

# РАЗВОЈ ПРОГРАМСКОГ МОДУЛА ЗА ГЕОМЕТРИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРЕСВЛАЧЕЊА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Д. Гавран

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, Србија

**Резиме:** Последња верзија пакета GCM, поред традиционалне подршке пројектовању у 3D, доуњена је и модулима за изв. "пројектовање по профелима". Срж ових модула представља CSC језик (Cross Section Constructor). CSC је макро језик за подршку исцртавања и обраде серија попречних профила. Нови GCM модули покушавају да помире 2D и 3D пројектовање. Након 3D трасирања, а на основу рудиментарних података о коловозу (ширине коловозних елемената и попречни наџиби) долази се до серија унрошћених попречних профила који садрже само коловозне површине и шерен. На овакве серије унрошћених попречних профила аџицира се CSC који анализира односе коловоза и шерена и доуњава попречне профеле. При џом је моуће постоџи све коловозне, геотехничке, хидротехничке и саобраћајно-техничке деџаље који су и у техничком и у традиционалном смислу присуџни у нашој пројектантској пракси. Крајем 2005. развијен је и, на конкретним пројектима шестиран, модул за геометријско пројектовање пресвлачења коловозних конструкција. Модул је надоградња на CSC постоуџак и бави се односом постојеће и новопроектване коловозне површи. Основне пројекције рада овог модула су подужни и попречни профил. На основу анализе серије попречних профила, предлаже се оџимална, али дискретна, нивелџа. Након корекције ("џељања"), ова се нивелџа аутоматски аџицира на нове коловозне површине у попречним профелима. За усвојени однос новој и постојећеј коловоза може се аџицирати неколико метода струјања и изравнања, уводећи у разматрање и моуће захџеве (или навике) извођача, инвеститора, џа и самој пројектантџа. Геометрија струјања и изравнања по својим је физичким размерама веома шешко саљедива, ше је развијена и подршка за њихово графичко аранжирање.

**Кључне речи:** CAD, GCM, пресвлачење, коловоз

## DEVELOPMENT OF A PROGRAMING MODULE FOR GEOMETRICAL PAVEMENT RESURFACING DESIGN

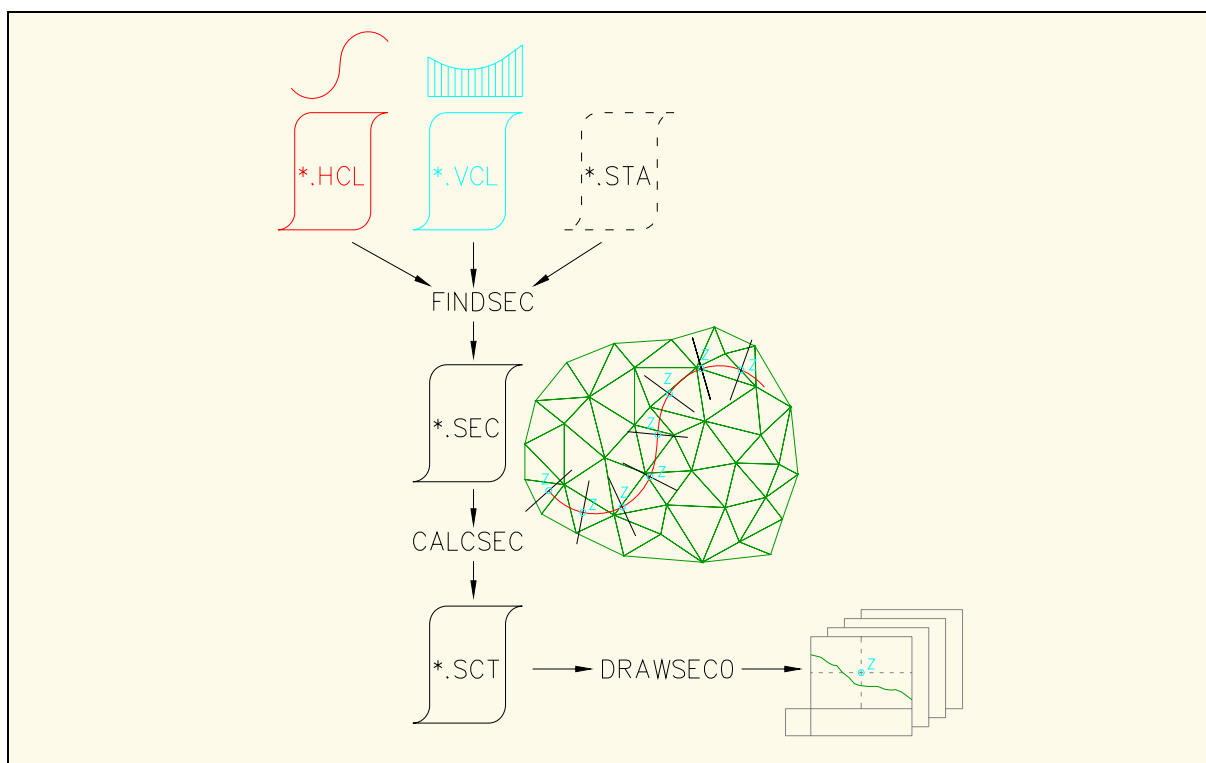
**Abstract:** From its first release GCM package for road design has been 3D oriented. The latest version of GCM incorporates powerful options for "conservative" 2D design (cross-section-by-cross-section design). The core of these new GCM modules is CSC language (Cross Section Constructor). The language is intended for drafting and manipulation of large sets of cross sections. Based on rudimentary pavement definitions (widths and cross grades) simplified cross sections are drawn, containing pavement and terrain lines only. CSC tools analyze pavement-terrain relationship and construct adequate roadway details upon the analyzed pavement lines. By the end of 2005., new GCM modules, based on CSC are developed and tested. These latest modules are intended for pavement resurfacing projects. In accordance with required overlay thickness, program recommends ideal resurfacing vertical alignment. After smoothing out the proposed ideal vertical alignment new problems arise: pavement must be scrapped at some areas, while leveling course of variable depth is required elsewhere. Thus, tools resolving various methods of scraping and leveling are developed, as well as tools for graphical arrangement of resurfacing details.

**Key words:** CAD, GCM, resurfacing, pavement

Током последње две године, програмски пакет GCM (GAVRAN – Civil Modeller), поред традиционалне подршке пројектовању у 3D, допуњен је и модулима за тзв."пројектовање по попречним профилима". Срж ових модула представља CSC језик (Cross Section Constructor). То је једноставан макро језик за подршку масовног исцртавања и обраде серија попречних профила. Технологија аутоматизованог цртања позивом batch фајлова писаних у макро језицима више је примерена крајем 80-тих него новим 3D пројектантским окружењима. Међутим, многи значајни софтвери и даље се развијају у смеру масовне обраде попречних профила, што сам процес пројектовања путева своди са 3D процеса на 2D процес.

Нови GCM модули покушавају да "помире" 2D и 3D пројектовање. Након 3D трасирања, а на основу рудиментарних података о коловозу (ширине коловозних елемената и попречни нагиби, уз евентуално задавање сложене ивичне геометрије коловоза у плану и подужном профилу ...) долази се до серија упрошћених попречних профила који садрже само коловозне површине и терен.

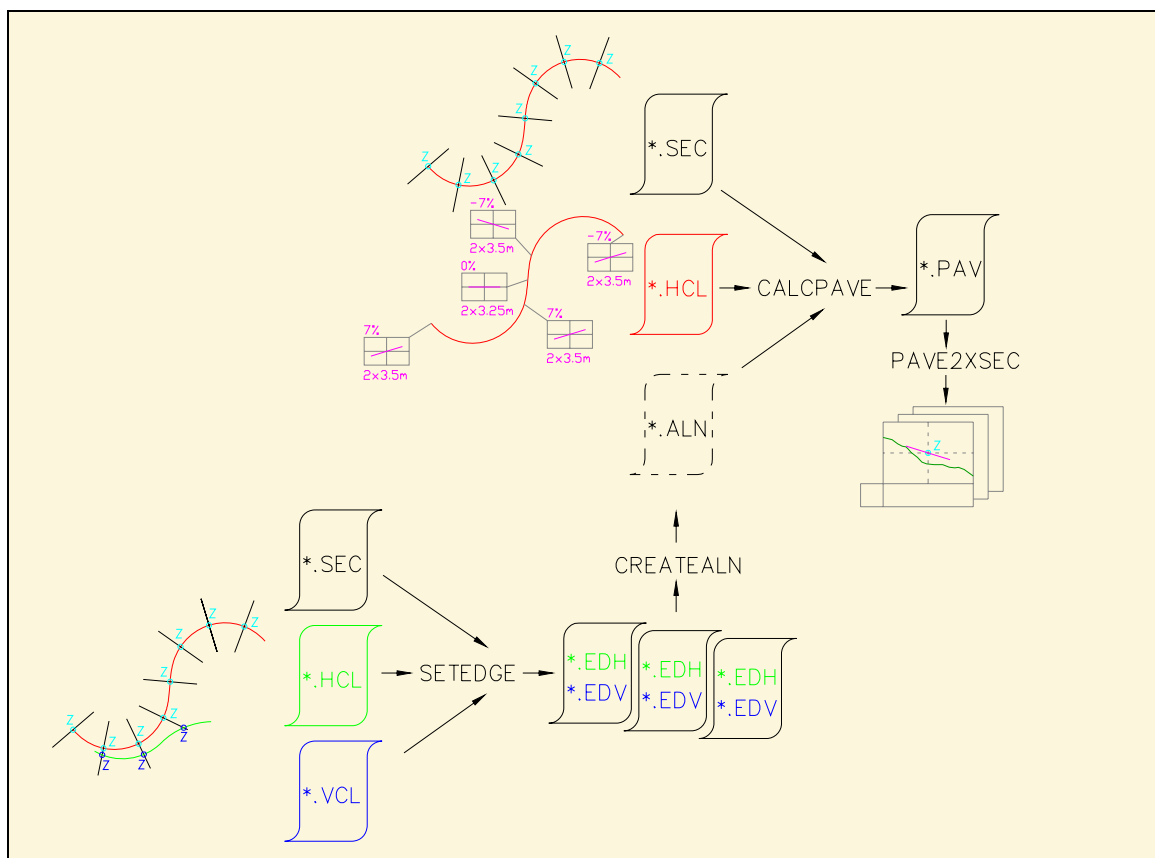
Након утврђивања осовине пута у 3D (ситуациони план и подужни профил), дуж трасе се исецају "празни" попречни профили који садрже само теренске линије исечене са TIN модела. На слици 1. показано је како се командом FINDSEC, дуж осовине (\*.hcl фајл) и подужног профила пута (\*.vcl фајл), укључујући и стационаже од посебног интереса (\*.sta фајл), лоцирају серије попречних профила (\*.sec фајл). Затим се командом CALCSEC, на основу локација попречних профила (\*.sec фајл), срачунавају тзв. "празни" попречни профили (\*.sct фајл), који садрже само терен, или, у случају рехабилитације пута, и постојећи коловоз. Команда DRAWSEC0 исцртава "празне" попречне профиле, остављајући висинску резерву за накнадно убацивање коловоза и других елемената путног појаса.



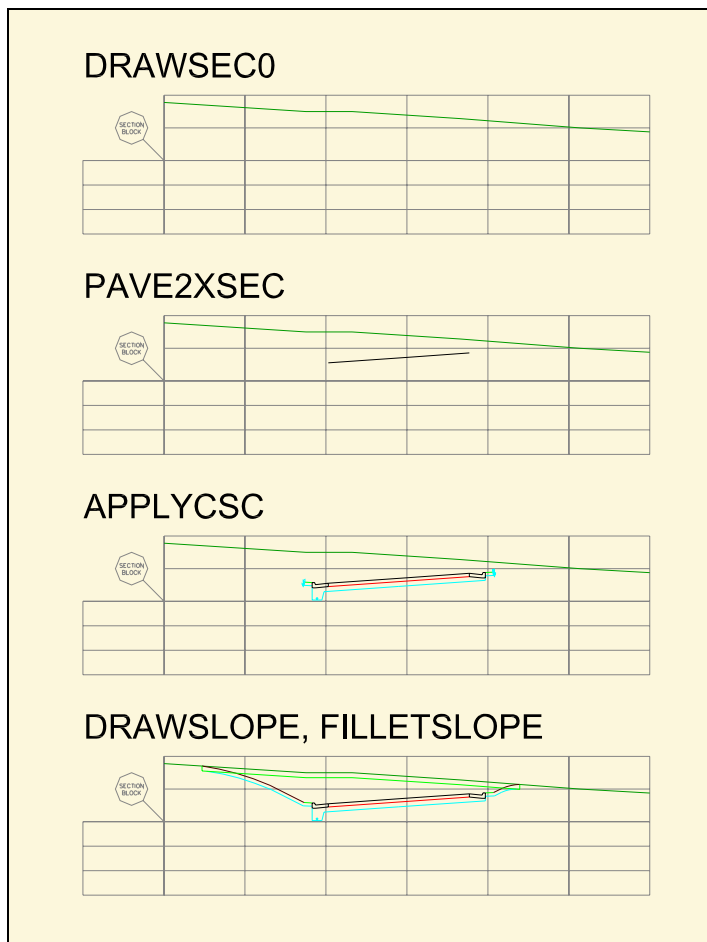
Слика 1: Формирање "празних" попречних профила

У следећој се фази дуж осовине у плану распоређују тзв. pavement блокови са основним димензијама коловоза: ширине и попречни нагиби (Слика 2.). На основу параметара садржаних у pavement блоковима везаним за осовину (\*.hcl фајл), командом CALCPAVE, срачунавају се коловозне линије на местима “празних” попречних профила (\*.sec фајл). Срачунате коловозне линије (ширине и попречни нагиби) сторирају се у \*.pav фајл.

Могуће је, међутим, да ивице коловоза треба повести неком независном осовином или им треба задати неку посебну нивелету. Наиме, код реконструкција двотрачних путева чест је случај да се коловоз шири у кривинама. Када су кривине блиске, проширене ивице се стапају у континуалне линије које су релативно независне у односу на основну осовину пута. Овакве се ивице могу прогласити за секундарне осовине (\*.hcl фајл) и на местима разматраних попречних профила (\*.sec фајл), командом SETEDGE, прогласити за “форсиране” ивице (\*.edh фајл). Где год да се појављују дуж трасе (лево или десно, на нижим или вишим стационажама), све се ове ивице командом CREATEALN групишу у alignment (\*.aln) фајл. Опционо, команда CALCPAVE при прорачуну узима и ове форсиране ивице и на местима кореспондентних попречних профила коловоз проширује до њих. Код аутопутева (и других саобраћајница са два коловоза) команда SETEDGE неке од ивица прорачунски може повести не само за независном осовином, већ и по нивелети релативно независној од основне нивелете саобраћајнице (\*.vcl фајл). Тада се фајл форсиране ивице зове \*.edv и, заједно са другим \*.edv и \*.edh фајловима, може учествовати у геометријском редефинисању ивица коловоза. Срачунате коловозне линије сториране у \*.pav фајлу уносе се у “празне” попречне профиле командом PAVE2XSEC.



Слика 2: Срачунавање и додавање коловозних линија у попречне профиле



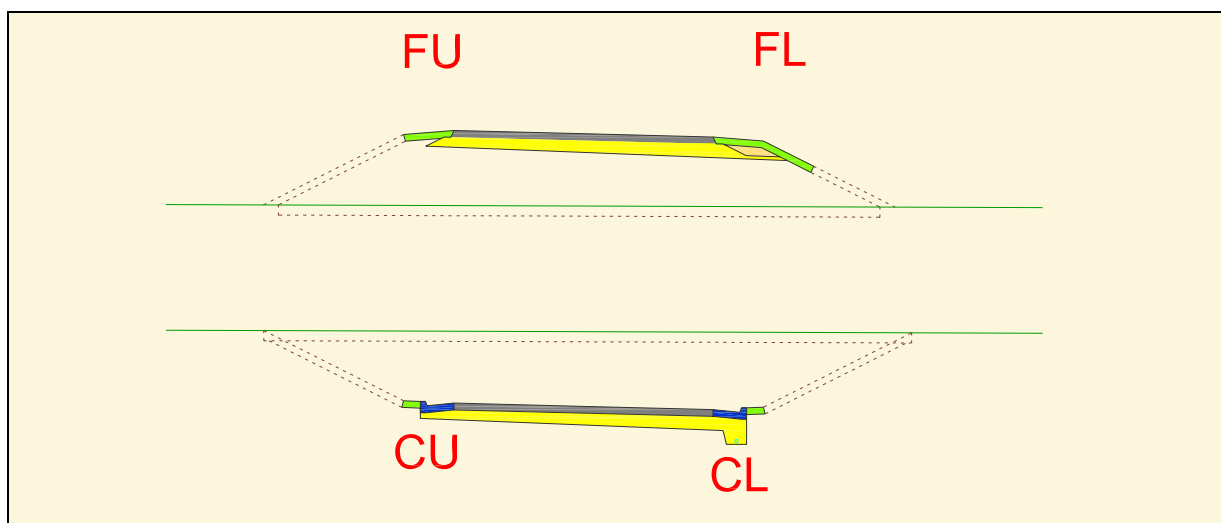
На овакве серије попречних профила, командом **APPLYCSC**, аплицира се **CSC** (у смислу batch датотеке), који анализира односе коловоза и терена и на основу тога допуњава попречне профиле (Слика 3.).

**CSC** концепт је, у ствари, аутоматизована конструкција путних детаља око ивица коловозних линија (линија уметнутих у “празне” попречне профиле командом **PAVE2XSEC**).

Програм анализира ивице коловоза, утврђује да ли се конкретна ивица налази у усеку или у насипу и да ли је ивица на нижој или вишој страни коловоза, те на основу тога конструише одговарајући путни детаљ око сваке од ивица.

Слика 3: Додавање путних детаља командом **APPLYCSC**

Поступак је врло брз – одабере се група попречних профила и \*.csc фајл. Фајл \*.csc, у основи, дефинише четири путна детаља: **FU** (насип – виша ивица), **FL** (насип – нижа ивица), **CU** (усек – виша ивица) и **CL** (усек – нижа ивица), како је показано на слици 4.



Слика 4: **FU**(Fill Upper), **FL**(Fill Lower), **CU**(Cut Upper) и **CL** (Cut Lower) детаљи

У случају аутопута, овде се појављују још два детаља, MU (Median Upper) и ML (Median Lower), везана за ивице разделне траке. Комбинацијом наведених детаља (4 за двотрачне путеве или 6 за аутопутеве) могуће је конструисати све конфигурације путног попречног профила. Чак и када није могуће идентификовати нижу и вишу ивицу коловоза (инфлексција), комбинацијом \*L детаља (FL, CL и ML) постиже се одговарајуће решење.

И сам садржај \*.CSC фајла у основи је подељен у 4 секције које обрађују 4 наведена детаља (или 6, ако је аутопут у питању). Постоји, додуше, још једна, EDIT, секција. Путни попречни профили често су такви да се не може потпуно независно конструисати детаљ око једне ивице коловоза, а да се при том не “погледа“ на супротну ивицу коловоза. Тада се, параметрима EDIT секције, након што се конструишу ивични детаљи, они накнадно едитују (спајају једни са другима, “филетују“ једни са другима итд.), како би се постигло конкретно пројектно решење. Веома се често, вештом применом опција CSC језика, EDIT секција може изоставити.

Сама синтакса CSC језика подсећа на синтаксу језика за векторско цртање на старим пен плотерима. Путни детаљи исцртавају се око сваке од ивица коловоза појединачно, узимајући дотичну ивицу коловоза за координатни почетак. Детаљи се исцртавају правим линијама. Уколико се читави склопови линија понављају од профила до профила у константном међусобном односу (детаљи дренажа и оивичења, на пример), тада се они могу представити блоковима. У блоку се могу наћи и други објекти, а не само праве линије. У ствари, блоковима се могу аутоматски представити и различити видови облагања канала, возила на коловозу (нагнута под нагибом коловоза) итд. У суштини, најважнији елементи попречног профила пута исцртавају се правим линијама, применом CSC команди за векторско цртање. Типичан је следећи пример синтаксе:

```
POINT,1,COORDS,0.0,0.0
LINE,1,SHOULDER,BYL,POINT,1,GRADE,-8.0,1.5
LINE,200,NODRAW,BYL,POINT,1,GRADE,PAVE,W,-0.3
LINE,201,NODRAW,BYL,LINE,200,END,Y,-0.5
LINE,2,DATUM,BYL,LINE,201,END,LINE,5,INT,GRADE,PAVE(4)
```

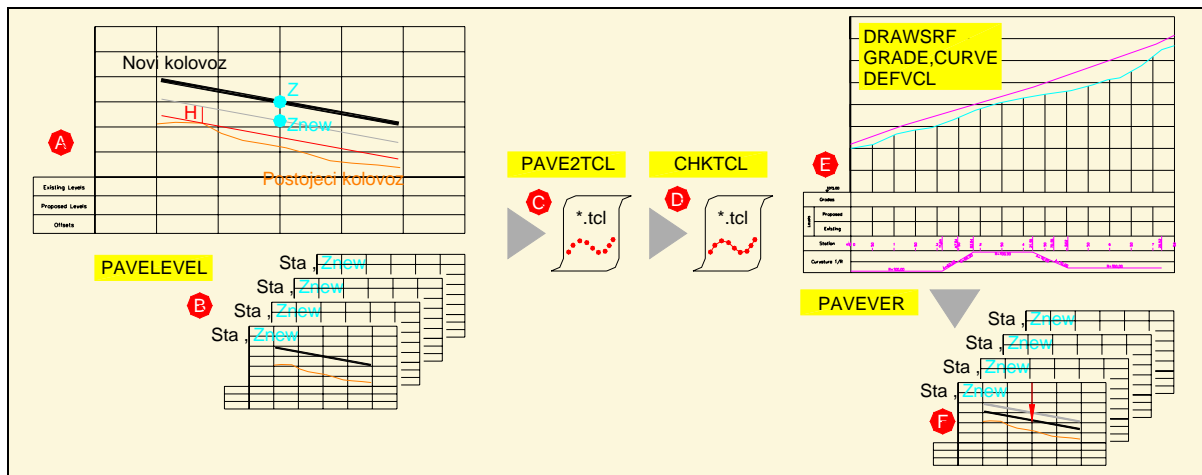
Претходна синтакса могла би, на пример, да послужи за конструкцију дела детаља уз доњу ивицу коловоза у случају насипа. CSC синтакса дефинише тачке и линије. Тачке су помоћни објекти и не исцртавају се директно. Оне само помажу при конструкцији линија као главних елемената путног детаља. У претходној CSC секвенци тачка 1 поставља се тачно у ивицу коловоза (координате 0.0,0.0). Потом се црта линија 1. Она се материјализује у лејеру SHOULDER и бојом Bylayer. Ова линија полази од тачке 1 и пада под нагибом -8%, дужином од +1.5м (позитивна вредност усмерава линију од ивице коловоза на споља, а негативна на унутра). Очигледно је да линија 1 представља банкину.

Линија 200 је помоћна линија (лејер NODRAW). Она се креће од ивице коловоза (тачка 1) под нагибом једнаком нагибу коловоза (PAVE) до на 0.3м од супротне ивице коловоза (W,-0.3). Очигледно да се ова помоћна линија протеже до ивичне траке на супротној страни коловоза, места на коме се мери минимална дебљина коловозне конструкције. Од ове тачке (LINE,200,END) поставља се следећа помоћна линија, линија 201. Она се спушта за 0.5м наниже и тиме одређује тачку кроз коју пролази линија планума. Од ове тачке, у лејеру DATUM, исцртава се линија 2, линија планума. Она се црта до пресека (INT) са линијом насипа уз нижу страну коловоза (на пример,

нека линија 5) и налази се под нагибом једнаком нагибу коловоза, али не мањем од 4% . Види се да је CSC синтакса у основи и векторска и “путарска“. Задавање параметара цртања (дефинисања вектора) у складу је са путарским геометријским резоновањем.

Међутим, на пројектима пресвлачења коловоза, након убацивања коловозних линија у празне попречне профиле (који у овом случају садрже само терен и постојећи коловоз), а пре позивања команде APPLYCSC, мора се застати.

Сада је циљ да се линије које у изабраним попречним профилима представљају новопроектовани коловоз висински коригују и доведу у положај који ће резултирати у прихватљивим дебљинама надслоја и дубинама стругања. Алгоритам на слици 5. показује пут до овог циља.



Слика 5: Висинска корекција нове коловозне површине

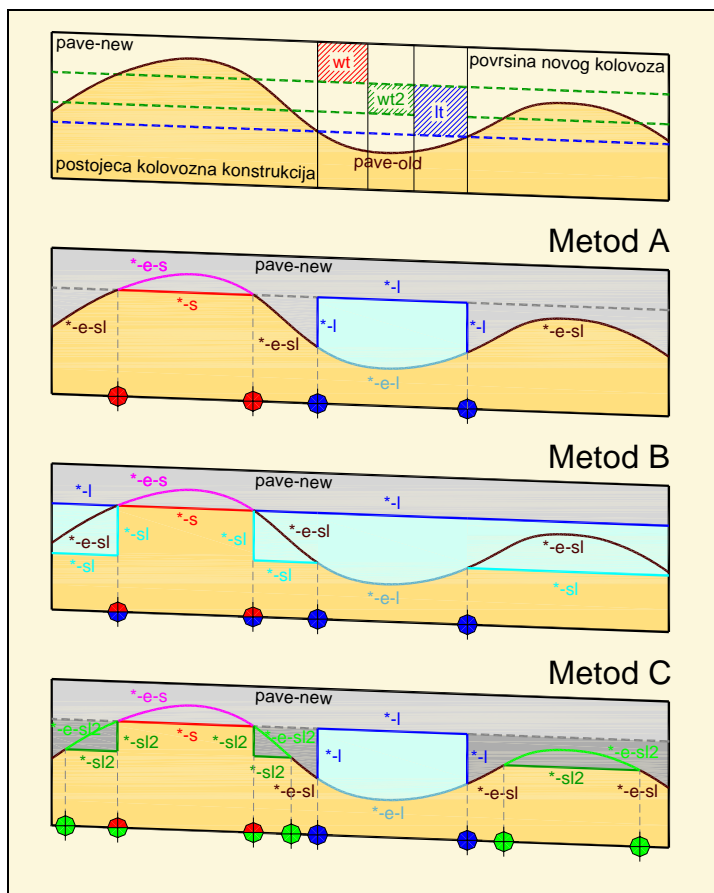
Ако би се посматрао произвољни попречни профил, уочило би се да, на пример, линије новопроектованог коловоза стоје неприхватљиво високо у односу на постојећи коловоз. Док овакав положај новог коловоза изискује повећане радове на изравнавајућем слоју, прениско постављена нивелета новог коловоза захтевала би дубље стругање које би, можда, ослабило постојећи коловоз.

Стога се овде примењује команда PAVELEVEL која ће на изабраном скупу "предложити" идеалну дискретизовану нивелету новопроектваног коловоза. На конкретном попречном профилу новопроектовани коловоз нивелетом се тренутно налази на коти Z и превисок је. Команда пореди површи новопроектваног и постојећег коловоза и спушта нивелету новог коловоза све док се у критичној тачки не достигне задата дебљина надслоја H. Тако се долази до нове коте нивелете Znew. Другим речима, ако би се на предметном попречном профилу нови коловоз нивелетом нашао на коти Znew, најмање висинско растојање старог и новог коловоза било би једнако задатој дебљини надслоја H. На пример, ако је намера да хабајући слој новог коловоза буде 4 цм и ако се команди PAVELEVEL зада 4 цм за величину надслоја, предложене коте Znew одредиће дискретизовану нивелету новог коловоза који ће дном хабајућег слоја прецизно тангирати постојећи коловоз и који нигде неће захтевати његово стругање.

Стандардним командама PAVE2TCL и CHK2TCL резултати рада команде PAVELEVEL обрађују се и преносе у подужни профил. У наредној фази се у постојећи подужни профил уноси дискретизовани подужни профил (\*.tcl фајл) новопроектване површине коловоза. У односу на дискретизовани идеални подужни профил сада се пројектује

"глатка" нивелета новог коловоза. Одступања "глатке" нивелете од идеалне су неизбежна. При том се увек мора имати у виду да свако издизање изнад идеалне нивелете повећава изравнавајући слој, а да свако спуштање изазива стругање постојећег коловоза.

Усклађивање коловозних линија попречног профила са коригованом глатком нивелетом изводи се командом PAVEVER. Команда узима задату нивелету (\*.vcl фајл) и скуп попречних профила. Унутар сваког од попречних профила команда бира специјалне коловозне линије (унете командом PAVE2XSEC) и вертикално их помера. Сада се приступа конструкцији детаља стругања и изравнања. Команда RESURFACE узима скуп попречних профила на којима су коловозне линије применом нове глатке нивелете одступиле од идеалног положаја нултог стругања. Задата је дебелина новог хабајућег слоја wt и минимална дељина слоја изравнања lt (слика 6.).



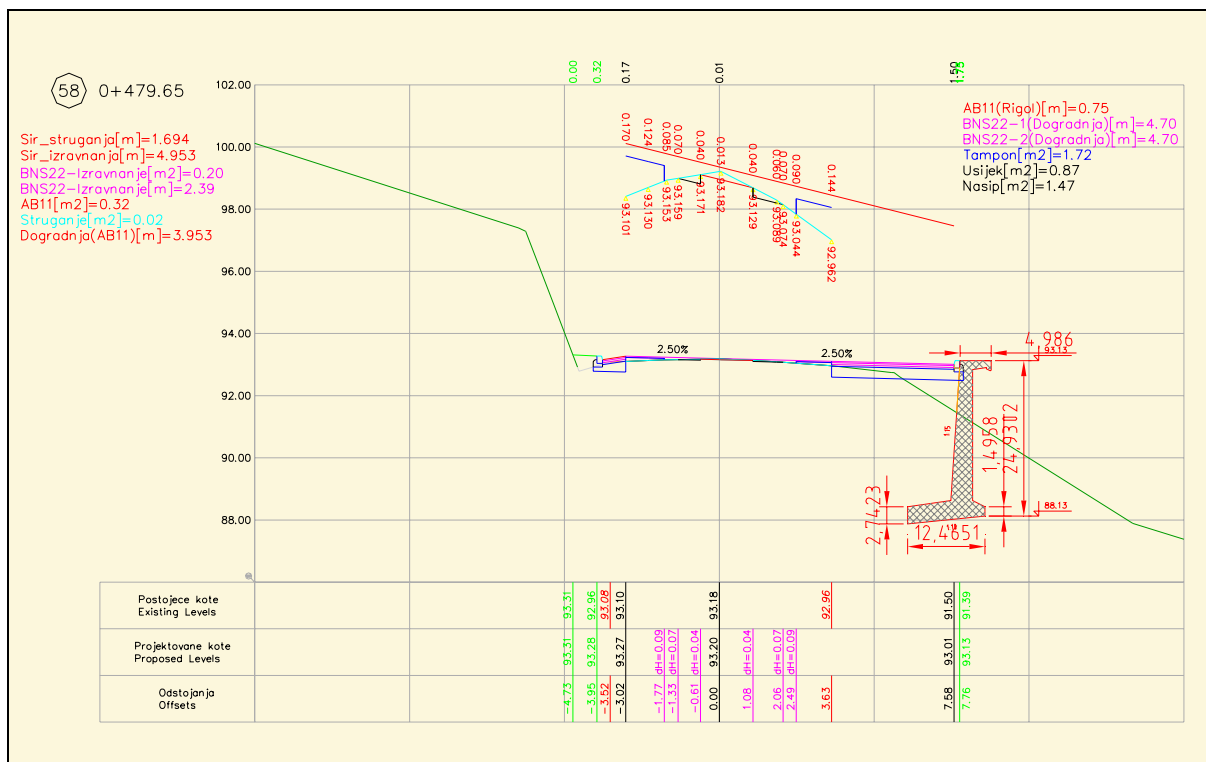
Слика 6: Различите методе стругања и изравнања

Нека је pave-new лејер нове, а pave-old лејер старе површине коловоза. Сви евентуални продори површине старог коловоза кроз површ новог спуштеног за wt биће састругани. У зони у којој је вертикално одстојање старе површине коловоза од дна новог хабајућег слоја веће или једнако lt биће изведено изравнање. Након што се саструже постојећи коловоз и изгради изравнавајући слој, приступа се изградњи хабајућег слоја. Овај се слој изводи у две фазе. Прво се изведе слој варијабилне дебелине до дубине wt испод линије новог коловоза, а затим се изведе хабајући слој константне дебелине wt. То је метод стругања А. Мана метода А је што дебелина прве (варијабилне) фазе хабајућег слоја непосредно уз површину стругања пада на 0.

Стога се може применити метод пресвлачења В. По том методу, преко целе површине постојећег коловоза која је на дубини већој од хабајућег слоја, поставља се изравнавајући слој. Стога се у овом делу коловоз мора састругати до дубине која омогућава уградњу слоја дубине lt. Међутим, и овај метод има ману. Пројектним се задатком обично задаје максимална дубина стругања, у циљу очувања снаге и интегритета постојећег коловоза. Ако се већ задаје, та је дубина по правилу мања од минималне конструктивне дебелине изравнавајућег слоја и често је једнака дебелини хабајућег слоја старог коловоза (или мања од ње).

Тада се може применити метод С. По методу С хабајући слој гради се само тамо где већ постоји довољна висинска разлика једнака или већа минималној дебљини  $l_t$ . Хабајући слој гради се у две фазе, као по методу А. Међутим, овде се прво изводи секундарно стругање до дубине једнаке минималној конструктивној дебљини хабајућег слоја  $wt_2$ . Стругање се изводи управо тамо где би по методу А први нанос масе хабајућег слоја имао дебљину мању од изводљиве.

На слици 6. налазе се и низови карактера. То су суфикси који се аутоматски додају на задато име лејера коловозних детаља. На основу ових стандардних суфикса разрађена је шема дефинисања парова површи између којих се рачунају предмерске величине. На слици 7. показан је један попречни профил где се по методу С прешло са кровастог на једноводни нагиб и где је нови коловоз битно проширен у односу на стари. Овде се такође виде и неке од предмерских величина.



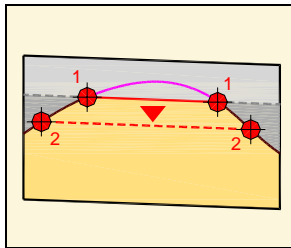
Слика 7: Пример попречног профила са предмерским величинама

На претходном попречном профилу приказан је и резултат команде PAVESCALE. Команда узима групу попречних профила обрађених командом RESURFACE, вертикално скалира и навише помера коловозне детаље.

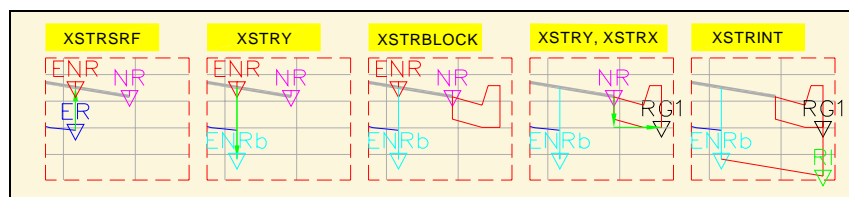
У оквиру модула за реконструкцију развијени су и алати за комуникацију између 3D модела, план пројекције пута и попречних профила. Тако је могуће граничне тачке стругања и изравнања пренети у план пројекцију. Контуре стругања и изравнања у план пројекцији често могу попримити облике који су тешко прихватљиви за извођача. GCM омогућава брз повратак на дефинисање нове нивелете и аутоматску корекцију нове коловозне површи командом PAVEVER. У ствари, квалитетна корекција контура стругања и изравнања у плану захтева интервенцију у подужном профилу. Интервенције по појединачним попречним профилима довешће до неправилне нивелете.



Сем тога, никада није могуће померити само једну контуру, већ се то, по правилу, изводи у пару (да би се одржала паралелност са површином новог коловоза). Слика 8. показује како се, померањем контура 1 цео слој, у ствари, помера наниже. Овде је интенција да се контуре стругања размакну у циљу побољшања план пројекције (и бољег усаглашавања са контурама стругања на попречном профилу испред и иза). Међутим, размицањем контура стругања не само да се ремети нивелета, већ се, вероватно, прекорачује и максимално дозвољена дубина стругања и ремети јачина и интегритет постојећег коловоза. Приближавањем контура (односно, подизањем површи стругања) до слабљења коловоза не би дошло али би се нарушила нивелета. У сваком случају, побољшање идеалних контура стругања у план пројекцији треба изводити опрезно, како би се сачувао квалитет пројектног решења у целини, а посебно квалитетна нивелета.



Слика 8: Корекција контура стругања



Слика 9: Команде за детаље проширења коловоза

Нови GCM модул за пресвлачење коловоза садржи и мноштво команди за детаље проширења коловоза. На значајним местима попречних профила аутоматски се убацују стрингови (слично као у 3D технологији GCM-a), а онда се под једноставним геометријским законитостима, на скуповима попречних профила конструишу линије бочних коловозних детаља. Стрингови се аутоматски постављају на крајеве површи новог и старог коловоза, пресликавају се из једне у другу површ, спајају се линијама под задатим нагибима (или паралелно коловозу), убацују се блокови оивичења итд. Неке од ових техника укратко су илустроване сликом 9.

Нови модул садржи и команде за убацивање и манипулацију елементима инфраструктуре која није искључиво везана за пут (односно “подземље“ пута). То би, рецимо, били канализациони колектори. Но ова је проблематика више везана за темељите реконструкције улица, него за рехабилитације путева.

## РЕФЕРЕНЦЕ

[1] D.Gavran *GCM2007 Users manual*, Beograd, Srbija, 2006.