

# РАСПОЛОЖИВА ПРЕГЛЕДНОСТ У ПРОЈЕКТОВАЊУ ПУТЕВА

Горан Ђајић

Институт за путеве а.г., Београд, Србија

**Резиме:** Значај оптичких контрола приликом пројектовања путева одлега се у великом утицају прегледности на безбедност и остваривање пројектованог нивоа услуге на путевима. Да би се одредила права вредност прегледности коју је у даљим просторним ограничењима могуће остварити на одређеној ситуационој новој пројектованој или при рехабилитацији постојеће пута, често није довољно посматрати проблем одвојено по пројекцијама и применивши класичне 2D анализе, већ се мора узети у обзир комплетна слика пута и околине у 3D перспективу.

**Кључне речи:** Зауставна прегледност, захтевана прегледност, претичајна прегледност, расположива прегледност, оптичке анализе, 3D модел пута и терена

## AVAILABLE SIGHT DISTANCE IN ROAD DESIGN

**Abstract:** Importance of optical controls in the road design process comes from the great impact that sight distance has on road safety and level of service. Very often defining the real value of the sight distance is possible to be achieved under certain spatial limitation on a chosen section of a newly designed or rehabilitated road, and cannot be observed separately as a part of a road design process nor the 2D analysis can be applied on it. Therefore, the complete picture of a road and its environment in 3D perspective must be taken into consideration.

**Keywords:** Stopping sight distance, required sight distance, passing sight distance, available sight distance, optical analysis, 3D road and terrain model

### 1. КАРАКТЕРИСТИЧНЕ ВРСТЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ

Имајући у виду чињеницу да возач 95% свих информација из околине прима помоћу чула вида, а да се као узрок готово 40% свих незгода на ванградским путевима директно или индиректно појављује недовољна прегледност, можемо са сигурношћу тврдити да, у фази израде идејног и главног пројекта, оптичке анализе играју најзначајнију улогу у пројектовању трасе за безбедну и удобну возњу, која ће у исто време задовољити визуелне критеријуме са положаја ока возача.

Проблем оптичких контрола у пројектовању путева углавном се своди на одређивање зауставне, захтеване, претичајне и расположиве прегледности.

Зауставна прегледност ( $P_z$ ) је једнака дужини пута која је потребна да би се возило безбедно зауставило испред непокретне сметње на коловозу.  $P_z$  је у функцији рачунске брзине деонице и представља један од полазних параметара за одређивање граничних елемената плана и профила.

Међутим, у процесу пројектовања се примењују и комотнији елементи од граничних, возачи некада одступају од предвиђеног начина одвијања саобраћаја (нпр. “сечењем кривина”), возила постају снажнија, возачи квалитетнији, па су брзине остварене на одређеној деоници пута веће од рачунске брзине деонице ( $V_{ri}$ ).

Увођењем концепта променљиве пројектне брзине ( $V_p$ ) у процес пројектовања постигнут је далеко већи ниво реалности и свеобухватности. Да би возња очекиваном брзином била безбедна потребно је да на датој деоници у свакој тачки буде остварена прегледност везана за пројектну брзину. То је захтевана прегледност ( $P_{zp}$ ).

Дужина захтеване прегледности представља збир прелазног пута од момента када возач уочи сметњу на коловозу па док не почне дејство кочница, пута који возило пређе при форсираном кочењу и заштитног одстојања:

$$P_{zp} = \frac{t_r \cdot V_p}{3.6} + \frac{V_p^2}{254 \cdot (f_{t(v)} + w_k \pm i_n)} + \Delta L$$

где су остали параметри у изразу за одређивање захтеване прегледности :

$t_r$  – време реакције возача (у нашим прописима ова величина износи 1.5 секунд)

$f_t$  – коефицијент трења коловоза (у функцији је од брзине кретања)

$w_k$  – специфични отпор котрљања (у функцији је стања коловозног застора)

$i_n$  – отпор кретању од подужног нагиба пута (позитиван на успону, а негативан на паду)

$\Delta L$  – заштитно одстојање приликом зауставља испред препреке (5-10m)

Због разлике у брзинама возила на путу јавља се и потреба за претицањем. Као једини услов за безбедно обављање маневра претицања су услови пута, тј. прегледност. Претицајна прегледност ( $P_p$ ) представља дужину прегледности која је потребна да би се безбедно обавио маневар претицања.

Постоје различити модели који описују манвар претицања. Један од улазних параметара је и стање возног парка из кога проистичу меродавне разлике у брзинама претицаног и претичућег возила и потребно време за које се претицање обави. Познавањем ових величина одређује се дужина претицајне прегледности и она мора бити обезбеђена на одређеном проценту трасе да би се гарантовао меродавни ниво услуге и безбедност на путу. Познато је да се услед претеране акумулације потребе за претицањем возачи упуштају у недозвољене маневре претицања који могу проузроковати саобраћајне незгоде најтежег степена.

Поменути три врсте прегледности (зауставна, захтевана и претицајна прегледност) су теоријске величине које се лако могу одредити применом одговарајућих модела, тј. математичких формула када познајемо њихове улазне параметре (меродавне брзине, отпоре кретању возила, време реакције возача...). Међутим, комплетне оптичке контроле се могу спровести тек када ове карактеристичне врсте прегледности упоредимо са оном прегледношћу којом испројектовани или изграђени пут стварно располаже. Тако долазимо до појма расположиве прегледности ( $P_r$ ) која представља прегледност која се у датим просторним ограничењима пута може остварити на одређеној стационажи. Зато је са становишта безбедности пута круцијално обезбедити да у свакој тачки пута расположива прегледност буде већа од захтеване прегледности ( $P_r > P_{zp}$ ), а на одређеном проценту трасе је потребно обезбедити да расположива прегледност буде већа и од претицајне ( $P_r > P_p$ ).

Некада због инвестиционих или просторних ограничења, није могуће спровести мере на довољном повећању прегледности како би се задовољила захтевана визура за конкретну пројектну брзину. Ако не преостаје боље решење, потребно је сигнализацијом и саобраћајно-техничком опремом ограничити брзину на датом потезу на ону за коју ће дужина зауставног пута бити у границама расположиве прегледности. Поређењем расположиве и претицајне прегледности долази се и до података потребних

за израду сигнализације везане за маневар претицања. Значи, анализа расположиве прегледности има примену и код израде пројекта вођења саобраћаја.

Расположива прегледност се не може једноставно одредити применом одређених математичких формула. У случају рехабилитације постојећег пута расположива прегледност се може одредити на лицу места помоћу два возила у покрету опремљена одговарајућом опремом. Али, када се ради о пројектовању нове трасе или реконструкције постојећег пута, где се излази из постојећег путног појаса, расположива прегледност се може одредити класичним анализама где се одвојено посматрају план и подужни профил, мере слободне визуре и пореде добијени резултати да би се дошло до резултатне прегледности на одређеној стационарној трасе. Међутим, ове методе су се показале као непоуздане, тако да се права вредност расположиве прегледности може добити једино посматрањем пута у три димензије узимајући у обзир сва његова просторна ограничења.

Са развојем компјутера и специјализованих софтвера класичне методе анализе расположиве прегледности по пројекцијама су превазиђене и приступа се њеном одређивању у САД системима на тродимензионалном моделу терена и пута. Ова метода је применљива како у случају пројектовања нове трасе, тако и код рехабилитације, када се геодетским снимањем постојећег просторног стања пута и околине прави релевантан тродимензиони модел на коме се може применити програмски систем за одређивање расположиве прегледности.

Резултат анализе расположиве прегледности представља дијаграм расположиве прегледности који на апсиси има стационажу, а ордината представља дужину расположиве прегледности на одређеној стационажи.

На Грађевинском факултету Универзитета у Београду као тема дипломског рада, развијен је програмски систем „Прегледност”, који у комбинацији са раније развијеним софтверским пакетима на овом факултету заокружује модеран процес пројектовања пута коришћењем дигиталног 3D модела терена, и комплетира возно-динамичке и оптичке контроле које је неопходно спровести у циљу доласка до оптималних пројектних решења, како пута тако и пратеће саобраћајне сигнализације и опреме.

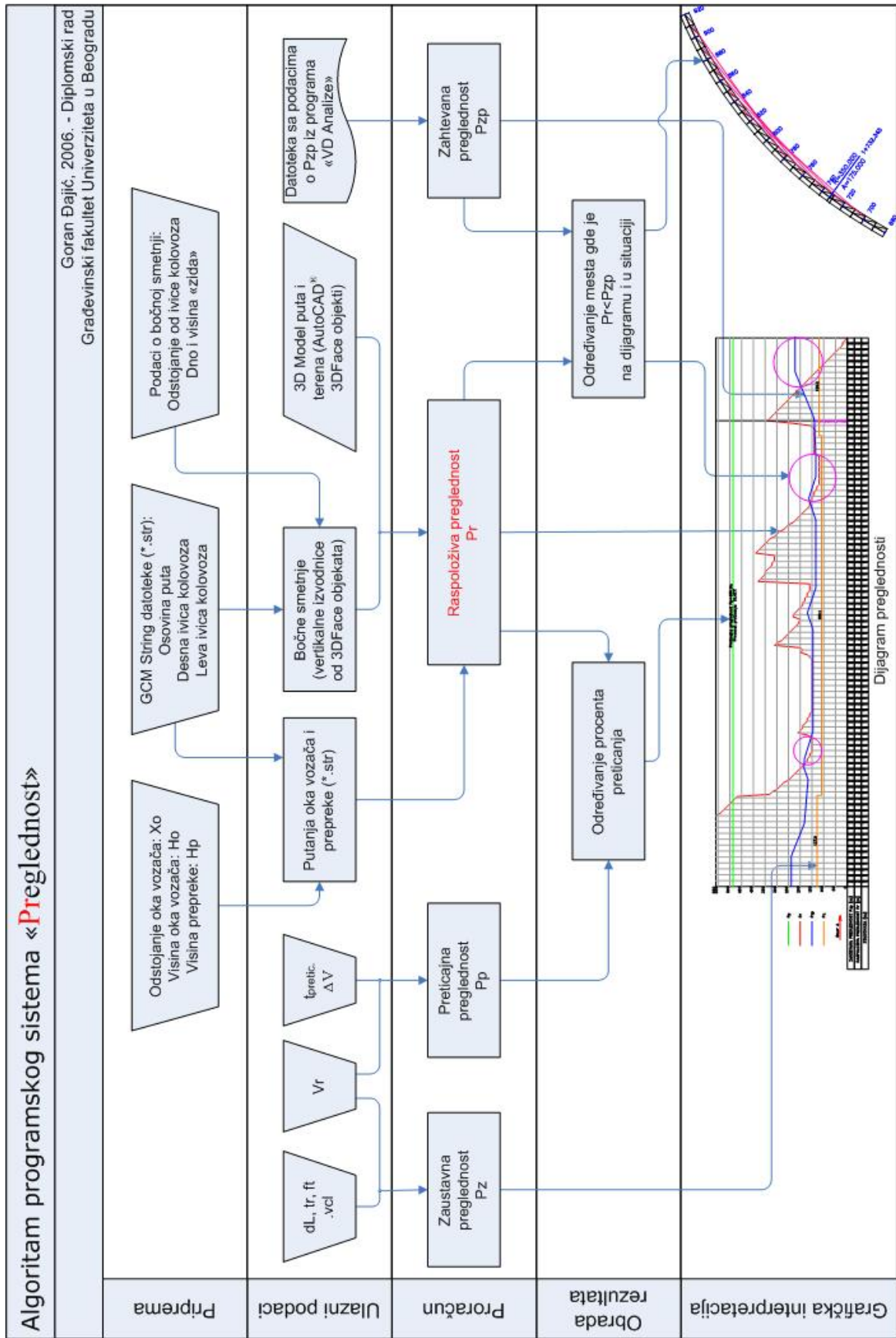
## **2. ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ „ПРЕГЛЕДНОСТ”**

Програмски систем је развијен са намером да буде крајње једноставан за употребу, а да користи окружење које се наметнуло као стандард за пројектовање путева у нашој средини, тако да се извршава у AutoCAD окружењу користећи улазне податке у виду дигиталног модела и положаја трасе у простору формиране софтверским пакетом Gavran Civil Modeller.

### **2.1 Алгоритам**

Алгоритам на слици 1. представља концепцију програмског система. Види се да је систем подељен у пет целина.

Тродимензионална анализа прегледности као улазне податке подразумева путању ока возача и препреке, и дигитални модел пута и околине. Уколико дигитални модел није комплетан, тј. ако га је потребно допунити неким бочним сметњама за прегледност (нпр. растиње, зидови за заштиту од буке, објекти...), програмски пакет нуди и ту могућност.



Слика 1: Алгоритам програмског система „Прегледност”

Све ово спада у први део система који се односи на припрему улазних података кроз формирање путање ока возача и препреке и моделирање бочних сметњи.

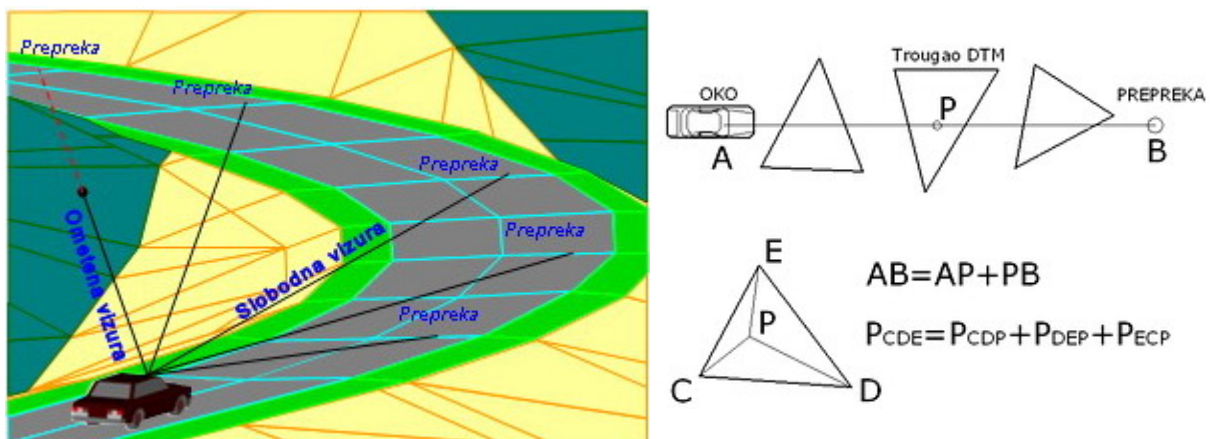
Други део представља унос улазних параметара у зависности од врсте прегледности коју је потребно одредити (време реакције возача, рачунска брзина, време претицања,...)

Централни део програмског система представља део за прорачун у коме се одређује расположива прегледност (слика 2.), врши прорачун зауставне и претицајне прегледности и обрађује улазна датотеке са подацима о захтеваној прегледности (Л.04), да би се прилагодила за даље анализе и исцртавање на резултујућем дијаграму прегледности.

Након прорачуна свих прегледности следи део система који се бави анализом добијених резултата. Тежиште овог дела представља поређење добијених резултата о расположивој прегледности са захтеваном и наглашавање места где је расположива прегледност недовољна, тј. мања од захтеване. Још једна анализа коју програм врши је поређење расположиве и претицајне прегледности ради одређивања процента претицања.

Последњи део се бави графичком интерпретацијом добијених резултата. Суштина програмског система је исцртавање дијаграма на коме су приказане изабране прегледности (зауставна, захтевана, претицајна и расположива) за усвојени смер вожње. Као резултат програма може се добити и графичка информација о местима на 3D моделу пута где је и због чега расположива прегледност мања од захтеване.

Одређивање расположиве прегледности се обавља из 3D модела пута и терена, где програм формира „зрак“ од ока возача (А) на одређеној стационажи до препреке (В) и проверава да ли дуж АВ продире неки од релевантних троуглова (CDE) из дигиталног модела. У обзир за проверу су узети само троуглови чија се пројекција у хоризонталној равни налази на пројекцији дужи АВ (AutoCAD-ов тип селекције Fence).



Слика 2: Модел прорачуна расположиве прегледности (Л. 02)

Проблем да ли дуж АВ продире троугао CDE своди се на одређивање тачке продора праве одређене са две тачке А и В кроз раван одређену са три тачке C, D и E, и затим проверу 1) да ли тачка продора P припада сегменту праве између А и В ( $AB=AP+PB$ ) и 2) да ли тачка P припада троуглу CDE. Овај други део једноставно се може утврдити

провером да ли је повшина троугла CDE једнака збиру површина троуглова које тачка продора гради са сваком од његових страница ( $P_{CDE}=P_{CDP}+P_{DEP}+P_{ECP}$ ).

Ако макар један од ова два услова није задовољен, значи да је визура од ока А до препреке В слободна, па се са исте позиције ока возача испитује да ли је сагледива следећа препрека. Поступак се понавља све док се за одређену препреку В и неки од троуглова CDE на линији АВ, не испостави да су оба горе поменута услова испуњена, што значи да троугао CDE заклања препреку В од ока возача А, па је расположива прегледност на стационажи ока возача једнака разлици стационаже претходно испитиване препреке и стационаже ока возача. Након тога програм прелази на следећи положај ока возача и наставља прорачун на исти начин, полазећи од прве наредне препреке...

## 2.2 Коришћење програмског ситета

Програмски систем је тестиран на траси која је била предмет дипломског рада на Грађевинском факултету. Треба напоменути да је тестирана траса усклађена са основним принципима просторног обликовања трасе – вертикални преломи нивелете падају у средиште хоризонталне кривине, нагиби косина усека и насипа су 1:2 и испоштовани су сви возно-динамички услови.

Програмски услови предметне деонице су били:

- Врста пута: везни
- Категорија терена: брдовит
- Минимални проценат претицања:  $\rho_{\min}=40\%$
- Рачунска брзина деонице:  $V_{\text{ri}}=80\text{km/h}$

На основу програмских услова усвојени су следећи пројектни елементи:

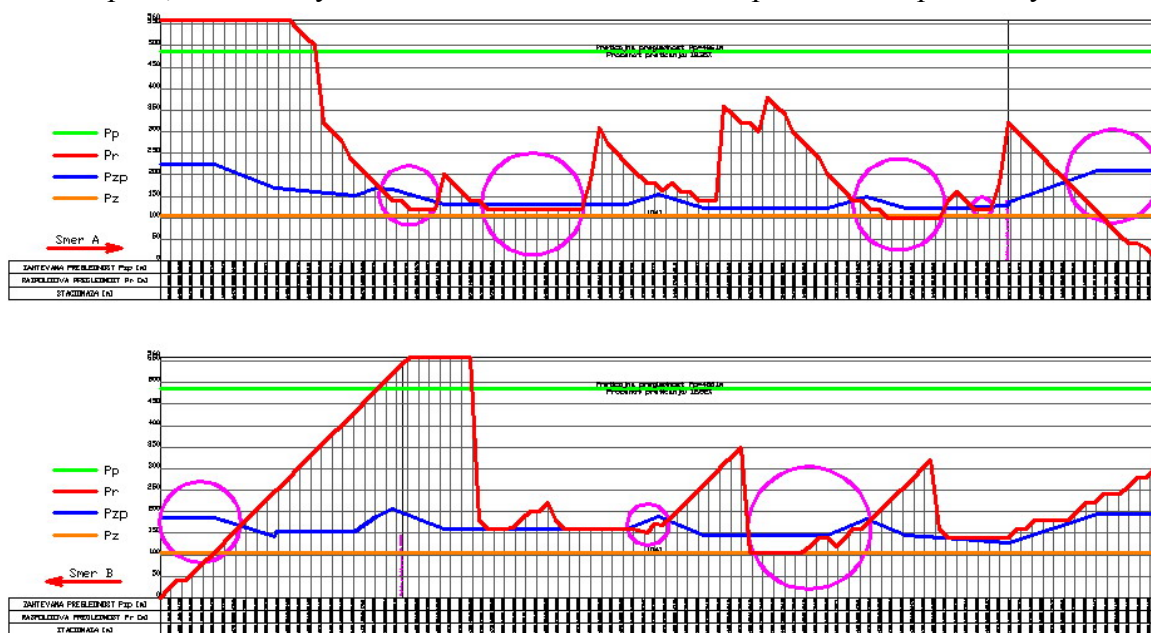
- Ширина саобраћајне траке:  $t_s=3.25\text{m}$
- Ширина ивичне траке:  $t_i=0.35\text{m}$
- Банкаина:  $b=1.50\text{m}$
- Минимални радијус хоризонталне кривине:  $\text{min}R=250\text{m}$
- Минимални параметар прелазне кривине:  $\text{min}A=150\text{m}$
- Максимални подужни нагиб:  $\text{max}I_n=6\%$
- Минимални радијус конвексне вертикалне кривине:  $\text{min}R_{\text{vkonv.}}=3500\text{m}$
- Минимални радијус конкавне вертикалне кривине:  $\text{min}R_{\text{vkonk.}}=2500\text{m}$
- Рампа витоперења:  $0.2\% \leq I_r \leq 0.5\%$
- Попречни нагиб коловоза:  $2.5\% \leq I_p \leq 7.0\%$

Прегледност је проверена за усвојене следеће параметре:

- Време реакције возача:  $t_r=1.5\text{s}$

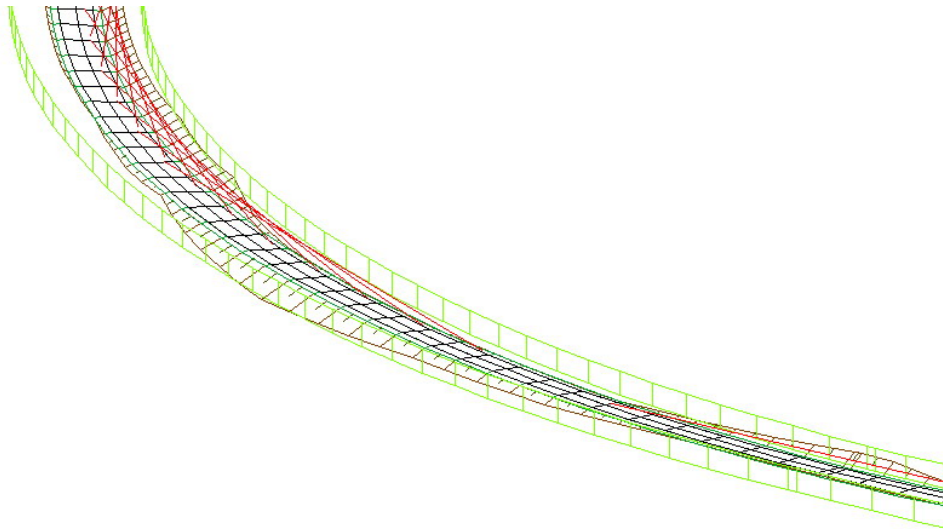
- Висина ока возача:  $h_o=1.2\text{m}$
- Висина препреке:  $h_p=0.1\text{m}$
- Удаљеност ока возача од десне ивице коловоза:  $x_o=1.85\text{m}$  (1.5m од ивичне линије)
- Коефицијент тангенцијалног трења:  $f_t(V)=0.585-0.418\cdot(V/100)+0.136\cdot(V/100)^2$
- Специфични отпор ваздуха:  $w_v=0$  (садржан је у коефицијенту трења)
- Специфични отпор котрљања:  $w_k=0.02$
- Сигурносно одстојање заустављеног возила:  $\Delta L=5\text{m}$
- Време претицања возила:  $t_{\text{pret.}}=10\text{s}$
- Разлика у брзинама возила приликом претицања:  $\Delta V=15\text{km/h}$

Након иницијалне провере прегледности коришћењем развијеног програмског система, добили су се незадовољавајући дијаграми прегледности (слика 3.) за оба смера возње, тј. у оба случаја су постојале деонице са местима где расположива прегледност није достигла захтевану. Програмски систем је та места јасно нагласио круговима на дијаграму, а на 3D моделу пута је нацртао ометене визуре на местима где би требало да буду слободне (слика 4). Захваљујући овоме лако је било одредити где и колико је потребно интервенисати на траси да би се расположива прегледност подигла на задовољавајући ниво. У овом примеру је било потребно отворити берме прегледности (или ограничити брзину на проблематичном потезу пројектом саобраћајне сигнализације). Након отварања берме прегледности дошло се до задовољавајућих резултата, тј. расположива прегледност је била већа од захтеване ( $P_r > P_{zp}$ ) у свакој тачки трасе, чиме су задовољене оптичке контроле за предметну деоницу.



Слика 3: Дијаграми прегледности прве варијанте трасе

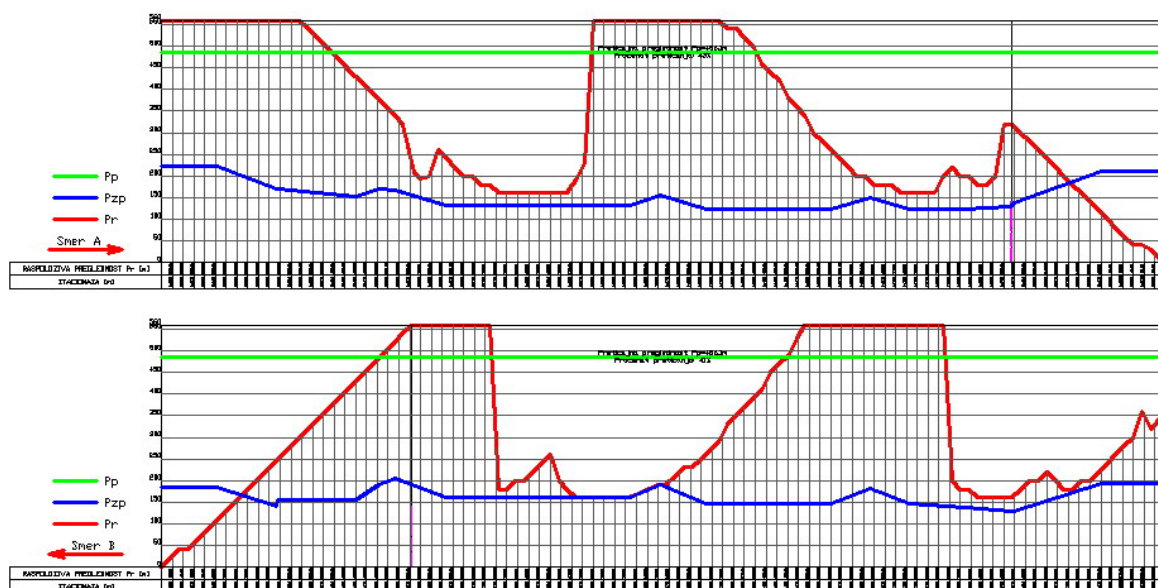




Слика 4: Места са недовољном прегледношћу на 3D моделу пута

Тестирана је још једна могућност коју програмски систем „Прегледност” пружа – на 3D моделу пута након интервенција је проверена расположива прегледност у циљу одређивања процента претицања. Ради добијања реалних вредности, положај ока возача је остао непромењен, а као путања препреке је узета путања ока возача из супротног смера – препрека која се налази на 1.50m од ивичне линије за супротни смер вожње, а на висини од 1.20m (што представља висину на којој је возачу довољно да спозна возило које му долази у сусрет).

Видимо да је дијаграм расположиве прегледности (слика 5.) нешто другачији за овако усвојен модел испитивања и он се може корсити као релевантан за одређивање процента претицања. На тестираном примеру, проценат претицања за смер А (у правцу раста стационаже) износи 43% док је у супротном смеру претицање могуће на 41% трасе, што је у складу са почетним условима које су прописани за везни пут у брдовитом терену (min %p=40%).



Слика 5: Дијаграми расположиве прегледности за модел претицања



### 3. ЗАКЉУЧАК

Пример на коме је програмски систем тестиран илустује значај оптичких контрола још у фази израде идејног пројекта. Иако је тестирана траса усклађена са становишта возне динамике; примењени су комфорни елементи и пружена могућност возачу да се креће брзинама и већим од рачунске – тек када је сагледана цела траса у простору као композиција примењених елемената пута и његовог ближег окружења испоставило се да је, у ствари, направљена „замка” за возача, јер на неким деловима трасе није обезбеђена визура захтеване прегледности. Овакви пропусти у фази израде идејног пројекта доводе до стварања опасних места на траси, а у неким случајевима могу довести и до појаве „крне тачке”. Зато је познавање расположиве прегледности неопходно да би се могло предвидети понашање возача у току експлоатације пута, открили и отклонили евентуални недостаци пута и направио адекватан пројекат саобраћајне сигнализације.

### РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Катанић Ј., Анђус В., Малетин М., *Пројектовање путева*, Грађевинска књига, Београд, 1983.
- [2] Бошковић Р., *Тродимензионална анализа и прорачун расположиве прегледности у процесу пројектовања путева*, Магистарски рад – Грађевински факултет, Београд, 2001.
- [3] Анђус В., *Методологија пројектовања рехабилитације ванградских путева ФТН-ИГ*, Савремена грађевинска пракса 2004, Нови Сад, 2004.
- [4] Станковић С., *Програмски систем „Возно-динамичке анализе“*, Дипломски рад - Грађевински факултет, Београд, 2001.

