрежи, смањивања броја саобраћајних незгода, и што је најважније, прецизнијег утврђивања узрока догађања саобраћајних незгода као првог корака у процесу идентификације и реконструкције опасних места на путној мрежи. Такође, ово би пружило и могућност за отклањање узрока догађања саобраћајних незгода још у фази њиховог настајања, односно на нивоу пројектовања [2].

Литература

- [1] Анђус, В. (1994). *Пројектовање путева. Синтеза искуства, рационалности и креативности*, приступно предавање поводом избора за редовног професора Грађевинског факултета Универзитета у Београду на предмету Пројектовање путева, Београд.
- [2] Фриц, С. (2014). *Теоријско и експериментално истраживање граничних трајекторија вожње у ванградским путним кривинама*, докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду.
- [3] Дамњановић, Д. (1981). *Утицај елемената пута на брзину у слободном току*, докторска дисертација, Грађевински факултет, Ниш.
- [4] Дамњановић, Д., Милићевић, А., Цветковић, Д. (2002). *Усклађивање конструктивних елемената пута према очекиваној брзини у слободном току*, монографија, Грађевинско - архитектонски факултет, Ниш.
- [5] Катанић, Ј., Анђус, В., Малетин, М. (1983). *Пројектовање путева*, Грађевинска књига, Београд.
- [6] Лојенс, Н. (1980). *Пројектовање и трасирање путева и аутопутева*, Грађевинска књига, Београд.

- [7] Krebs, G.H. (1973). Einfluss des Kurvenschneidens auf Bogengeschwindigkeit und Trassierungsgrundsätze, *Strasse and Autobahn* (24), Heft 8.
- [8] Koppel, G., Bock, H. (1970). Kurvigkeit, Stetigkeit und Fahrgeschwindigkeit, *Strasse und Autobahn*, Heft 8.
- [9] Koppel, G. (1980). *Variable Entwurfsgeschwindigkeit*, Diss. RWTH – Aachen.
- [10] Kraus, B., Trapp, K.H. (1987). *Analysis and removal of accident sites on the highway network in rural areas*, Report on Research Project 8319, Federal Institute of Highways, Bergisch Gladbach.
- [11] Дончева, Р. (1993). *Влијание на колебањето на брзината во услови на слободен сообраќаен ток*, докторска дисертација, Градежен факултет, Скопје.
- [12] Wong D.Y., Nicholson A. (1993). Speed and Lateral Placement on Horizontal Curves, *Road and Transport Research*, Vol. 2, No. 1, ARRB, March 1993., pp .74-87.
- [13] Andus, V., Maletin, M. (1998). Speeds of Cars on Horizontal Curves, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board (TRB), No. 1612, pp. 42-47.
- [14] Lamm, R., Psarianos, B., Mailaender, T. (1999). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- [15] Lamm, R., Beck, A., Ruscher, T., Mailaender, T. (2007). *How to make Two-Lane Rural Roads Safer*, WITPress, Southampton, UK.
- [16] Spacek, P. (2000). Track Behavior and Accident Occurance in Curves on Two-Lane Highways in Rural Areas, *2nd International Symposium on Highway Geometric Design*, FGSV 002/67, Forschungsgesellschaft fur Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Keln.
- [17] Spacek, P. (2005). Track Behavior in Curve Areas: Attempt at Typology, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, No. 9, pp. 669-676.
- [18] Bonneson, A.J., Pratt, P.M. (2009). A Model for Predicting Speed Along Horizontal Curves on Two-Lane Highways, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board (TRB), No. 2092, pp. 19-27.
- [19] Bonneson, A.J. (2000). Kinematic Approach to Horizontal Curve Transition Design, Geometric Design and Effects on Traffic Operations, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board (TRB), No. 1737, pp. 1-8.
- [20] Riffel, B.S., Zimmermann, M. (2011). *Modellierung des Fahrverhaltens in Kurven*, Kolloquium fur Fortgeschrittene, Karlsruhe.
- [21] Fitzsimmons, J.E. (2011). *Development and Analysis of Vehicle Trajectories and Speed Profiles along Horizontal Curves*, PHD dissertation, Iowa State University.
- [22] Fitzsimmons, J.E., Kvam, V., Souleyrette, R.R., Nambisan, S.S, Bonett D.G. (2013). Determining vehicle operating speed and lateral position along horizontal curves using linear mixed-effects models, *Traffic Injury Prevention*, Volume 14, Issue 3, pp. 309-321.
- [23] Fitzsimmons, J.E., Nambisan, S.S. , Souleyrette, R.R., Kvam, V. (2013). Analyses of vehicle trajectories and speed profiles along horizontal curves, *Journal of Transportation Safety and Security*, Volume 5, Issue 3, pp. 187-207.
- [24] Othman, S., Thomson, R., Gunnar, L. (2013). Safety Analysis of Horizontal Curves Using Real Traffic Data, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 140, No. 4, 9 p.