

Dr. DAMIR BOŽIČEVIĆ
Fakultet za pomorstvo i saobraćaj
Rijeka, Studentska 2

Prometna infrastruktura
Izvorni znanstveni rad

UDK: 656.13

Primljeno: 03.09.90.

Prihvaćeno: 24.09.90.

POSTUPAK UTVRĐIVANJA POTREBE ZA GRADNJOM DODATNOGA PROMETNOG TRAKA NA USPONU

SAŽETAK

Propusna moć cesta znatno se smanjuje na većim i duljim usponima, posebno uz veći udjel teških teretnih vozila.

U radu su analizirana iskustva terenskih opažanja i simulacija interakcije odvijanja prometnog toka na usponu. Obavljena terenska mjerenja u našoj zemlji omogućila su određivanje postupaka za utvrđivanje potreba za izgradnjom dodatnoga prometnog traka na usponu.

1. UVOD

Vozila s velikim omjerom težina/snaga na dugim se usponima penju malim brzinama i ometaju prometni tok. Najveći broj studija o ovim efektima izrađen je u SAD na temelju terenskih istraživanja i simulacijskih modela. Rezultati studija sadrže procjene o smanjenju kapaciteta i razine usluge ili preporuke za dogradnju dodatnih trakova na usponu za teška vozila.

2. ZNAČAJKE PROMETA NA USPONIMA

Terenska opažanja i rezultati simulacije pokazuju različite značajke tokova na kontinuiranim usponima. Nakon ulaska u područje uspona, u mješovitom toku komercijalnih i putničkih vozila, dolazi do promjene brzina i vozničkih trakova. Nakon toga tok postaje nepravilan, ali pokazuje prosječne brzine i ostale značajke, koje se mogu rabiti za određivanje razine usluge na kratkim dionicama (300 do 600 m) u kraćim razdobljima od 2 do 3 minute. Na kontinuiranim usponima odnos brzina putničkog automobila/prometni tok pokazuje znakovit oblik, kakav se opaža u tokova na nizinjskom terenu. Dakako, smanjena je propusna moć, i postotkom nagiba i postotkom kamiona, pa brzina toliko brže pada, što se tok više povećava. Pokazalo se, također, da postoje dva režima pri zauzimanju traka i mijenjanju traka na usponima. Prvi je režim prisutan kad se u prometnom toku pojavljuje tek nekoliko kamiona na velikim međusobnim razmacima na usponu. U tom slučaju dio putničkih automobila ostaje na desnom traku, a izmjena trakova obavlja se radi pretjecanja sporih kamiona. Pod ovim se uvjetima dio putničkih automobila na desnoj strani smanjuje, a protok kamiona povećava. Također, broj promjena traka

putničkih automobila raste s protokom kamiona. Drugi režim se pojavljuje povećanjem protoka kamiona. Broj putničkih automobila na desnom traku se i dalje smanjuje - prema ništici, ali u slučaju dvaju jednosmjernih trakova broj promjena traka putničkih automobila pada na ništicu. Terenska opažanja i rezultati simulacije pokazuju da prometni tok na usponima može biti prekinut kada jedan (ili više) spori kamion pretječe druge spore kamione. Mogu se stvarati gomilanja u toku, koja se mogu održati i nakon završetka operacije prolaženja. Takva prekidanja povećavaju nestabilnost uvjeta odvijanja toka na usponima, kakva se na nizinjskom terenu sreće vrlo rijetko ili tek u umjerenom obliku. Prekidi toka i druge slične, ali manje drastične, nestabilnosti uzduž uspona čine osnovu na kojoj se tok na usponu označuje kao nepravilan. Otuda slijedi da pojedini putnički automobili pri penjanju na kontinuiranim usponima u mješovitim tokovima mogu naići na uvjete koji se kreću od slobodnog toka do potpunog zakrčenja. Potrebno mijenjanje brzine, razlike u brzinama vozila i mogućnost povećane promjene traka, govore u prilog tome da sigurnost i udobnost kao aspekti razine usluge mogu biti niži na usponima nego na nizinjskom terenu pri sličnim prosječnim brzinama.

3. DODATNI TRAKOVI NA USPONU

Analiza iskustava terenskih opažanja i simulacija interakcije i značajke odvijanja prometnog toka na usponu, obavljenih u pojedinim institucijama SAD, kao i terenska mjerenja obavljena u našoj zemlji - omogućili su određivanje postupaka utvrđivanja potreba za izgradnjom dodatnoga prometnog traka na usponu. Polazeći od ciljnih pokazatelja zahtjeva prometa, za određivanje potrebe za izgradnjom dodatnog traka na usponu, iskristalizirala su se četiri relevantna kriterija:

- 1) potreba za dodatnim kapacitetom na usponu u promatranom vremenu eksploatacije ceste,
- 2) zahtijevana (prosječna) brzina mjerodavnoga vršnoga satnog toka,
- 3) prihvatljiva relativna razlika između prosječne brzine slobodnog toka i mjerodavnog (teškog) teretnog vozila na zajedničkom prometnom traku,
- 4) najmanja brzina mjerodavnoga teretnog vozila u zajedničkom prometnom traku.

Ad 1.

Usporedbom praktičnoga kapaciteta s mjerodavnim vršnim satnim tokovima u prvoj, desetoj i dvadeset petoj godini za odsjek na usponu dolazi se do vrijednosti relacija, α_1^i , α_{10}^i , α_{25}^i .
 $\alpha_n^i = q \text{ m/c} = \text{mjerodavni protok/kapacitet u n-toj godini; } n = 1, 10 \text{ i } 25$

Usporedbom izračunanih relacija sa zadanim relacijama α_1 , α_{10} i α_{25} zaključuje se po ovom kriteriju je li potrebna gradnja dodatnog traka na usponu.

U slučaju da je $\alpha_1^i \leq \alpha_1$; $\alpha_{10}^i \leq \alpha_{10}$ i $\alpha_{25}^i \leq \alpha_{25}$ zaključuje se, po ovom kriteriju, da ne treba graditi dodatni trak.

Pri projektiranju nove ceste vrijednost α_1 za prvu godinu mora biti u funkciji najviše razine usluge koja se zahtijeva od buduće ceste.

Ako se dograđuje dodatni trak na usponu postojeće ceste, vrijednost α_1 za prvu godinu mora biti u funkciji dosegnute razine usluge na promatranoj cesti u promatranoj godini.

Vrijednost $\alpha_{10/25}$ u ciljnoj godini u funkciji je ranga ceste, s tim da razdoblje eksploatacije od deset godina vrijedi za rekonstrukciju postojeće ceste, a razdoblje od 25 godina za novoizgrađenu cestu.

Ad 2.

Usporedbom izračunanih prosječnih brzina mjerodavnoga vršnoga satnog toka u prvoj, desetoj i dvadeset petoj godini promatrane eksploatacije ceste (V_{q1} , V_{q10} i V_{q25}) sa zadanim vrijednostima ovih brzina (V_{q1} , V_{q10} i V_{q25}) dobiva se osnova za zaključak o tome je li potreban dodatni prometni trak na usponu s aspekta ovoga kriterija. Za proračun prosječnih brzina mjerodavnoga vršnoga satnog toka mogu

se koristiti podobni izrazi, primjerice:

$$V_{qi} = \overline{V_{s1i}} - q_i/c_i [\overline{V_{s1i}} - V_c]$$

$$\overline{V_{s1i}} = (1/q_i) \sum_{j=1}^{i=s} V_{s1j} \cdot P_j$$

gdje je:

- $\overline{V_{qi}}$ - brzina mjerodavnog toka u i-toj godini
- $\overline{V_{s1i}}$ - brzina slobodnog toka u i-toj godini
- q_i - veličina mjerodavnog toka u istoj godini
- V_{s1j} - slobodna brzina osnovnih vrsta vozila
- P_j - broj vozila po osnovnim vrstama u mjerodavnom toku
- V_c - brzina pri kapacitetu

Ako je $V_{q1}^i \geq V_{q1}$; $V_{q10}^i \geq V_{q10}$ i $V_{q25}^i \geq V_{q25}$ zaključuje se po ovom kriteriju da nije potreban dodatni trak na usponu.

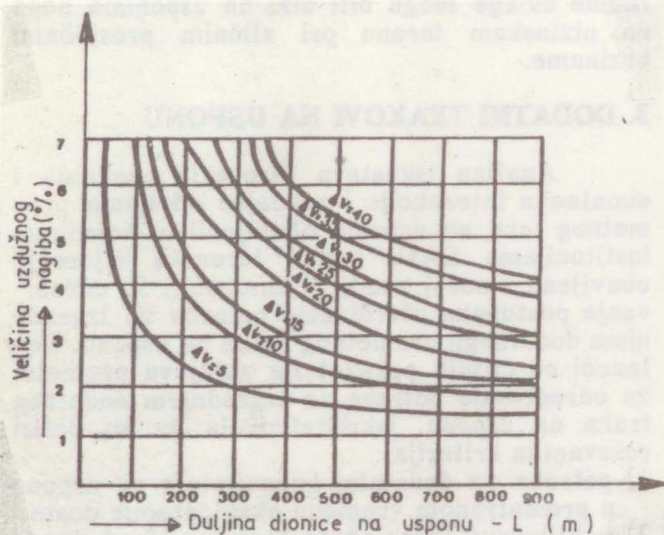
Pri projektiranju nove ceste vrijednost V_{q1} u prvoj godini mora biti u funkciji najviše razine usluge koja se zahtijeva od buduće ceste.

Kada se dograđuje dodatni trak na usponu postojeće ceste, vrijednost V_{q1} za prvu godinu mora biti u funkciji dosegnute razine usluge na promatranoj cesti u promatranoj godini.

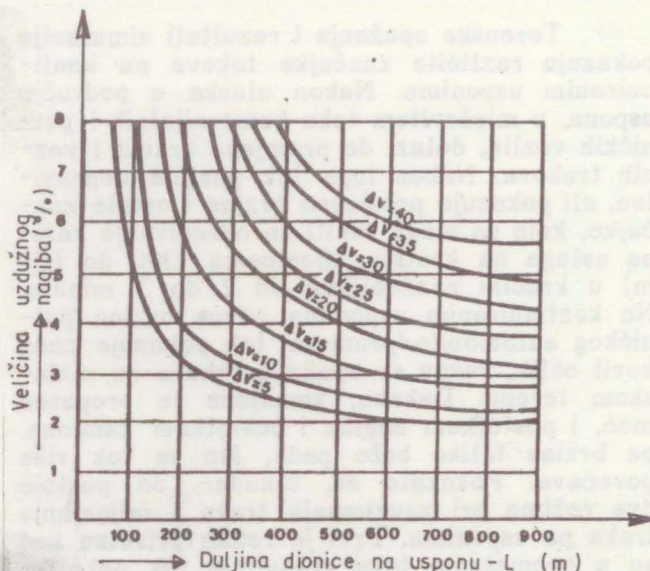
Vrijednost $V_{q10/25}$ u ciljnoj godini u funkciji je ranga ceste, a razdoblje eksploatacije od deset godina vrijedi za rekonstrukciju postojeće ceste, a razdoblje od 25 godina za novoizgrađene ceste.

Ad 3.

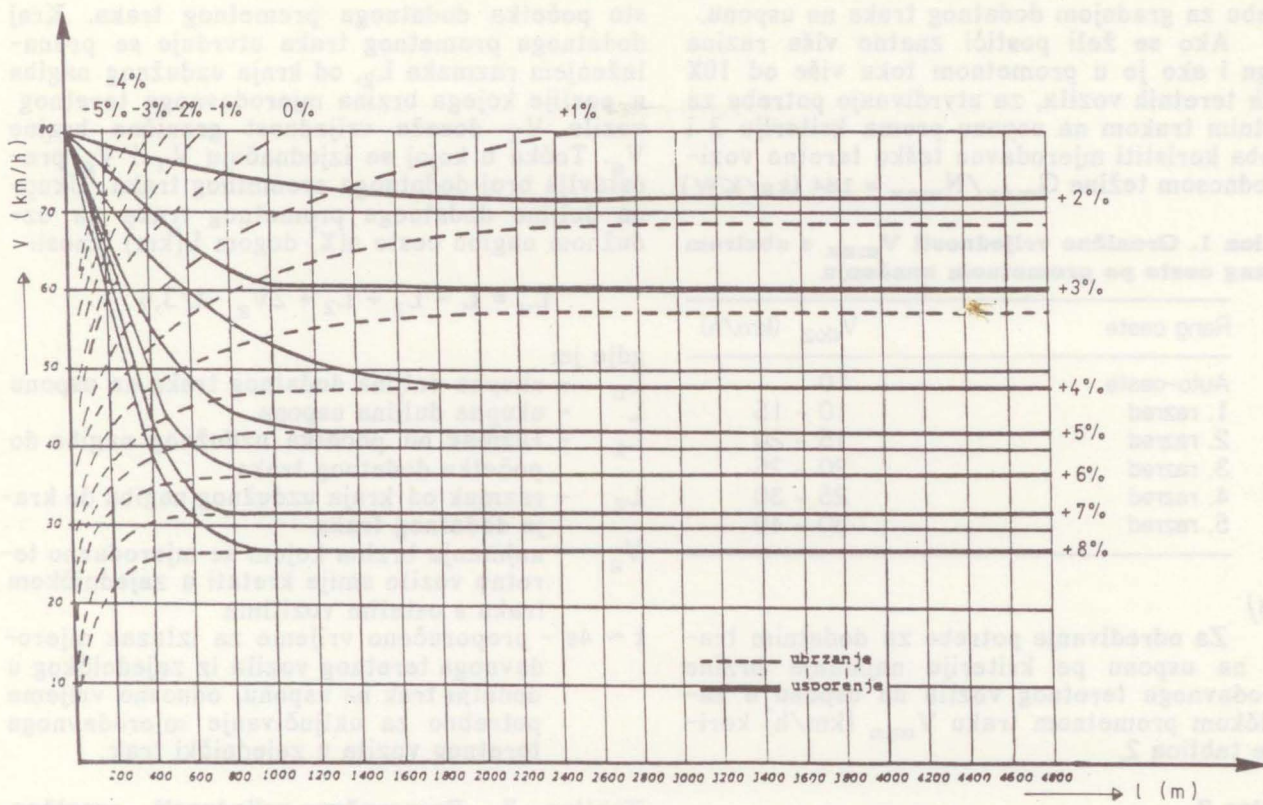
Na temelju poznate zakonitosti relativnog smanjenja brzine mjerodavnoga teretnog vozila u odnosu na prosječnu brzinu svih vozila u slobodnom toku mogu se uvjetovati granične vrijednosti ΔV_{max} , čije premašenje označuje



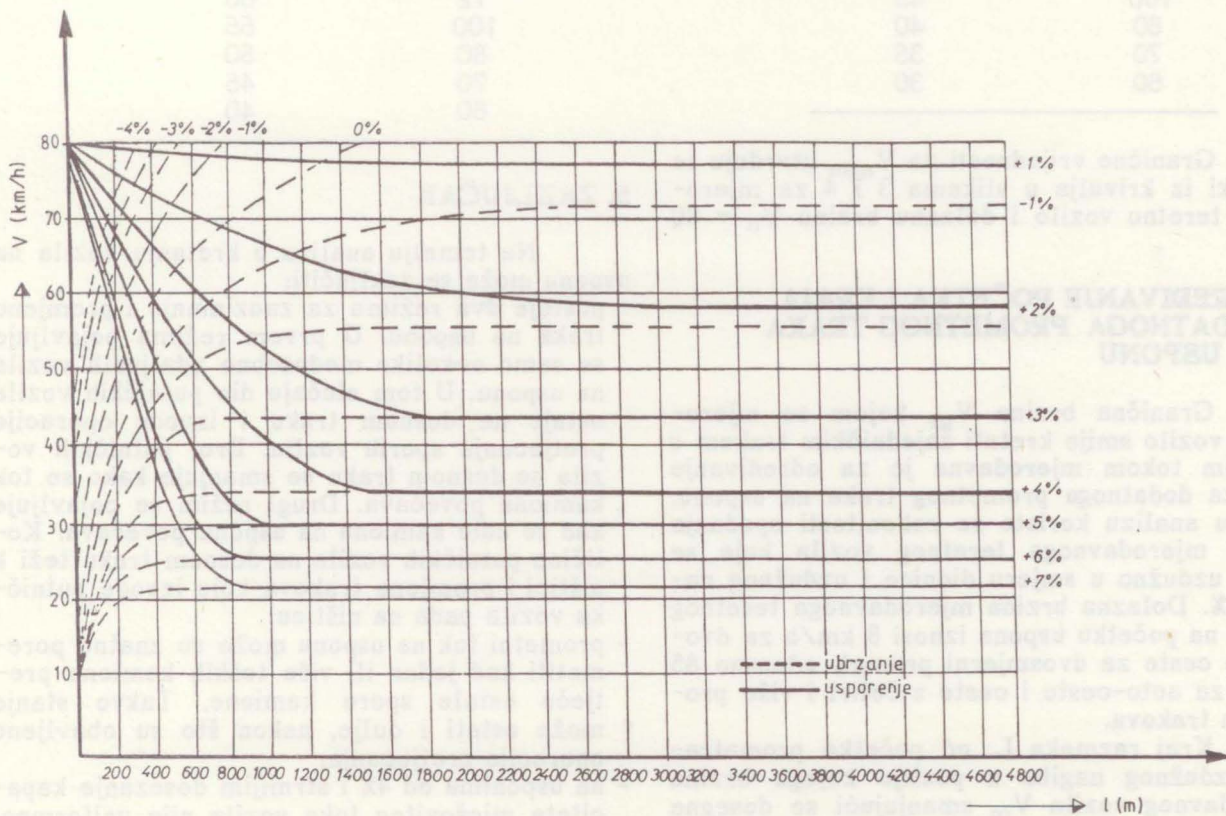
Dijagram 1. Krivulja relativnog smanjenja brzine mjerodavnoga teretnog vozila s odnosom težine $G_{max}/N_{max} = 124 \text{ (kg/KW)}$, u odnosu na prosječnu brzinu svih vozila u slobodnom toku $V = f(UN, L, Vd_{Tvm})$, za dolaznu brzinu $Nd_{Tvm} = 80 \text{ (km/h)}$



Dijagram 2. Krivulja relativnog smanjenja brzine mjerodavnoga teškoga teretnog vozila s odnosom težine $G_{max}/N_{max} = 184 \text{ (kg/KW)}$, u odnosu na prosječnu brzinu svih vozila u slobodnom toku $V = f(UN, L, Vd_{Tvm})$, za dolaznu brzinu $Vd_{Tvm} = 80 \text{ (km/h)}$



Dijagram 3.



Dijagram 4.

potrebu za gradnjom dodatnog traka na usponu.

Ako se želi postići znatno viša razina usluge i ako je u prometnom toku više od 10% teških teretnih vozila, za utvrđivanje potrebe za dodatnim trakom na usponu prema kriteriju 3 i 4 treba koristiti mjerodavno teško teretno vozilo s odnosom težine $G_{max}/N_{max} = 184$ (kg/KW).

Tablica 1. Granične vrijednosti V_{max} s obzirom na rang ceste po prometnom značenju

Rang ceste	V_{doz} (km/h)
Auto-cesta	10
1. razred	10 - 15
2. razred	15 - 20
3. razred	20 - 25
4. razred	25 - 30
5. razred	30 - 40

Ad 4)

Za određivanje potrebe za dodatnim trakom na usponu po kriteriju najmanje brzine mjerodavnoga teretnog vozila na usponu u zajedničkom prometnom traku V_{min} (km/h) koristi se tablica 2.

Tablica 2.

Računska brzina V_r (km/h)	V_{min} (km/h)
120	50
100	45
80	40
70	35
60	30

Granične vrijednosti za V_{min} utvrđuju se grafički iz krivulja u slikama 3 i 4 za mjerodavno teretno vozilo i dolaznu brzinu $V_d = 80$ km/h.

4. ODREĐIVANJE POČETKA I KRAJA DODATNOGA PROMETNOG TRAKA NA USPONU

Granična brzina V_{gr} kojom se mjerodavno vozilo smije kretati zajedničkim trakom s ukupnim tokom mjerodavna je za određivanje početka dodatnoga prometnog traka na usponu. Za ovu analizu koriste se zakonitosti opadanja brzine mjerodavnoga teretnog vozila koje se kreće uzdužno u smjeru dionice i uzdužnog nagiba $n\%$. Dolazna brzina mjerodavnoga teretnog vozila na početku uspona iznosi 8 km/h za dvotračne ceste za dvosmjerni promet, odnosno 85 km/h za auto-cesta i ceste s četiri i više prometnih trakova.

Kraj razmaka L od početka promatranog uzdužnog nagiba n poslije kojega brzina mjerodavnog vozila V_m smanjujući se dosegne vrijednost granične brzine V_g , predstavlja mje-

sto početka dodatnoga prometnog traka. Kraj dodatnoga prometnog traka utvrđuje se pronalženjem razmaka L_2 , od kraja uzdužnog nagiba n poslije kojega brzina mjerodavnoga teretnog vozila V_T doseže vrijednost granične brzine V_g . Točka u kojoj se izjednačuju V_T i V_g predstavlja broj dodatnoga prometnog traka. Ukupna duljina dodatnoga prometnog traka na uzdužnom nagibu ceste $n(\%)$ dugom L (km) iznosi:

$$L_u = L - L_1 + L_2 + 2V_g \cdot t/3,6$$

gdje je:

- L_u - ukupna duljina dodatnog traka na usponu
- L - ukupna duljina uspona
- L_1 - razmak od početka uzdužnog nagiba do početka dodatnog traka
- L_2 - razmak od kraja uzdužnog nagiba do kraja dodatnog traka
- V_g - najmanja brzina kojom se mjerodavno teretno vozilo smije kretati u zajedničkom traku s ostalim vozilima
- $t \sim 4s$ - preporučeno vrijeme za izlazak mjerodavnoga teretnog vozila iz zajedničkog u dodatni trak na usponu, odnosno vrijeme potrebno za uključivanje mjerodavnoga teretnog vozila u zajednički trak

Tablica 3. Preporučene vrijednosti granične brzine V_g u funkciji računске brzine

Računska brzina V_r (km/h)	V_g (km/h)
12	60
100	55
80	50
70	45
60	40

5. ZAKLJUČAK

Na temelju analiza o kretanju vozila na usponu može se zaključiti:

- postoje dva režima za zauzimanje i promjenu traka na usponu. U prvom režimu pojavljuje se samo nekoliko međusobno udaljenih vozila na usponu. U tom slučaju dio putničkih vozila ostaje na desnom traku i izvode operacije pretjecanja sporih vozila. Broj putničkih vozila na desnom traku se smanjuje kako se tok kamiona povećava. Drugi režim se pojavljuje kad se udio kamiona na usponu povećava. Količina putničkih vozila na desnom traku teži k ništici i promjena trakova koju izvode putnička vozila pada na ništicu;
- prometni tok na usponu može se znatno poremetiti kad jedan ili više teških kamiona pretječu ostale spore kamione. Takvo stanje može ostati i dulje, nakon što su obavljene operacije pretjecanja;
- na usponima od 4% i strmijim dosezanje kapaciteta mješovitog toka vozila nije uniformno, što znači da se uzduž uspona stvaraju pojed-

načne saturirane kolone. Uvjeti kapaciteta se ostvaruju čak iako sav prostor na usponu nije kompletno ispunjen vozilima;

- na dijelu izlaska iz traka na usponu, vozila prelaze iz tog traka zadnjih oko 430 m, s tim da se većina prijelaza dešava na 30 do 300 m od dijela izlaska iz traka na usponu. Vozila sa slabijim performansama i spori kamioni ostaju dulje u traku na usponu;
- u analizi prometnog toka na usponu razine usluga primjenjuju se da bi podsjetile korisnike da razina ovisi samo o operativnoj brzini i realiziranom postotku kapaciteta. Potpuno je jasno da udobnost i sigurnost ne mogu biti jednake onima na nizinskom terenu.

SUMMARY

METHOD OF DETERMINATION OF THE NEED FOR INTRODUCTION OF AN ADDITIONAL LANE AT THE UPHILL ROAD SECTION

Road volume absorbing capacity decreases considerably at steeper and longer uphill road section stretches particularly with larger share of heavy motor vehicles in the volume.

The paper deals with an analysis of experience obtained from field observation and simulation of the interaction of traffic flow proceeding on the uphill road section.

Completed field surveying in our country has made possible the determination of the method for establishing of the need for introduction of an additional lane uphill road section.

LITERATURA

- [1] Highway Capacity Manual. HRB. Special Rept. 87. 1965. Washington D.C.
- [2] Highway Capacity Manual, Special Rept. 209, Transportation Research Board, Washington D.C., 1985.
- [3] A. ST. JOHN, I. KOPPETT: Grade Effects on Traffic Flow. Stability and Capacity. NCHRP Rept. 1985, Transportation Research Board, Washington, D.C. 1978.
- [4] A. ST. JOHN et. al.: Freeway and Control Strategies as affected by Trucks and Traffic Regulations Volume. Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri, 1975.
- [5] W. CUNAGIN, C. MESSER: Passenger Car Equivalent for Rural Highways. Final Report Herbert G. Whyte Association and the Texas Transportation Institute, Texas, 1982.