

# MATEMATIČKI MODELI U VISSIM-U

Doc. dr.sc. Irena Ištoka Otković, dipl. ing. građ.

SVEUČILIŠTE  
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER  
UNIVERSITY OF OSIJEK

# SADRŽAJ

## Matematički modeli u VISSIM-u

Model prihvatljivih vremenskih praznina

Pravila prednosti

Konfliktna područja

Model slijeda vozila (kolone)

Wiedemann 74

Wiedemann 99

Model prestrojavanja

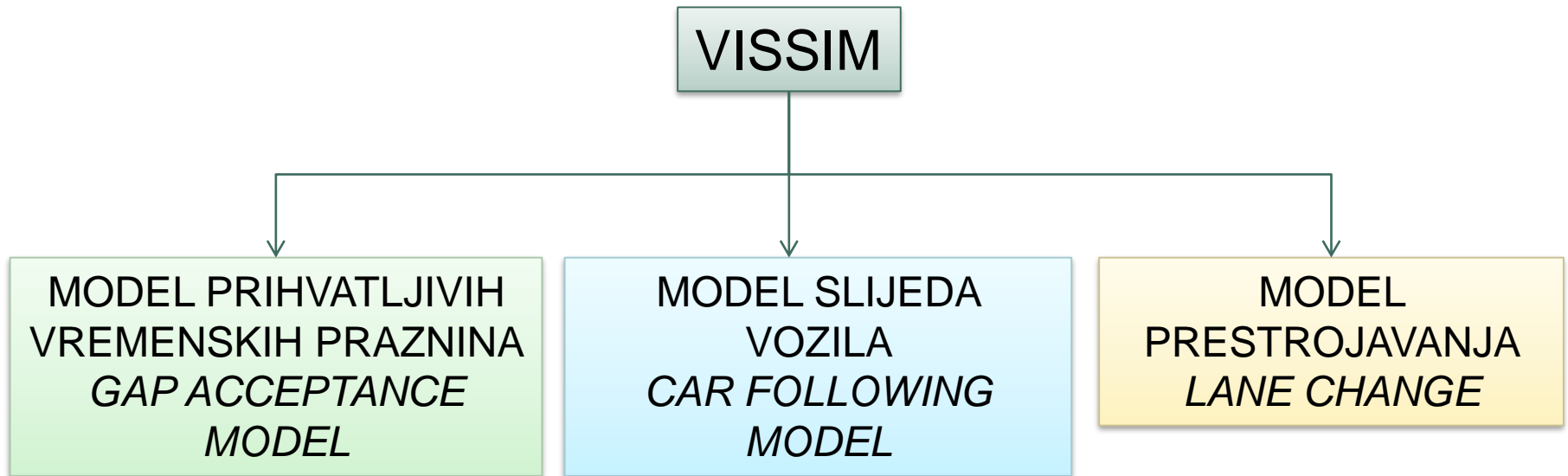
Ostali podesivi parametri

Kalibracija i validacija simulacijskog modela



# MIKROSIMULACIJSKI MODELI

## MATEMATIČKI MODELI UNUTAR VISSIM-a



# MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA (*GAP ACCEPTANCE MODEL*)

## MATEMATIČKI MODELI

Modeliranje vremenskih praznina predstavlja ključni element svake mikroskopske simulacije. U programskom alatu VISSIM imamo dva načina za podešavanje parametara vremenskih praznina koji se upotrebljavaju u analizama propusne moći.



# MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA PRAVILA PREDNOSTI

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Za određivanje pravila prednosti u nesemaforiziranim raskrižjima (odnosno priključcima) možemo primijeniti Pravila prednosti - "*Priority Rules*".



# MATEMATIČKI MODELI MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Prozor za unos pravila prednosti

The screenshot displays the PTV Vissim software interface. The main window shows a network editor with a road network. A red car is positioned at a stop line, and a green car is approaching from the right. A red triangle symbol is placed at the intersection, indicating a conflict area. The dialog box 'Priority Rule' is open, showing the following settings:

- No. 1
- Name:
- Stop line: Link 10002, Lanes 1, at 5.487 m
- Conflict marker: Link 2, Lanes 1, at 91.648 m
- Vehicle Classes: All Vehicle Types, 10 Car, 20 HGV, 30 Bus, 40 Tram, 50 Pedestrian, 60 Bike
- Signal state: Red
- Min. Gap Time: 3.0 s
- Min. Headway: 10.0 m
- Max. Speed: 180.0 km/h

Handwritten annotations in the image include:

- »stop crta« (stop line) pointing to the red car's position.
- Područje za izračun min. vremenskepraznine (area for calculation of min. headway) pointing to the area between the stop line and the conflict marker.
- Područje konflikta (conflict area) pointing to the red triangle symbol.
- »Headway« pointing to the distance between the stop line and the conflict marker.



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Dva najznačajnija parametra u određivanjima pravila prednosti su:

1. vrijednost vremenske praznine (*Gap Time*)
2. dužina konfliktnog područja (*Headway*).

Vrijednost vremenske praznine utječe na propusnu moć (kapacitet). Osim vrijednosti vremenske praznine u najvažnije parametre vezane uz analizu prometne sigurnosti ubrajamo dužinu konfliktnog područja.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Programski alat VISSIM ima preporučene (zadane) vrijednosti (*Default Values*) minimalno prihvatljivih vremenskih praznina koje služe kao pomoć korisniku za postavljanje osnovnog modela kojeg je potrebno na kraju potvrditi (*validirati*) i standardizirati (*kalibrirati*).

Moguće je podesiti različite uvjete za:

- različite tipove vozila i vozača (npr. teretna vozila trebaju za uključivanje u promet bitno više vrijednosti minimalne vremenske praznine),
- različite karakteristike mreže (biciklističke staze, tramvajske pruge, ...).

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

### MODEL:

Ukoliko je minimalna vremenska praznina podešena na 3 sekunde, tada će vozači u koji se uključuju prihvatiti samo one vremenske praznine koje će biti više od 3 sekundi i odbit će sve niže vrijednosti.

### STVARNI SUSTAV:

U realnosti se događa da vozači koji čekaju dulje vrijeme na uključenje, nakon određenog vremena (većeg broja neprihvaćenih vremenskih praznina) riskiraju više i spremni su prihvatiti i kraću vremensku prazninu od propisane. No općenito vrijedi da veće vremenske praznine imaju bitno veću mogućnost da ih vozači prihvate i obrnuto.

# MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA KONFLIKTNA PODRUČJA

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Konfliktna područja (*Conflict Area*) se u VISSIM-u primjenjuju za određivanje pravila prednosti na mjestu križanja prometnih tokova.

Definiranje konfliktnih područja se primjenjuje za:

- križanje,
- spajanje i
- preplitanje prometnih tokova.

Funkcija Konfliktna područja svojom funkcionalnošću i jednostavnošću (i djelomično automatizacijom) olakšava rad i minimizira mogućnost inženjerskih grešaka prilikom određivanja pravila prednosti i time povezanog izbora potrebnih parametara.

# MATEMATIČKI MODELI MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Prozor za unos  
konfliktnih  
područja

The screenshot displays the PTV Vissim 6.00-05 software interface. The main window shows a network editor with a central intersection. A table at the bottom, titled 'Conflict Areas', lists various conflict points between links. The table has columns for Count, Link1, VisibLink1, Link2, VisibLink2, Status, FrontGapDef, RearGapDef, SafDistFactDef, AddStopDist, ObsAdjLns, AnticipRout, and AvoidBlock. The table contains 10 rows of data, with some cells highlighted in red or yellow.

Count	Link1	VisibLink1	Link2	VisibLink2	Status	FrontGapDef	RearGapDef	SafDistFactDef	AddStopDist	ObsAdjLns	AnticipRout	AvoidBlock
4	1	100.0	10003	100.0	1 waits for 2	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
5	1	100.0	10004	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
6	2	100.0	3	100.0	Undetermined	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
7	2	100.0	4	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
8	2	100.0	10002	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0
9	2	100.0	10004	100.0	2 waits for 1	0.5	0.5	1.5	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	100.0

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

### MODEL:

Vozač koji se približi iz SPS na područje konflikta promatra vozila na GPS i na temelju:

- poimanja (percepcije) svojih sposobnosti i
- karakteristika svog vozila (dužina, sposobnost ubrzavanja...),
- uvjeta na cesti (kiša, snijeg...)

donese odluku o tome koju vremensku prazninu će prihvatiti prilikom tog manevra uključivanja.

## MATEMATIČKI MODELI

### MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

MODEL: Na temelju analize i odluke vozač donosi plan ubrzavanja koji će mu omogućiti da se uključi u glavni prometni tok, pod uvjetom da time ne prouzrokuje da se vozilo na GPS sudari s njim u naletu.

Pri tome vozač uzima u obzir uvjete na prometnom traku na koji će se uključiti (hoće li imati slobodan put za prikladno ubrzavanje do željene brzine...).

Ako vozač ustvrdi da će morati usporiti ili se čak zaustaviti zbog drugih vozila, onda odabere veću vremensku prazninu ili donese odluku da odustane od manevra uključivanja dok se ne stvore potrebni uvjeti.



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

### MODEL:

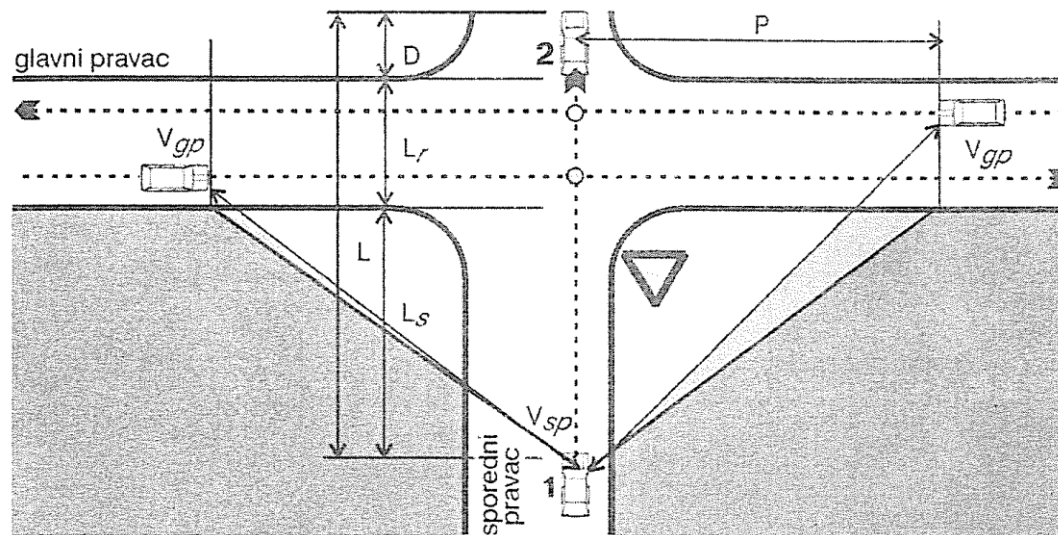
Vozači na GPS jednako tako reagiraju na konfliktna područja. Ukoliko vozilo iz SPS ne uspije u potpunosti realizirati manevar uključivanja (previše optimistična najava vozača iz SPS), onda vozač na GPS počne sa manevrom kočenja i po potrebi se zaustavi.

Ukoliko se na području konflikta stvori kolona vozila na GPS, onda nadolazeća vozila uvažavaju mogućnost uključivanja iz SPS i ne zaustavljaju se na području konflikta kako ne bi uzrokovali „blokadu“ priključka.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

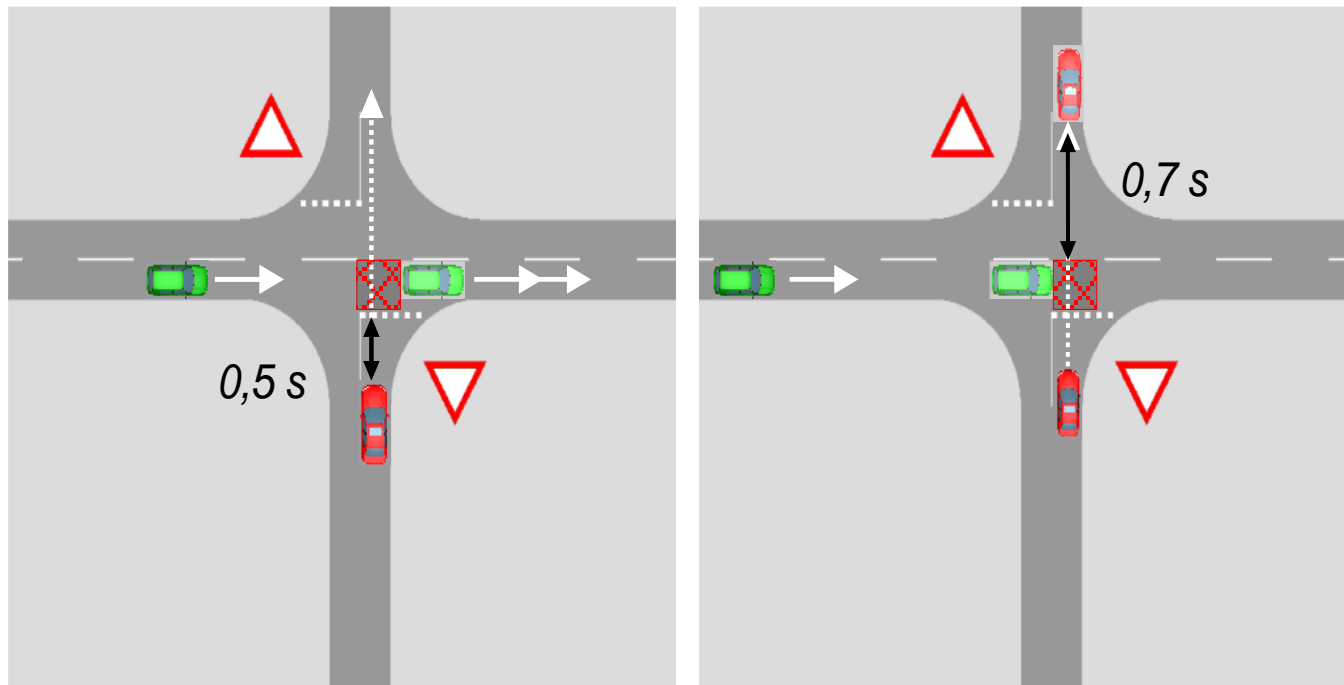
Uvođenjem funkcije *Konfliktnog područja* nudi se mogućnost direktnog podešavanja preglednosti (*Visibility*) koja omogućuje modeliranje uočavanja prepreka u polju preglednosti iz SPS.



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

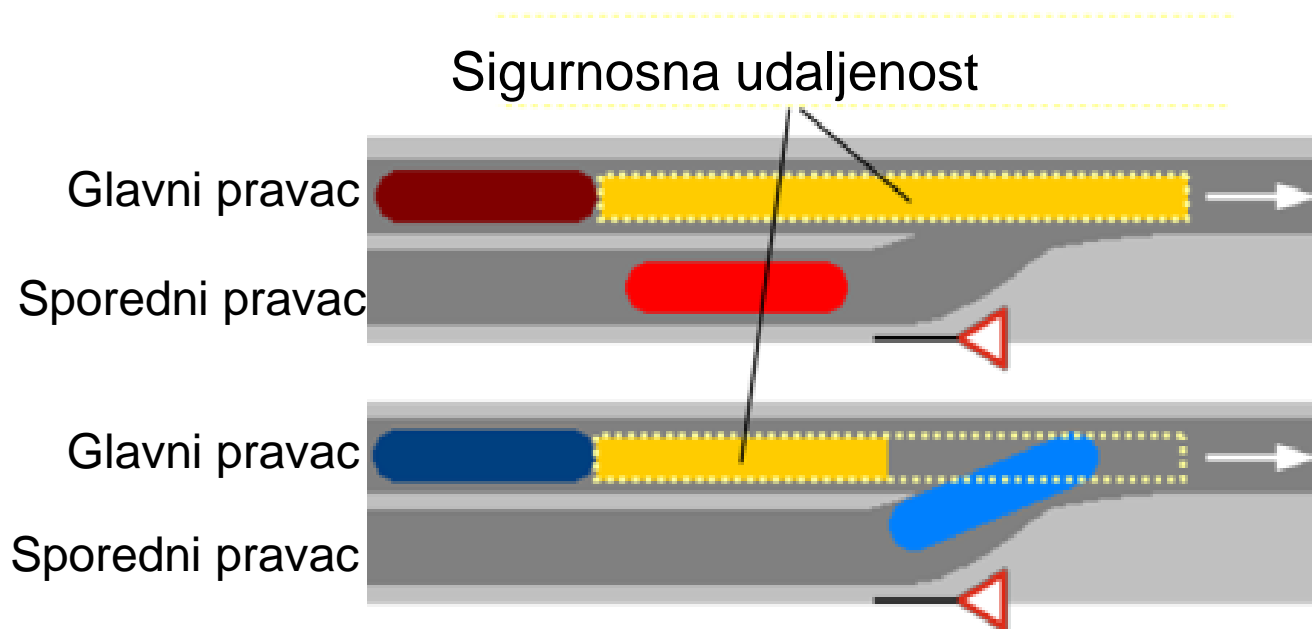
Osim parametra vidljivosti moguće je podesiti još dva parametra, a to su parametri „prednja praznina“ ( Front Gap) i „zadnja praznina“ (Rear Gap). Parametri se koriste samo u simulaciji križanja prometnih tokova.



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

Parametar „sigurnosni razmak“ (Safety Distance) preimenujemo samo u slučaju spajanja prometnih tokova. Za svaki tip vozila možemo odrediti pripadajuću vrijednost parametra.



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

### PODESIVI PARAMETRI:

- „dodatni zaustavni put“ (*eng.: Aditonal Stop Distance*) upotrebljavamo sa svrhom da na SPS možemo odrediti „zamišljenu“ crtu zaustavljanja gdje se vozilo zaustavi ukoliko nisu ispunjeni uvjeti za uključivanje u GPS;
- mogućnost "uvažavaj susjedni prometni trak" (*eng.: Observe Adjacent Lanes*) vozači na SPS promatraju također vozila na GPS koja će promijeniti "prometni trak na prometni trak" gdje se nalazi konfliktno područje;

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

### PODESIVI PARAMETRI:

- "predviđanje puta" (*eng.: Anticipate Routes*) je u području  $[0,1]$ ; tim parametrom odredimo postotak vozila na SPS koja predviđaju da će vozila koja se nalaze na GPS skrenuti prije nego što dostignu konfliktno područje;
- "izbjegavanje blokiranja" (*eng.: Avoid Blocking*) je u području  $[0, 1]$  i primjenjuje se samo za križanja prometnih tokova, a parametrom je opisan postotak vozila na GPS koja neće ulaziti na područje konfliktnog područja dok nije slobodno.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRIHVATLJIVIH VREMENSKIH PRAZNINA

PARAMETAR "izbjegavanje blokiranja" :

Dok vozila na GPS čekaju na prikladan prostor za prijelaz kroz konfliktno područje, vozila na SPS mogu ući u raskrižje i proći kroz konfliktno područje. Zadana (*eng.: Default*) je vrijednost dužine koju očekuje vozilo na GPS da može proći kroz konfliktno područje (dužina vozila + 0.5 m).

Jednako tako se uzima u obzir zadana (*eng.: Default*) vrijednost brzine vozila na GPS. Ukoliko je niža od 5 km/h i/ili niža od 75% željene brzine GPS i/ili ako je crveni signal na semaforu, vozilo neće ući u konfliktno područje kako tim manevrom ne bi blokiralo križanja prometnih tokova vozila.

# MODEL SLIJEDA VOZILA (*CAR FOLLOWING MODEL*)



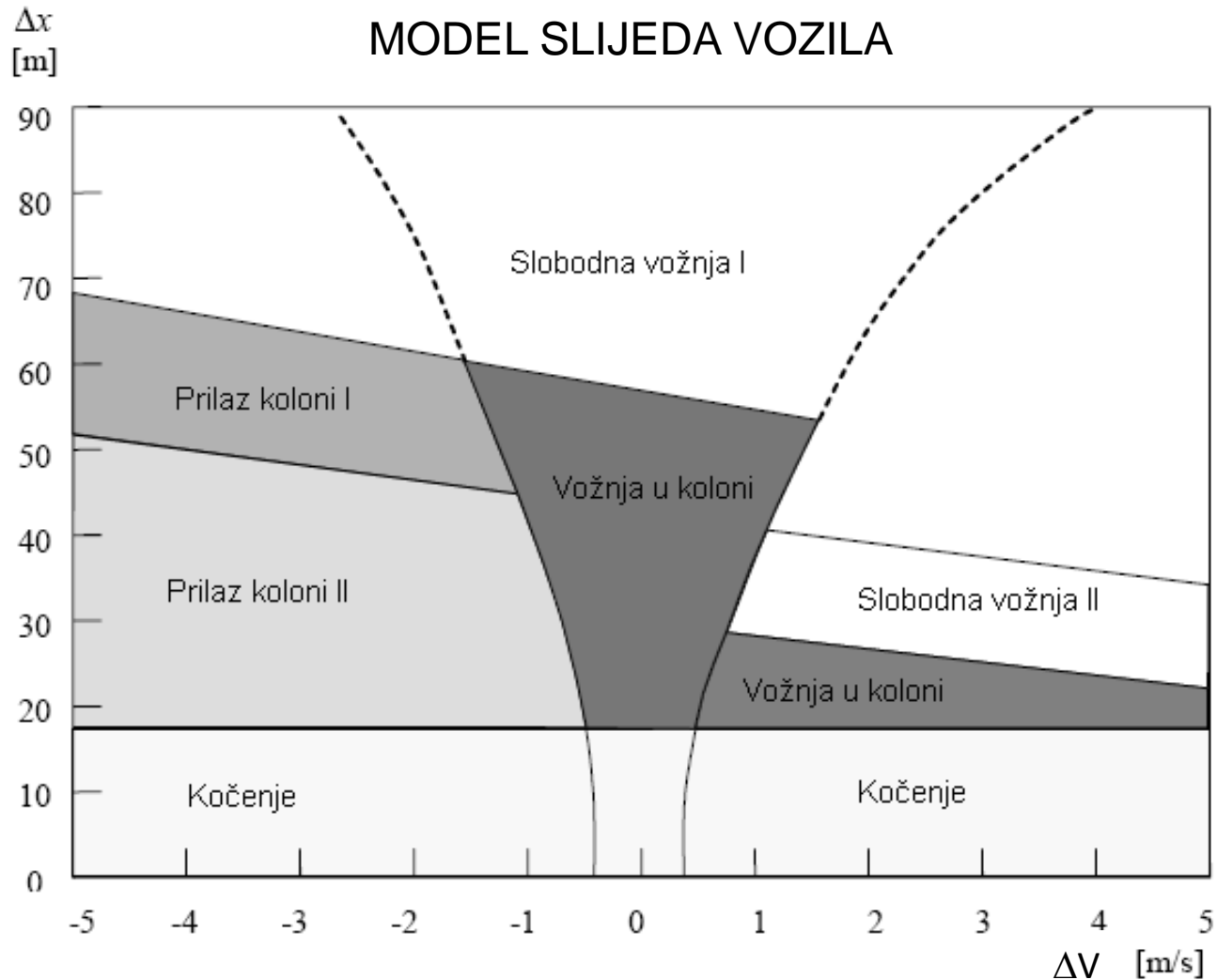
# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Za modeliranje vožnje u koloni VISSIM primjenjuje psiho-fizički matematički model, prvotno razvijen od strane njemačkog stručnjaka Wiedemanna (PTV AG, 2013).

Osnovni princip modela se temelji na "imitiranju" konkretnih reakcija i odluka koje donosi vozač kad vozi iza vozila ispred sebe. Vozač bržeg vozila koje dostigne vozilo ispred sebe počne kočiti kad postigne svoj individualni prag zamjećivanja sporijeg vozila ispred sebe.

# MATEMATIČKI MODELI



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Osnovna ideja Widemannovega matematičkog modela se temelji na predviđanju da se vozač može nalaziti u jednoj od slijedeće četiri situacije:

- 1. vožnja u slobodnom prometnom toku:** vozač vozi bez utjecaja ostalih vozila. Vozač teži tome da postigne propisanu brzinu putovanja i održava je u procesu vožnje;
- 2. približavanje:** vozač prilagođava brzinu vožnje sporijem vozilu ispred sebe (kočenjem) s namjerom da ostvari razliku u brzini nula u trenutku kad ostvari (za njega) prikladan sigurnosni razmak;

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Osnovna ideja Widemannovega matematičkog modela se temelji na predviđanju da se vozač može nalaziti u jednoj od slijedeće četiri situacije:

- 3. *Vožnja u koloni:*** vozač slijedi vozilo ispred sebe, no zbog premalo preciznog dodavanja i oduzimanja gasa dolazi do blagih oscilacija razlike u brzini, koje se kreću oko vrijednosti nula;
- 4. *kočenje:*** se događa u procesu srednjih ili većih usporavanja, ukoliko sigurnosni razmak između vozila padne ispod granične vrijednosti. Drugu mogućnost predstavlja iznenadno kočenje vozila ispred vozila koje vozi za njim i/ili ukoliko se vozilo iz susjednog prometnog traka "ispreplete" (mijenja prometne trakove) ispred promatranog vozača.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

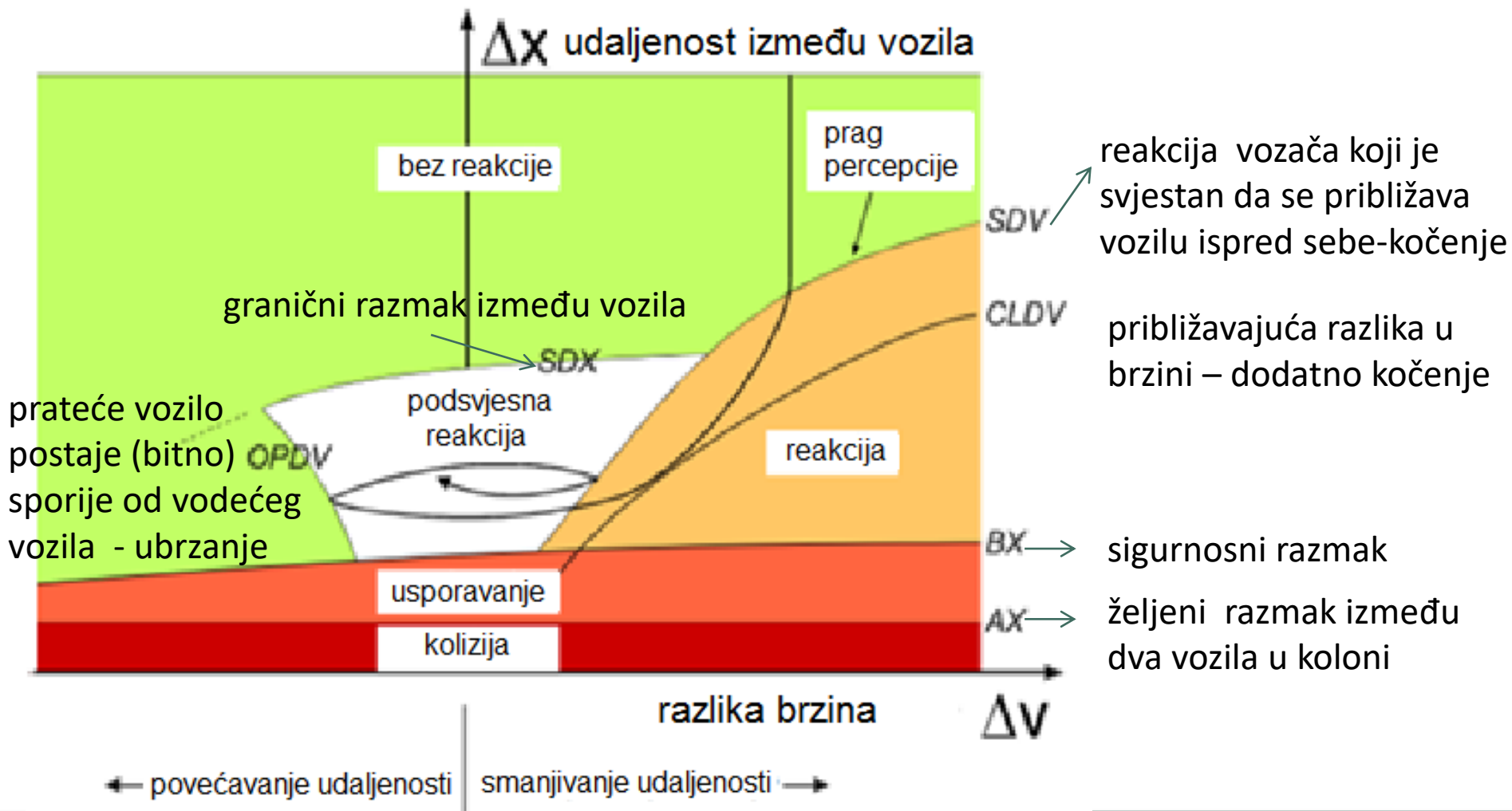
Za svako od nabrojanih stanja je ubrzavanje opisano kao:

- rezultat trenutne brzine,
- razlike u brzini,
- razmaka između vozila i
- individualnih karakteristika vozača i vozila.

Vozač prelazi između pojedinih stanja koje se mijenja kada vozač postigne određenu graničnu vrijednost koja je izražena kao kombinaciju razlike u brzini i sigurnosnog razmaka.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Sposobnosti vozača da zamijete razliku u brzini i ustvrde razmak od vozila ispred sebe, mijenjaju se s obzirom na pojedine karakteristike starosnih grupa vozača.

Model nudi parametre kolone vozila koji opisuju granične vrijednosti modela slijeda vozila , koje je moguće podesiti u procesu standardizacije (kalibracije) simulacijskog modela.

# MATEMATIČKI MODELI MODEL SLIJEDA VOZILA

**Driving Behavior Parameter Set**

No.: 1 Name: Urban (motorized)

**Following** | Lane Change | Lateral | Signal Control

Look ahead distance  
min.: 0,00 m  
max.: 250,00 m  
4 Observed vehicles

Look back distance  
min.: 0,00 m  
max.: 150,00 m

Temporary lack of attention  
Duration: 0,00 s  
Probability: 0,00 %

Smooth closeup behavior  
 Standstill distance for static obstacles: 0,50 m

Car following model  
Wiedemann 74

Model parameters  
Average standstill distance: 2,00 m  
Additive part of safety distance: 2,00  
Multiplic. part of safety distance: 3,00

OK Cancel

## Kalibracija:

- average standstill distance (m) u rangu [1,3]
- additive part of desired safety distance (m) u rangu [1,5]
- multiplicative part of desired safety distance (m) u rangu [1,6]



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Osnovni parametri koje može podesiti korisnik, su:

- ***promatranje prometa (sigurnosnog razmaka) ispred (Look Ahead Distance)***: sa minimalnim odnosno maksimalnim razmakom odredimo stvarnu mogućnost zamjećivanja (percepcije) vozača koji tako zamjećuju ostala vozila ispred sebe (ili pokraj sebe) na istom traku;
- ***promatrana vozila (Observed Vehicles)***: broj promatranih vozila utječe na predviđanje pomaka ostalih vozila i sukladno tome vozač prilagođuje svoju vožnju;

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Osnovni parametri koje može podesiti korisnik, su:

- ***promatranje prometa iza sebe (Look Back Distance)***: određuje razmak na kojem vozač može promatrati događanje iza sebe i reagirati s obzirom na to događanje;
- ***privremeno pomanjkanje (preusmjeravanje) pozornosti (Temporary Lack of Attention)*** vozači neće reagirati na vozila ispred sebe (osim u slučaju iznenadnoga snažnog kočenja) u određenom vremenu. Možemo odrediti trajanje (*Duration*) pomanjkanja pozornosti i vjerojatnosti (*Probability*), kojom definiramo kako često se takvo preusmjeravanje pozornosti događa. Što su te vrijednosti više, niža će biti propusna moć ceste;

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

Osnovni parametri koje može podesiti korisnik, su:

- ***precizno definiranje ponašanja vozača*** uz zamjećivanje stajaćeg (mirujućeg) vozila uzima se u obzir ukoliko je odabrana opcija "*Smooth closeup behavior*". Ukoliko ta opcija nije odabrana, vozači se ponašaju po principu "slijeda" i zaustavit će se tek tada kad se zaustavi vozilo ispred njih (brzina < 1 m/s).
- ***razmak od fiksnih objekata*** (*Standstill Distance For Static Obstacles*): ukoliko je odabrana ta opcija, bit će upotrijebljen standardni razmak ( $a_x = 0.5$  m) od stajaćeg objekta, umjesto zadane (*eng.: default*) vrijednosti [0.5, 0.15].

# MIKROSIMULACIJSKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

### MODEL SLIJEDA VOZILA

```
graph TD; A[MODEL SLIJEDA VOZILA] --> B[Wiedemann 74  
za urbanu prometnu mrežu]; A --> C[Wiedemann 99  
za vangradsku mrežu  
osim raskrižja]; A --> D[bez modela  
za jednostavnije  
simulacije];
```

**Wiedemann 74**  
za urbanu prometnu mrežu

**Wiedemann 99**  
za vangradsku mrežu  
osim raskrižja

**bez modela**  
za jednostavnije  
simulacije

# MODEL SLIJEDA VOZILA MATEMATIČKI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 74"

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA Wiedemann 74

Na raspolaganju je podešavanja slijedećih parametara:

- **prosječni razmak između mirujućih vozila** (*Average Standstill Distance*)( $ax$ ) - tim parametrom odredimo prosječni željeni razmak između zaustavljenih (mirujućih) vozila.
- **dodatni udjel željenog sigurnosnog razmaka** (*Additive part of desired safety distance*) ( $bx_{add}$ ) i dodatni faktor željenog sigurnosnog razmaka (*Multiplicative part of desired safety distance*) ( $bx_{mult}$ ) imaju utjecaj na izračun sigurnosnog razmaka.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA Wiedemann 74

Razmak  $d$  između dva vozila izračunamo prema jednadžbi:

$$d = ax + bx$$

bx prema jednadžbi:  $bx = (bx_{add} + bx_{mult} \cdot z) \cdot \sqrt{v}$

gdje je:

$v$ ..... brzina vozila,

$z$ .....vrijednost između 0 i 1 (obično izaberemo 0.5 sa standardnom devijacijom 0.15).

# MODEL SLIJEDA VOZILA MATEMATIČKI SIMULACIJSKI MODEL "WIEDEMANN 99"



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL SLIJEDA VOZILA

### Wiedemann 99

Driving Behavior Parameter Set

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Lane Change Lateral Signal Control

Look ahead distance  
min.: 0,00 m  
max.: 250,00 m  
4 Observed vehicles

Look back distance  
min.: 0,00 m  
max.: 150,00 m

Temporary lack of attention  
Duration: 0,00 s  
Probability: 0,00 %

Smooth closeup behavior  
 Standstill distance for static obstacles: 0,50 m

Car following model  
Wiedemann 99

Model parameters

CC0 (Standstill Distance):	1,50	m
CC1 (Headway Time):	0,90	s
CC2 ('Following' Variation):	4,00	m
CC3 (Threshold for Entering 'Following'):	-8,00	
CC4 (Negative 'Following' Threshold):	-0,35	
CC5 (Positive 'Following' Threshold):	0,35	
CC6 (Speed dependency of Oscillation):	11,44	
CC7 (Oscillation Acceleration):	0,25	m/s <sup>2</sup>
CC8 (Standstill Acceleration):	3,50	m/s <sup>2</sup>
CC9 (Beschleunigung bei 80 km/h):	1,50	m/s <sup>2</sup>

OK Cancel

željeni razmak između zaustavljenih vozila  
vrijeme kretanja, gdje je  $v$  brzina u [m/s]  
promjenljivi razmak slijeda  
kočenje kod prilaska koloni  
sigurnosni parametri kolone vozila  
ovisnost brzine o osilacijama brzine  
oscilacije ubrzanja  
ubrzanje iz mirovanja do željene brzine  
ubrzanje vozila kod brzine vozila 80 km/h

# MODEL PRESTROJAVANJA (*LANE CHANGE MODEL*)

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA

Veliki broj istraživanja je usmjeren na stvaranje okvira za bolje razumijevanje psihičkih i psiholoških varijabli koje utječu na ponašanje vozača u različitim prometnim situacijama.

Modeliranje prestrojavanja obuhvaća oblike ponašanja vozača kao što su iznuđivanje vremenskih praznina za prestrojavanje i /ili volju vozača u ciljnom prometnom traku da manevar prestrojavanja omoguće (ustupe prioritet vozilu koje se prestrojava). Samo uvođenjem u modeliranje i takvih procedura ponašanja vozača može dati realne rezultate modeliranja.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA

### MODEL PRESTROJAVANJA ( *LANE CHANGE MODEL* )



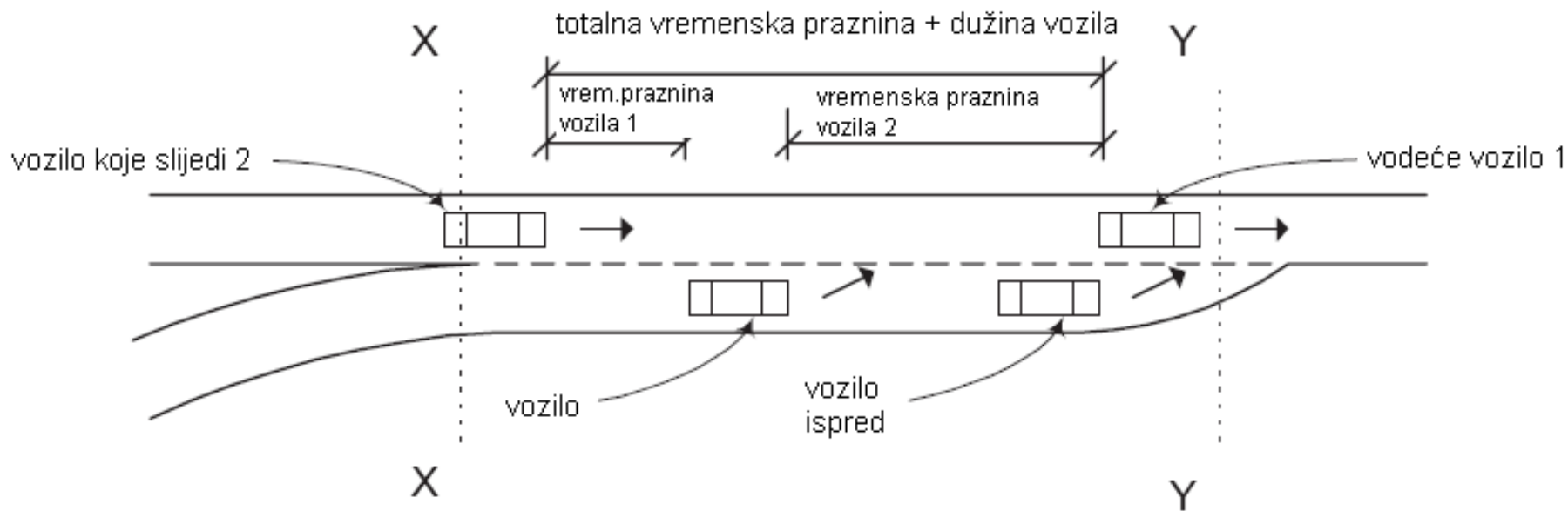
```
graph TD; A[MODEL PRESTROJAVANJA (LANE CHANGE MODEL)] --> B[POTREBNO (OBVEZNO) MIJENJANJE TRAKA zbog odabira željene rute]; A --> C[SLOBODNO MIJENJANJE TRAKA zbog vožnje željenom brzinom];
```

POTREBNO (OBVEZNO)  
MIJENJANJE TRAKA  
zbog odabira željene rute

SLOBODNO MIJENJANJE TRAKA  
zbog vožnje željenom brzinom

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA OBVEZNO MIJENJANJE TRAKA



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA OBVEZNO MIJENJANJE TRAKA

PARAMETAR koji se podešava za obvezno mijenjanje traka je **usporenje** (deceleracija) koje je u funkciji prevladavajućeg stila vožnje - "agresivnosti" vozača i prosječnih tehničkih karakteristika voznog parka.

Odredi se maksimalno usporenje (deceleracije) vozila koja mijenjaju trakove (*eng.: Own*) i vozila koja su na ciljnom voznom traku (*eng.: Trailing*).

Raspon tih parametara je određen sa "maksimalnim usporenjem" (*eng.: Max. Decelerations*) i „prihvatljivim usporenjem“ (*eng.: Accepted Decelerations*). Dodatno je moguće podesiti još takozvani "redukcijski faktor" (*eng.: -1m/s<sup>2</sup> per distance*) koji smanji maksimalnu vrijednost usporenja sa povećavanjem udaljenosti do trenutnog zaustavljanja.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA OBVEZNO MIJENJANJE TRAKA

Vrijednost parametra "maksimalnog usporenja (deceleracije) za kooperativno kočenje" (*eng.: Maximum Deceleration for Cooperative Braking*) predstavlja još prihvatljivo usporenje (deceleraciju) vozila na susjednom prometnom traku da "propusti" ispred sebe vozilo koje se prestrojava.

Ukoliko želimo modelirati ograničenja brzine na ciljnom prometnom traku odnosno spriječiti da vozila koja mijenjaju prometni trak naprave to na području gdje to ne želimo, odaberemo funkciju "izbjegavanje područja ograničene brzine" (*eng.: Overtake Reduced Speed Areas*).

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA SLOBODNO MIJENJANJE TRAKA

U slučaju "*slobodnog mijenjanja prometnog traka*" simulacijski program "provjeri" sigurnosni razmak vozila (u susjednom traku) iza vozača koji se prestrojava. Taj sigurnosni razmak ovisi o brzini promatranog vozila i brzini vozila koje se prestrojava.



# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA

Funkcija "vrijeme čekanja prije uklanjanja vozila iz simulacije" (*Waiting Time Before Diffusion*) određuje koliko vremena će vozilo uz "punu crtu" čekati na promjenu voznog traka (traženje prikladne praznine), dok vozila simulacija automatski ne ukloni iz procesa.

To je vrlo korisna funkcija, jer se može dogoditi da se zbog "neaktivnosti" jednog vozila "zablokira" cjelokupna simulacija. U takvom slučaju se na kraju simulacije pojavi poruka "*ErrorMessage*".

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA

Moguće je podesiti također "minimalni razmak ispred" (*eng.: Min. Headway*) do vozila u mirovanju na susjednom traku i "faktor redukcije sigurnosnog razmaka" (*Safety Distance Reduction Factor*).

Npr. vrijednost faktora 0.6 smanji sigurnosni razmak za 40 %. Kad vozilo promijeni prometni trak, sigurnosni se razmak za ovo vozilo ponovno podesi na pretpostavljenu (zadanu) (*eng.: Default*) vrijednost.

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA

Funkcija "naprednog spajanja" (*Advanced Merging*) omogućuje manje nerealnih čekanja za potrebe mijenjanja prometnog traka, odnosno vozila se za mijenjanje prometnih trakova "odlučuju" prije. Time se propusna moć (kapacitet) ceste poveća i još dodatno približi realnom stanju.

"Kooperativno mijenjanje prometnog traka" (*Cooperative Lane Change*) pokazuje primjer pražnjenja prometnog traka na autocesti kad se vozila uključuju preko traka za ubrzavanje. Ukoliko odaberemo tu mogućnost, onda je potrebno podesiti još dva parametra, a to su "maksimalna razlika brzine" (*Max. Speed Difference*) između vozila i "maksimalno vrijeme kolizije" (*Max. Collision Time*).

# MATEMATIČKI MODELI

# MODEL PRESTROJAVANJA

Driving Behavior Parameter Set

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Lane Change Lateral Signal Control

General behavior: Free lane selection

Necessary lane change (route)	Own	Trailing vehicle
Maximum deceleration:	-4,00 m/s <sup>2</sup>	-3,00 m/s <sup>2</sup>
- 1 m/s <sup>2</sup> per distance:	100,00 m	100,00 m
Accepted deceleration:	-1,00 m/s <sup>2</sup>	-1,00 m/s <sup>2</sup>

Waiting time before diffusion: 60,00 s

Min. headway (front/rear): 0,50 m

To slower lane if collision time is above: 11,00 s

Safety distance reduction factor: 0,60

Maximum deceleration for cooperative braking: -3,00 m/s<sup>2</sup>

Overtake reduced speed areas

Advanced merging

Cooperative lane change

Maximum speed difference: 10,80 km/h

Maximum collision time: 10,00 s

Lateral correction of rear end position

Maximum speed: 3,00 km/h

Active during time period from 1,00 s until 10,00 s after lane change start

OK Cancel

PROZOR ZA  
NAMJEŠTANJE  
PARAMETARA  
MODELA  
PRESTROJAVANJA

# MATEMATIČKI MODELI

## MODEL PRESTROJAVANJA

U mikrosimulacijskom modelu je moguće simulirati i pretjecanje vozila koja se nalaze na istom prometnom traku (npr. pretjecanje biciklista koji voze desnim prometnim trakom).

Parametri se mogu podešavati unutar kartice postavki "*Lateral*" unutar parametara "*Driving Behavior Parameter Set*".

# OSTALI PODESIVI PARAMETRI

## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

U okviru promatranog mikrosimulacijskog modela postoji niz ulaznih parametara modela koje možemo mijenjati u mikrosimulacijama.

Detaljnije su opisani još samo brzina i karakteristike vozila.

## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

**Brzina:** *željena brzina, prosječna brzina i konkretna brzina* su vrlo važne varijable koje se odnose na simulaciju.

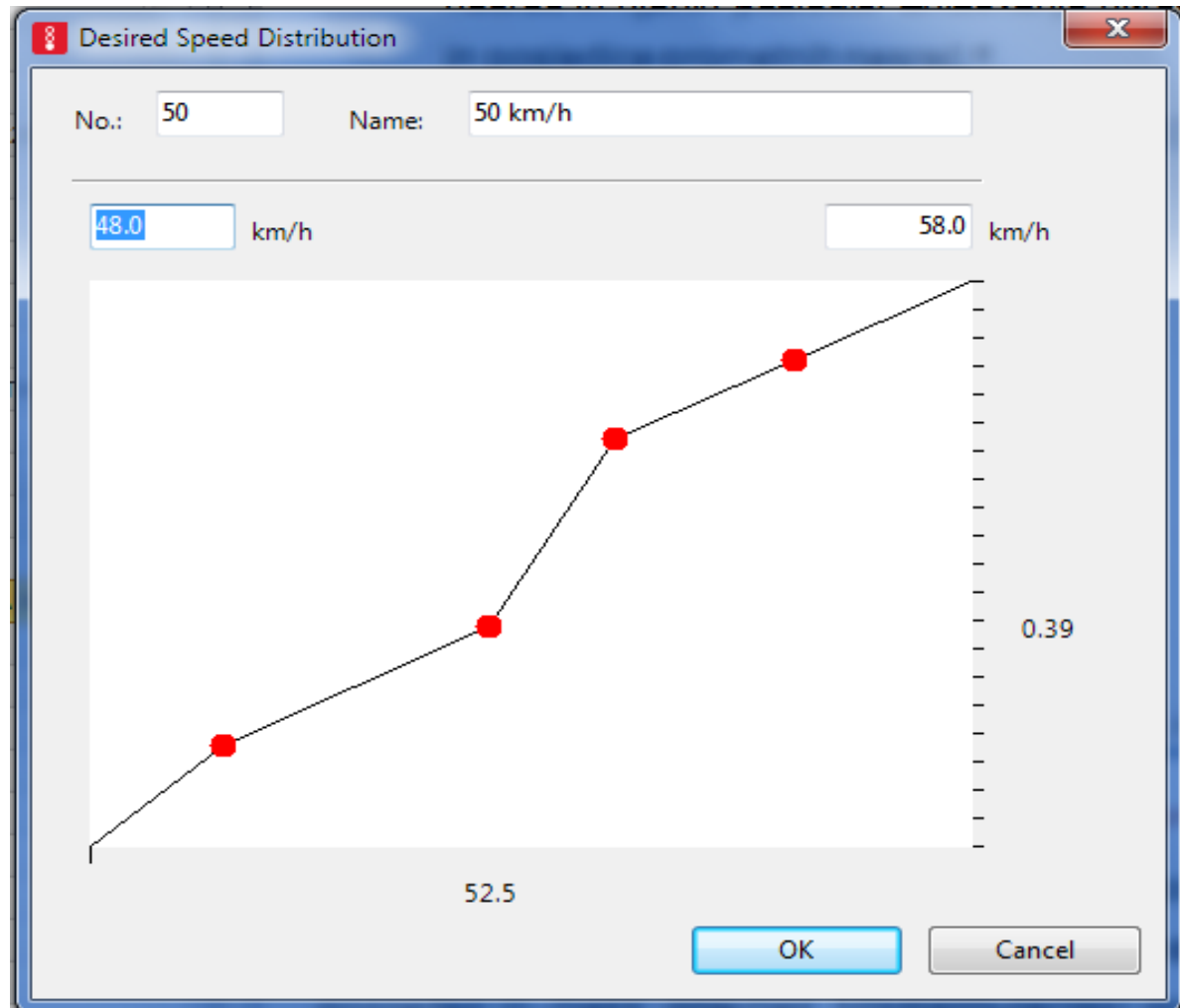
VISSIM omogućuje da možemo terenska mjerenja brzine ubaciti u model kroz konkretne raspodjele brzine.

Za simulacijske modele koji su namijenjeni testiranju prometne sigurnosti je preciznost mjerenja i unosa raspodjele brzine u simulacijski model vrlo važna. Povećavanje prosječne brzine vozila povećava stupanj ozbiljnosti prometnih nezgoda i njihovih posljedica. Snižavanje brzine pak posljedično smanjuje stupanj rizika i posljedice prometnih nezgoda.



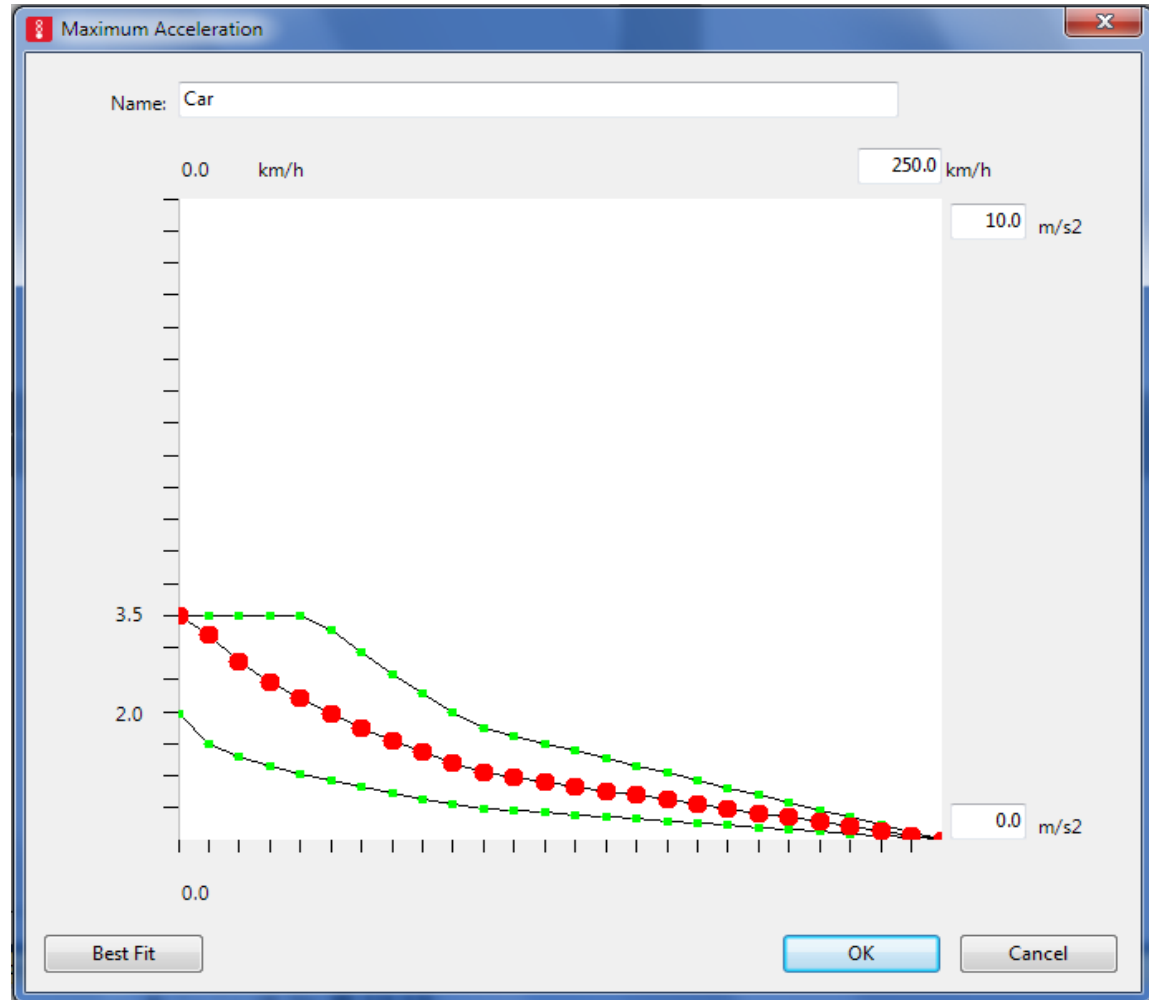
## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

Unos raspodjele  
željene brzine u  
model



## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

Unos raspodjele  
maksimalnog  
ubrzanja za  
osobna vozila



## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

**Karakteristike vozila:** postoji mnoštvo pojedinih karakteristika vozila koje utječu na prometnu sigurnost i na posljedice nastalih prometnih nesreća.

Sigurno su najvažnije "maks. ubrzanje" i "maks. usporenje". Mikrosimulacijski program VISSIM ne koristi samo jednu vrijednost za spomenute varijable, već funkcijsku ovisnost ubrzanja i usporenja za svaki tip vozila posebno. Zadane (*Default*) vrijednosti u VISSIM-u plod su dugogodišnjih istraživanja i standardizacija (kalibracija) te validacija simulacijskih modela.

## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

### Karakteristike vozila

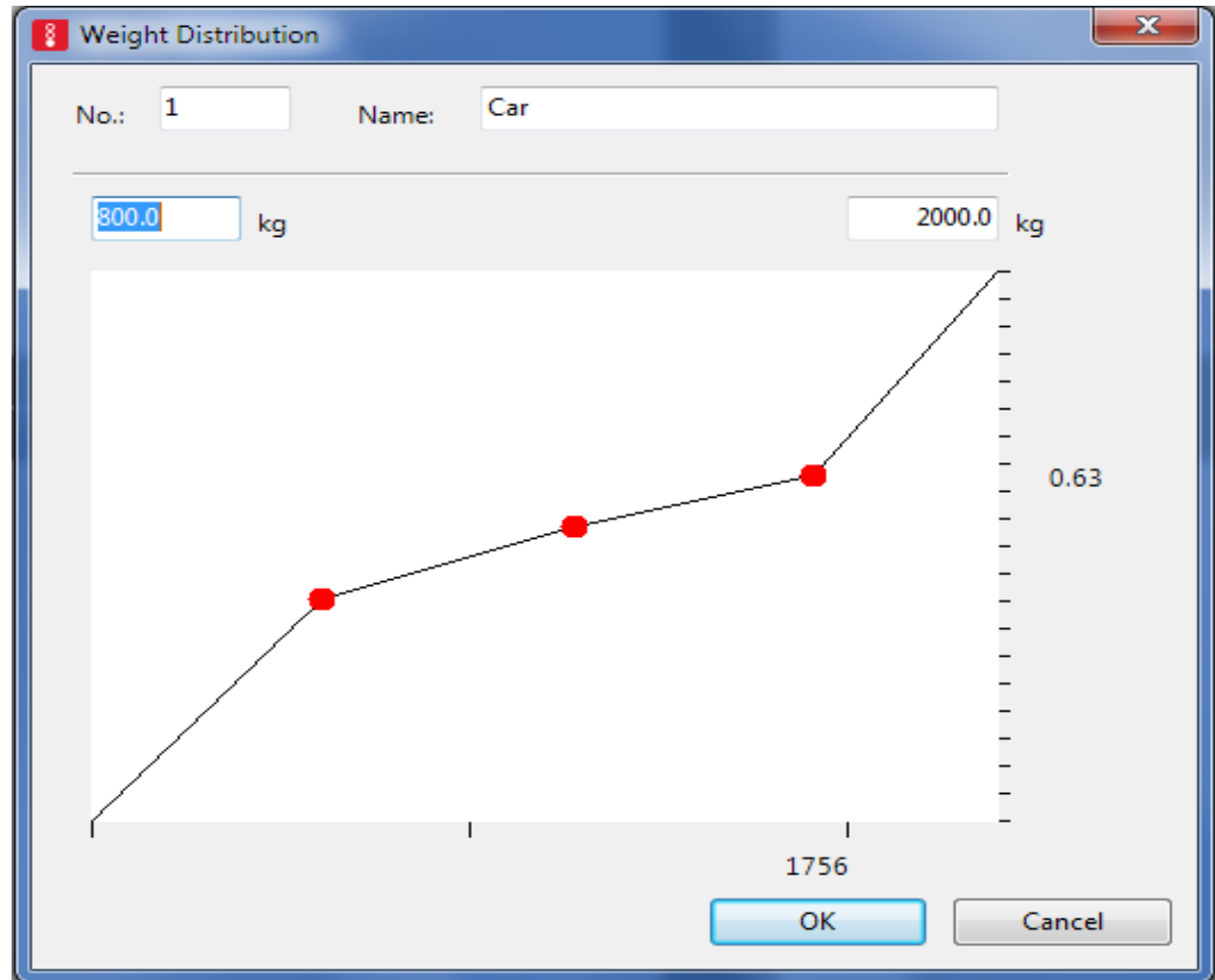
Za motorna vozila je preporučljivo ako možemo unijeti konkretne podatke omjera snage motora i težine vozila što je u VISSIM-u jednostavno podesivo. Možemo upotrijebiti i zadane (*Default*) vrijednosti.

Teretna vozila ne koriste nasumce odabrane vrijednosti (težina, snaga motora), već omjer snage i mase ("kilovati na tonu": kW/t), što se obično kreće u rasponu od 7 kW/t do 30 kW/t .

Važno još upotrijebiti pravilne omjere dužine i širine vozila unutar pojedine kategorije. Unutar simulacijskog modela je moguće proizvoljno određivanje vozila (heterogenost prometnog toka motornih vozila).

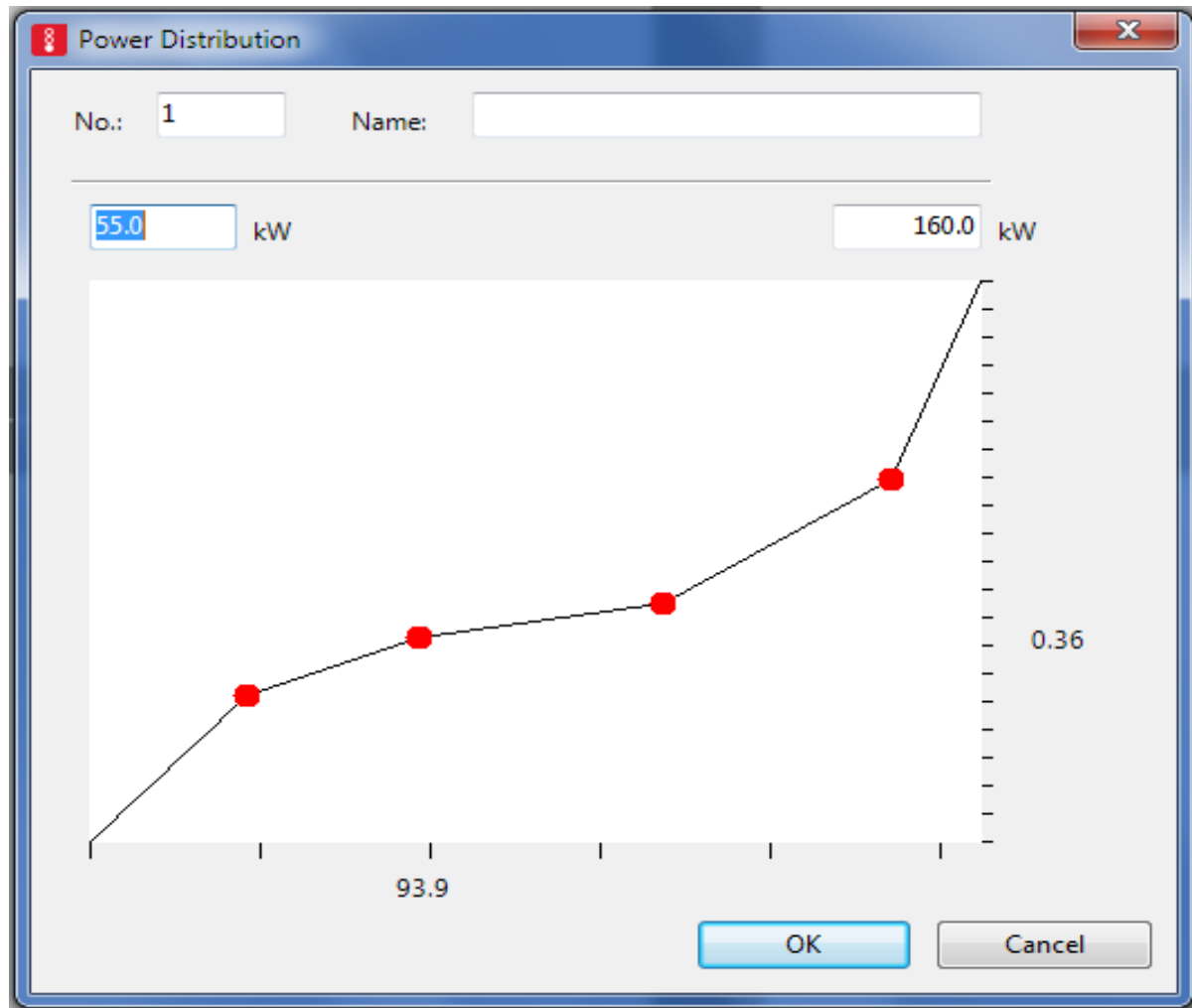
## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

Unos raspodjele težine za osobna vozila



## VISSIM - OSTALI PARAMETRI

Unos raspodjele snage motora za osobna vozila



# KALIBRACIJA I VALIDACIJA SIMULACIJSKOG MODELA

## KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

Modeliranje je postupak, u određenim koracima iterativan, koji se sastoji od:

- oblikovanja modela,
- verifikacije modela,
- kalibracije modela,
- validacije modela.



## KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

**Oblikovanje modela** obuhvaća pripremu grafičke podloge, geometrijskih elemenata promatranog segmenta mreže, prometnih objekata, raskrižja, traka za pješake i bicikliste, parkirališta, stajališta javnog prijevoza i dr.

Oblikovanje modela razumijeva i unošenje dopuštenih kretanja, pravila prioriteta, zona donošenja odluka o izboru ruta, zona prestrojavanja, konfliktnih zona raskrižja, podataka o radu svjetlosne prometne signalizacije, ako je ima i dr. Navedeni podatci su eksplicitni i lako mjerljivi.

U narednom koraku se unose podatci o prometnom opterećenju, koji se mogu dobiti iz matrice izvorno-odredišnih putovanja, ako postoji ili brojanjem na terenu.

## KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

### **Verifikacija formiranog modela**

je vizualna provjera rada modela i provjera logičnosti rezultata modeliranja. Inicijalna verifikacija modela je vrlo bitna provjera - jesu li postavke modela točne i realne i daju li rezultate u granicama očekivanja. Ukoliko postoji snimka prometa na razmatranom dijelu mreže dobro ju je usporediti sa ponašanjem modela. Koliko god da je takva ocjena površna i subjektivna, može otkriti nedosljednosti modela u ranoj fazi formiranja modela i na taj način izbjeći veće greške u kasnijoj fazi.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

je prilagođavanje modela lokalnim specifičnostima. Prema Highway Capacity Manual (2000) kalibracija je proces usporedbe parametara modela sa stvarnim podacima dobivenih brojanjem i mjerenjem na lokalnoj mreži.

Cilj je smanjiti razliku između izlaznih rezultata simulacijskog modela i podataka koji su dobiveni mjerenjem i opservacijom na terenu.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

Dobro razumijevanje bazične premise, namjene i ograničenja modela, preduvjet je kalibracije modela.

Važno je identificirati ključne ulazne parametre koje model koristi u simulaciji i njihov utjecaj na izlazne rezultate modeliranja.

Identifikacija seta utjecajnih parametara i raspona njihovih vrijednosti, te optimiranje utjecajnih parametara i njihovih vrijednosti nekim od alata optimiranja, sastavni su dio procesa kalibracije.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

Rezultati modeliranja mreže, segmenata mreže ili raskrižja koji su zanimljivi prometnim stručnjacima najčešće su:

- kapacitet,
- operativne karakteristike (vrijeme putovanja, vremenski gubitci, dužina kolone vozila...),
- ekonomski parametri (potrošnja goriva, troškovi prijevoza...),
- parametri utjecaja na okoliš (buka, aerozagadenje...),
- pokazatelji sigurnosti prometa,
- pokazatelji udubnosti vožnje i dr.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

Metodologija postupka kalibracije nije konačno usvojena, ali neupitno je da je kalibracija modela najvažniji uvjet uspješne primjene modeliranja u stručnoj praksi u lokalnim uvjetima.

Korištenje simulacijskih modela sa default vrijednostima ulaznih parametara ili minimalna kalibracija bazirana na inženjerskoj procjeni može dovesti do nerealnih rezultata modeliranja i kompromitacije modela.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

Pet ključnih elemenata postupka kalibracije i validacije modela, su:

- kontekst modeliranja,
- ulazni podatci,
- pouzdanost,
- povratna informacija i
- predikcija.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

**Kontekst modeliranja** određuje koji se izlazni rezultati modeliranja u konkretnom slučaju razmatraju, koje se vrijednosti očekuju i zašto.

Kontekst modeliranja utiče i na izbor vrste podataka koji se prikupljaju na terenu. Nedovoljna kvaliteta ili količina prikupljenih podataka na terenu dovodi do greške u kalibraciji i validaciji modela.



# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela

Svaki simulacijski model ima značajan broj ulaznih parametara koji mogu ući u postupak kalibracije.

Potrebno je odabrati one ulazne parametre koji imaju statistički značajan utjecaj na izlazne rezultate, a koji su sagledani u svjetlu konteksta modeliranja. Koriste se statističke metode u postupku sužavanja broja kombinacija ulaznih parametara.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

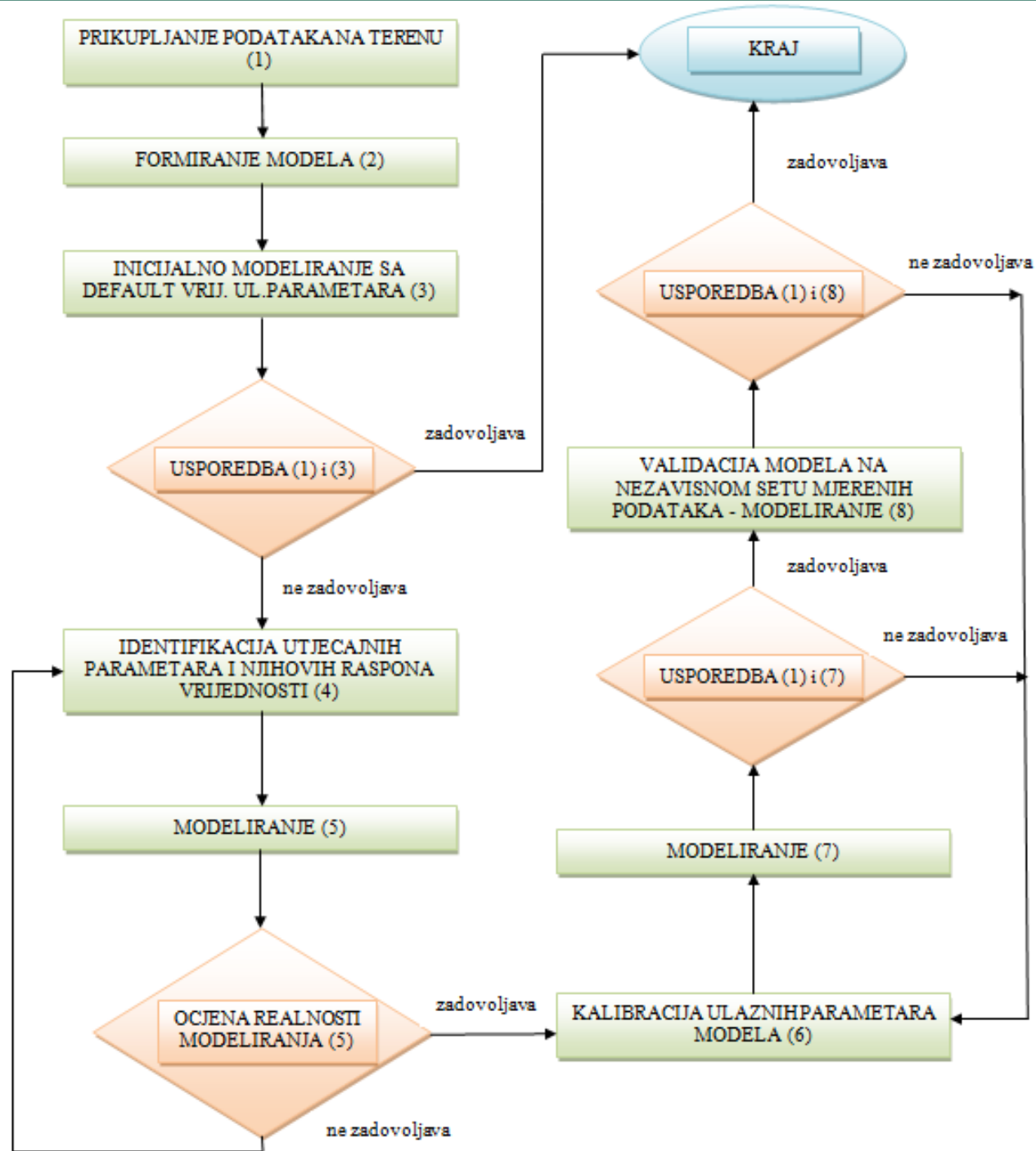
## Kalibracija modela

Osim odabira svih utjecajnih ulaznih parametara, jednako je značajan je pravilan odabir raspona vrijednosti svakog ulaznog parametra.

Ako inicijalni rasponi ne sadrže vrijednosti koje mogu dati izlazne rezultate koji su blizu vrijednostima izmjerenih terenskih podataka, ni najbolje tehnike kalibracije neće dovesti do optimalnih rezultata.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Kalibracija modela



# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Validacija modela

Validacija modela je ocjena uspješnosti kalibracije modela kroz usporedbu kalibriranim modelom modeliranih i izmjerenih prometnih pokazatelja.

Validacija modela radi se na:

- novim skupovima izmjerenih podataka,
- novim prometnim pokazateljima,
- drugim lokacijama i/ili drugim segmentima mreže.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Validacija modela

Model se smatra kalibriranim ako su vrijednosti simulacije unutar 5 % odstupanja od terenskih mjerenja.

Za usporedbu promatranih i simuliranih vrijednosti možemo upotrijebiti široki spektar statističkih metoda (npr. t-test, Chi-2 test...) ili možemo upotrijebimo posebne modele ocjene.

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Validacija modela

Funkcije cilja u postupcima kalibracije orijentirane su na srednje vrijednosti prometnih pokazatelja. Dolaze u različitim formama i mogu biti prikazane na različite načine. Srednji apsolutni koeficijent greške ( $G_{sr}$ ) i srednji apsolutni postotak greške ( $G_{sr} \%$ ) su:

$$G_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{Si - Mi}{Mi} \right|}{n}$$

Gdje su:

Si- simulirane vrijednosti;

Mi- mjerene vrijednosti na terenu;

n- broj lokacija na kojima se vrši mjerenje.

$$G_{sr} \% = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{Si - Mi}{Mi} \right|}{n} \times 100\%$$

# KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

## Validacija modela

Mikrosimulacijske modele najčešće vrednujemo sa izrazom u jednadžbi GEH - statističku metodu (prema autoru Geoffrey E. Havers) koja je u Velikoj Britaniji standard za usporedbu prometnih tokova.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Flsim - Flobs)^2}{(Flsim - Flobs)/2}}$$

gdje je:

Flsim.....simulirani prometni tok,

Flobs.... promatrani ("terenski") prometni tok.

## KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

$$GEH = \sqrt{\frac{(Flsim - Flobs)^2}{(Flsim - Flobs)/2}}$$

Preporuka je da barem 85 % promatranih prometnih tokova ima vrijednost GEH manju od pet (**GEH<5**), ali na "kontrolnim (mjernim) presjecima" mora biti vrijednost GEH manja od 4 (**GEH<4**).



## KALIBRACIJA I VALIDACIJA MODELA

U slučaju stohastičkih simulacijskih modela (kao što je VISSIM) važno je upotrijebiti veći broj simulacija pojedinog primjera, jer se nasumce generiraju različiti parametri za različitu zadanu distribuciju prometnih tokova.

Unutar programa možemo podesiti broj ponavljanja simulacije sa funkcijom "*Multi run*", koja određuje broj ponavljanja simulacije (zadana vrijednost je 10).

