

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Miha Zupančič

Določitev parametrov odvisnosti hitrosti od prometnih obremenitev na državnih cestah

Diplomska naloga št.: 2897

Mentor:
doc. dr. Marijan Žura

Somentor:
Tomaž Guzelj

Ljubljana, 28. 6. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MIHA ZUPANČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»DOLOČITEV PARAMETROV ODVISNOSTI HITROSTI OD PROMETNIH
OBREMENITEV NA DRŽAVNIH CESTAH«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 8.6.2006

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	656.1.021: 656.1.053 (043.2)
Avtor:	Miha Zupančič
Mentor:	doc. dr. Marijan Žura, u.d.i.g
Somentor:	Tomaž Guzelj, u.d.i.g.
Naslov:	Določitev parametrov odvisnosti hitrosti od prometnih obremenitev na državnih cestah
Obseg in oprema:	83 str., 37 pregl., 24 graf., 11 sl.
Ključne besede:	povprečna potovalna hitrost, hitrost prostega prometnega toka, kategorizacija, prometna obremenitev, prepustnost, funkcija obremenitev-zamuda

Izveček:

Osnovna funkcija vseh cest v državnem cestnem omrežju je učinkovita mobilnost. Različne kategorije cest imajo različne namene: daljinsko povezovanje, povezovanje, zbiranje in dostop. Vsem pa je skupno omogočiti uporabniku, da pride na cilj v čim krajšem možnem času. Čas potovanja je odvisen od potovalnih hitrosti. Na različnih cestah uporabniki pričakujejo različne potovalne hitrosti.

Cilj naloge je, da za potrebe prometnega modeliranja izračunam funkcije upora na podlagi katerih se izračuna povprečna potovalna hitrost oziroma potovalni čas na odseku ceste.

Osnovna funkcija upora je funkcija BPR (Bureau of Public Roads), ki se jo uporablja za izračun potovalnih časov in zamud. Poleg funkcije BPR bom obravnaval tudi Spiessovo funkcijo, ki je bila izpeljana v letu 1990. S primerjavo rezultatov in meritev bom določil, katera funkcija bolje odseva prometne razmere na državnem slovenskem cestnem omrežju. Osnova za izračun funkcij upora je banka cestnih podatkov in baze podatkov avtomatskih števec.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 656.1.021: 656.1.053 (043.2)
Autor: Miha Zupančič
Supervisor: Assist. Prof. Marijan Žura, Ph.D.C.E
Co Supervisor: Tomaž Guzelj, BSc.C.E.
Title: Volume-delay function parameters for Slovenian national
Highway network facilities
Notes: 83 p., 37 tab., 24 ch., 11 fig.
Key words: average travel speed, free flow speed, categorization, traffic
load, capacity, volume-delay function

Abstarct:

The basic function of all roads in a highway system is effective mobility. Various categories of roads have various purposes: distant and close connecting, gathering and accessibility. But they all have one aim in common: to enable all users to get to the final destination within the shortest possible time. Travel time depends on travel speed and different travel speeds are expected on different roads.

The aim of this research project is to create for the purpose of traffic modeling process functions of impedance which are fundamental for the calculation of the average link travel speed and travel time. The basic function of impedance is a volume-delay BPR function which is used for calculation of travel times and delays. Besides BPR function it will be dealt with Spiess function, which was introduced in 1990. By comparing the results and measurements it will be determined which function better reflect the traffic situation on the roads in a highway system in Slovenia. The calculation of the functions of impedance will be based on the road database and the automatic traffic counter database.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč se zahvaljujem mentorju doc. dr. Marijanu Žuri, u.d.i.g., somentorju Tomažu Guzelju, u.d.i.g. in prof. Zdenetu Breški. Zahvalil bi se tudi vsem sodelavcem iz prometnega oddelka podjetja PNZ d.o.o., Ljubljana.

Posebna zahvala moji družini in Andreji za vso vzpodbudo, ki ste mi jo dajali med študijem. Brez vas bi bilo težje. Hvala.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	ZNAČILNE KARAKTERISTIKE PROMETNEGA TOKA	3
2.1	Sestavljenost prometnega toka	3
2.2	Splošni pogoji	3
2.3	Sestavljenost ali struktura prometnega toka	4
2.4	Časovna neenakomernost prometnega toka	5
2.4.1	Sezonska in mesečna nihanja prometa	5
2.4.2	Dnevno nihanje prometa.....	5
2.4.3	Urno nihanje prometa.....	6
2.4.4	Konična ura.....	6
3	PARAMETRI PROMETNEGA TOKA.....	7
3.1	Volumen prometnega toka in pretok vozil.....	7
3.2	Gostota prometnega toka.....	8
3.3	Hitrost prometnega toka.....	9
3.4	Časovni razmak med avtomobili.....	14
3.5	Razmak med vozili	15
3.6	Potovalni čas.....	15
3.7	Medsebojna odvisnost med hitrostjo, gostoto in pretokom vozil	16
4	KAPACITETA IN NIVOJI USLUG	19
4.1	Definicija pojmov.....	19
4.1.1	Kapaciteta	19
4.1.2	Povpraševanje	19
4.1.3	Kvaliteta in nivoji uslug	19
4.2	Faktorji, ki vplivajo na kapaciteto in nivoje uslug.....	20
4.2.1	Osnovni pogoji	20
4.3	Lastnosti cestišča	21
4.3.1	Lastnosti prometa	22
5	KATEGORIZACIJA JAVNIH CEST	24

5.1	Upravna kategorizacija cest.....	24
5.2	Tehnična razvrstitev	26
6	LASTNOSTI TEMELJNEGA ODSEKA VEČPASOVNIH CEST.....	27
6.1	Osnovne lastnosti večpasovnega odseka	27
6.2	Faktorji, ki vplivajo na hitrost prostega prometnega toka	28
6.2.1	Širina pasu in bočne ovire	28
6.2.2	Število pasov	28
6.2.3	Gostota priključnih ramp.....	29
6.2.4	Ostali faktorji	29
6.3	Karakteristike prometnega toka na večpasovnih cestah.....	29
6.4	Določevanje nivoja uslug na temeljnem večpasovnem odseku	31
7	LASTNOSTI TEMELJNEGA ODSEKA DVOPASOVNIH CEST	32
7.1	Klasifikacija dvopasovnih cest.....	32
7.2	Osnovne lastnosti dvopasovne ceste	33
7.3	Faktorji, ki vplivajo na hitrost prostega prometnega toka	34
7.3.1	Širina voznega pasu in bočne ovire	34
7.3.2	Tipi sredinske črte.....	34
7.3.3	Gostota vstopnih točk (priključkov).....	35
7.3.4	Ostali faktorji	35
7.4	Karakteristike prometnega toka na dvopasovnih cestah	35
7.5	Stopnje nivoja uslug na dvopasovnih cestah	37
8	DOLOČITEV FUNKCIJE UPORA ZA IZRAČUN POTOVALNIH HITROSTI NA DRŽAVNIH CESTAH.....	40
8.1	Splošno	40
8.1.1	Funkcija upora	41
8.2	Izračun koeficientov.....	48

8.2.1	Podatkovne osnove	48
8.2.2	Postopek izračuna funkcije upora	55
8.2.3	Izračun za večpasovne ceste	57
8.2.4	Dvopasovna cesta.....	66
8.3	Rezultati izračuna in njihova primerjava	78
9	SKLEPNE UGOTOVITVE	82
	VIRI	84

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovne prometne in vozno dinamične značilnosti ceste glede na kategorijo ceste	13
Preglednica 2: Uradne kategorije in podkategorije cest.....	25
Preglednica 3: Tehnična razvrstitev cest.....	26
Preglednica 4: Pragovi med nivoji uslug	31
Preglednica 5: Stopnja nivoja uslug za dvopasovne ceste I. kategorije.....	39
Preglednica 6: Stopnja nivoja uslug za dvopasovne ceste II. kategorije	39
Preglednica 7: Vrednosti kapacitete in hitrosti prostega prometnega toka za posamezen tip ceste (Urban Transportation Administration).....	42
Preglednica 8: Vrednosti koeficientov funkcije upora BPR pri upoštevanju HCM-a	44
Preglednica 9: Vrednosti koeficientov Spiessove funkcije upora pri upoštevanju funkcije HCM-a	47
Preglednica 10: Vrednosti ekvivalentnih faktorjev za analizo funkcije hitrost-pretok.....	49
Preglednica 11: Število obravnavanih avtomatskih števec QLD6 glede na kategorijo ceste	49
Preglednica 12: Lokacije terenskih meritev hitrosti	51
Preglednica 13: Kategorizacija za izračun funkcije BPR in Spiessove funkcije	53
Preglednica 14: Razredi ocenjene hitrosti prostega prometnega toka za ceste kategorije G in R	54
Preglednica 15: Odseki cest, kjer makadamsko vozišče ne omogoča večjih hitrosti	55
Preglednica 16: Števena mesta, ki so bila uporabljena za izračun koeficientov za avtoceste ..	59
Preglednica 17: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (AC) .	62
Preglednica 18: Števena mesta, ki so bila uporabljena za izračun štiripasovne hitre ceste	63
Preglednica 19: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (HC-4pasovna).....	65
Preglednica 20: Števeni mesti, ki sta bili uporabljeni v izračunu koeficientov za dvopasovne hitre ceste.....	67
Preglednica 21: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (HC-2pasovna).....	68
Preglednica 22: Števena mesta, ki so bila na voljo za kategorijo G1-ravninska	70

Preglednica 23: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (G1-ravninska).....	70
Preglednica 24: Števna mesta, ki so bila primerna za izračun koeficientov (G2-ravninska).....	71
Preglednica 25: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (G2-ravninska).....	71
Preglednica 26: Števna mesta, ki so bila primerna za izračun koeficientov (R1-ravninska).....	72
Preglednica 27: Koeficienti funkcije upora, izračunani na posameznih števnih mestih (R1-ravninska).....	73
Preglednica 28: Števna mesta, ki so bila primerna za izračun koeficientov za kategorijo R_{ostalo} -ravninska.....	74
Preglednica 29: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (R_{ostalo} -ravninska).....	74
Preglednica 30: Števna mesta, ki so primerna za izračun koeficientov za kategorijo G1-razgibana.....	75
Preglednica 31: Koeficienti funkcije upora, izračunani na posameznih števnih mestih (G1-razgibana).....	75
Preglednica 32: Števno mesto, ki je primerno za izračun koeficientov za kategorijo G2-razgibana.....	76
Preglednica 33: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (G2-razgibana).....	76
Preglednica 34: Števno mesto, ki je primerno za izračun koeficientov za kategorijo R1-razgibana.....	77
Preglednica 35: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (R1-razgibana).....	77
Preglednica 36: Parametri funkcije BPR v odvisnosti od kategorije odseka ceste.....	79
Preglednica 37: Združena kategorizacija odsekov cest in pripadajoči parametri funkcije BPR.....	79

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Delež kategorij javnih cest v R Sloveniji 2003	26
Grafikon 2: Primer funkcije upora (BPR) za različne vrednosti parametrov α in β	43
Grafikon 3: Primerjava funkcije BPR in Spiessove funkcije za avtoceste pri hitrosti prostega prometnega toka 113 km/h (HCM).....	47
Grafikon 4: Prikaz aproksimacije po metodi najmanjših kvadratov (simbolni prikaz)	57
Grafikon 5: Primerjava hitrosti osebnih in tovornih vozil na večpasovnih cestah	58
Grafikon 6: Primerjava povprečnih urnih hitrosti na ŠTM 170 glede na tip vozila	59
Grafikon 7: Osnovni števeni podatki za izračun funkcije upora (ŠTM 170).....	61
Grafikon 8: Aproksimacija funkcije BPR in Spiessove funkcije k filtriranim podatkom števnega mesta 170	61
Grafikon 9: Funkcije BPR in skupna funkcija za AC	62
Grafikon 10: Prileganje končne funkcije BPR k podatkom števnih mest 170, 178, 180, 645, 830	63
Grafikon 11: Osnovni števeni podatki za izračun funkcije upora (ŠTM 179).....	64
Grafikon 12: Aproksimacija funkcije BPR in Spiessove funkcije k filtriranim podatkom števnega mesta 179	64
Grafikon 13: Funkcija BPR za kategorijo cest 4-pasovne hitre ceste.....	65
Grafikon 14: Osnovni števeni podatki za izračun funkcije upora (ŠTM 50).....	67
Grafikon 15: Aproksimacija funkcije BPR in Spiessove funkcije k filtriranim št. podatkom števnega mesta 50	68
Grafikon 16: Funkcija BPR za dvopasovne hitre ceste.....	69
Grafikon 17: Funkcija BPR za kategorijo cest G1-ravninske.....	70
Grafikon 18: Funkcija BPR za kategorijo cest G2-ravninske.....	72
Grafikon 19: Funkcija BPR za kategorijo cest R1-ravninske.....	73
Grafikon 20: Funkcija BPR za kategorijo cest R _{ostalo} -ravninske.....	74
Grafikon 21: Funkcija BPR za kategorijo cest G1-razgibana.....	76
Grafikon 22: Funkcija BPR za kategorijo cest G2-razgibana.....	77
Grafikon 23: Funkcija BPR za kategorijo cest R1-razgibana.....	78
Grafikon 24: Primerjava funkcij za kategorijo avtocest	80

KAZALO SLIK

Slika 1: Odnos med srednjo prostorsko in srednjo časovno hitrostjo prometnega toka.....	10
Slika 2: Medsebojna odvisnost pretoka, hitrosti in gostote	16
Slika 3: Odnos hitrost - pretok.....	17
Slika 4: Odnos hitrost - gostota	18
Slika 5: Odnos pretok - gostota	18
Slika 6: Temeljni večpasovni odsek	27
Slika 7: Odnos hitrost–pretok za osnovni večpasovni odsek (HCM2000).....	30
Slika 8: Odnos gostota–pretok za temeljni večpasovni odsek.....	31
Slika 9: Diagram pretok–povprečna potovalna hitrost vozil (HCM2000)	36
Slika 10: Diagram pretok–povprečni delež časa sledenja	36
Slika 11: Kriterij za določitev stopnje nivoja uslug za dvopasovne ceste I. kategorije	39

1 UVOD

Potovalna hitrost je na splošnem odvisna od vrste in geometrije cest, od gostote in strukture prometnega toka ter od administrativnih omejitev. Hitrosti lahko merimo ali pa jih določimo teoretično. Teoretična določitev temelji na metodologijah, ki odsevajo odnose znotraj prometnega toka. Ena bolj uveljavljenih je metodologija HCM. S pomočjo te metodologije hitrost lahko izračunamo in jo kalibriramo na stvarne podatke. Tako lahko izračunamo točne hitrosti, čeprav imamo na voljo le podatke o prometnem volumnu in geometriji cest.

Metodologija Highway Capacity Manual – HCM2000 je metodologija, ki se uporablja za analizo kapacitete in nivoja uslug na avtocestah, hitrih večpasovnih cestah, dvopasovnih cestah in mestnih cestah ter pri analizi avtobusnega prometa ter kolesarskih in peščevih površin. Na osnovi obsežnih raziskav zadnjih petih desetletjih v Severni Ameriki so bili razviti postopki za izračun kapacitete in nivoja uslug za različne elemente cestne mreže. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da vrednosti in računski postopki v priročniku HCM2000 odsevajo stanje v Severni Ameriki, ki pa ni povsem enako našemu. Predvsem je očitna razlika v obremenjenosti in številu pasov na ameriških avtocestah, ki je bistveno večja.

Priročnik HCM2000 je računalniško podprt s programom Highway Capacity Software – HCS2000, s pomočjo katerega lahko na praktičnih primerih uporabimo metodologijo HCM2000.

Zaradi razpršene poselitve, kar je odraz pokrajinske značilnosti in oblikovanost površja, ima Slovenija gosto razvejano cestno omrežje. Ker je za nekatere predele Slovenije edina povezava cesta, je le ta zelo pomembna za razvoj teh območij.

Učinkovita mobilnost je osnovna funkcija dvopasovnih cest, ki povezujejo glavne prometnice, ali pa so primarna povezava v državnem cestnem omrežju. Vse ceste imajo svoj namen, in sicer daljinsko povezovanje, povezovanje, zbiranje in dostop. Cilj vseh vrst cest je, da voznik pride na cilj v čim krajšem možnem času, kar pa je odraz potovalne hitrosti. Uporabniki cest pričakujejo različne potovalne hitrost, ki so različne glede na kategorijo ceste, po kateri se

vozijo, kot npr. avtocesta je projektirana tako, da omogoča višje potovalne hitrosti, kot pa to omogoča regionalna cesta. Nekatere ceste nam omogočajo predvsem dostop do določenih območij, zato na teh cestah ni tako pomembna potovalna hitrost.

Kategorizacija javnih cest je narejena na podlagi Uredbe o merilih za kategorizacijo javnih cest (Uradni list, št.49/97), ki določa, katere javne ceste so državne ceste, katerim vrstam cestnega prometa so namenjene in kakšna je njihova kategorija.

Zakon o javnih cestah in Uredba o merilih za kategorizacijo javnih cest administrativno določata razdelitev cest glede na prostorsko in funkcionalno klasifikacijo. Za vsako posamezno kategorijo določata minimalne dimenzije, s katerim se zagotovi, da bo cesta omogočala prometno funkcijo. Dimenzije tehničnih elementov cest so odvisne od potovalne hitrosti, prometne obremenitve (št. pasov in normalni prečni profil), gostote prometa, gostote priključkov, zaustavljanja in parkiranja, križišč in križanja in podobno. Vsaka kategorija ceste omogoča minimalne vozne pogoje, kot sta povprečna potovalna hitrost in izraba kapacitete ceste.

Cilj naloge je, da za potrebe prometnega modeliranja izračunam funkcije upora na podlagi katerih se izračuna povprečna potovalna hitrost oziroma potovalni čas na odseku ceste. Osnovna funkcija upora je funkcija BPR (Bureau of Public Roads), ki se jo uporablja za izračun potovalnih časov in zamud. Poleg funkcije BPR bom obravnaval tudi Spiessovo funkcijo, ki je bila izpeljana leta 1990. Osnova za izračun funkcij upora je banka cestnih podatkov in baze podatkov avtomatskih števec.

2 ZNAČILNE KARAKTERISTIKE PROMETNEGA TOKA

Za boljše opisovanje prometnega toka je potrebno poleg poznavanja zakonitosti gibanja motornih vozil poznati tudi značilne karakteristike prometnega toka. Med pomembne karakteristike prometnega toka štejemo:

- sestavljenost prometnega toka,
- splošni pogoji odvijanja prometa,
- sestava ali struktura prometnega toka,
- časovna neenakomernost prometnega, toka

2.1 Sestavljenost prometnega toka

Pri opisovanju prometnega toka in zakonitosti gibanja motornih vozil v prometnem toku je potrebno vedeti tudi, iz koliko nizov in smeri je prometni tok sestavljen. Tako ločimo:

- enostaven prometni tok predstavlja en niz vozil, ki se giblje v isti smeri. Sestavljata ga najmanj dve vozili in ga lahko imenujemo tudi elementarni ali enotni prometni tok,
- sestavljen prometni tok je sestavljen iz dveh ali več nizov prometnih tokov, pri čemer so lahko vzporedni v istem smislu in v isti smeri (večpasovna cesta); se lahko med seboj prepletajo (pred križišči); in se lahko med seboj križajo (v križiščih).

Na glavnih in regionalnih cestah so prometni tokovi največkrat sestavljeni.

2.2 Splošni pogoji

Glede na pogoje odvijanja prometa so prometni tokovi lahko:

- neprekinjeni prometni tokovi so tisti tokovi, pri katerih na pogoje vožnje deluje medsebojna odvisnost med vozili, ki je odvisna od gostote prometnega toka. Tak prometni tok se pojavlja na odsekih avtocest in v predorih.
- neprekinjeni, delno ovirani prometni tokovi so tokovi, kjer poleg medsebojne odvisnosti med vozili na gibanje vplivajo tudi elementi ceste: sprememba števila

voznih pasov, vpletanje in izpletanje tokov. Taki tokovi se pojavljajo ob izven nivojskih priključkih na AC.

- občasno prekinjeni prometni tokovi so tokovi, kjer poleg medsebojne odvisnosti med vozili na gibanje vplivajo tudi zahteve po uporabi istih prometnih površin za vozila iz različnih smeri, ki se med seboj križajo. Taki prometni tokovi se pojavljajo na mestnih cestah, v nivojskih križiščih.

Na glavnih in regionalnih cestah se pojavljajo vsi trije tipi prometnih tokov. Neprekinjeni prometni tok se pojavi na odsekih, kjer je konstantno število pasov in na odsekih, kjer ni vstopnih mest (križišč); neprekinjeni - delno ovirani prometni tok se pojavi na vzponih, kjer imamo dodatni prehitevalni pas; občasno prekinjeni prometni tok se pojavi na odsekih, kjer so nivojska križišča.

2.3 Sestavljenost ali struktura prometnega toka

Prometni tok se glede na sestavo oziroma strukturo deli na :

- homogen prometni tok je prometni tok, ki je sestavljen iz ene vrste vozil, kot so: samo osebna vozila, samo tovorna vozila, samo rekreacijska vozila... Tak prometni tok se praktično ne pojavlja.
- nehomogen prometni tok je v principu realni prometni tok in je sestavljen iz dveh ali več različnih kategorij vozil. Stopnja nehomogenosti se izraža v deležu tovornih vozil v prometnem toku. Večja kot je nehomogenost prometnega toka, tem bolj se slabšajo tudi pogoji gibanja v prometnem toku, kar se še posebno pozna na vzponih in padcih ceste. Na delež homogenosti pa tudi vplivajo karakteristike voznikov (vsakodnevni vozniki, turisti, nedeljski vozniki,...).
- pogojno homogen prometni tok v realnosti ne obstaja, ampak je teoretična aproksimacija, kjer se nehomogeni prometni tok pretvori v homogeni prometni tok. Aproksimacija se naredi z upoštevanjem določenih ekvivalentov (E). Velikost ekvivalenta je odvisna od tipa vozil, njegove dolžine, vozno-dinamičnih karakteristik ceste in od praktičnega problema, ki se rešuje. Vrednosti ekvivalenta so v splošnem sledeče: za motocikle $E < 1$, za potniška osebna vozila $E = 1$, tovorna vozila $E > 1$. Pogojno homogen prometni tok se izraža v t.i. enotah osebnih vozil [EOV].

V nadaljevanju bomo uporabili pogojno homogen prometni tok, s čimer bomo tovorna vozila s pomočjo ekvivalentov prevedli na osebna vozila.

2.4 Časovna neenakomernost prometnega toka

Pri opazovanju prometnega toka v realnih pogojih opazimo, da prihaja do časovnih nihanj. Prometni tok je spremenljivka, ki se v odvisnosti od časa spreminja glede na mesece v letu, dneve v tednu, ure v dnevu in tudi znotraj ure (petnajst minutni intervali, deset minutni intervali,...). Ta nihanja so posebno pomembna na tistih cestah, kjer obstaja možnost, da prometni tok preseže kapaciteto! Posledica takega stanja pa so zastoji, oziroma zamaški, ki imajo dolgotrajne posledice v prometu in lahko trajajo tudi nekaj ur. Ceste zadostujejo minimalnim pogojem, če se v konični uri ne pojavijo zastoji. Sezonsko nihanje prometa je pomembno na turističnih cestah, kjer je promet povečan v obdobju sezone.

2.4.1 Sezonska in mesečna nihanja prometa

Sezonska nihanja prometa odražajo socialno in ekonomsko stanje na tistih območjih, ki jih obravnavana cesta povezuje. Za sezonska nihanja je značilno, da:

- so mesečna nihanja prometa na podeželskih cestah močnejša kot na mestnih cestah,
- imajo podeželske ceste večja nihanja zaradi večjega deleža rekreacijskih »turističnih« vozil kot mestne ceste, na katerih imamo več delovnih, poslovnih in drugih voženj,
- se pojavijo predvsem na cestah, ki vodijo do rekreacijskih središč.

Iz teh predpostavk je razvidno, da sezonska nihanja nastanejo predvsem zaradi turističnih voženj in ne zaradi vsakodnevnih in delovnih voženj.

2.4.2 Dnevno nihanje prometa

Dnevno nihanje prometa je odvisno predvsem od tipa ceste, ki jo opazujemo. Na cestah, kjer so večinoma delovne vožnje in vožnje namenjene vsakodnevnim opravkom, je prometna obremenitev v delovnih dneh večja od prometne obremenitve med vikendom. Večje obremenitve med vikendom se zgodijo na rekreacijskih cestah, kjer pride tudi do večjih dnevnih nihanj. Na mestnih cestah prihaja do nihanj prometa glede na tip vozila. Ta pojav se pojavi med vikendom, ko je na cesti manj težkih vozil.

2.4.3 Urno nihanje prometa

Pri analizi prometnega toka je zelo pomembno poznavanje nihanja prometnega toka v manjših časovnih intervalih, kot je ura.

Na cestah se pojavlja jutranja in popoldanska konična ura. Za popoldansko urno konico je večinoma značilno, da je bolj izrazita in bolj uravnotežena kot jutranja. Ob vikendih se pozno dopoldne pojavlja manj izrazita urna konica, ki pa je bolj razpršena.

Na rekreacijskih cestah se pojavi samo ena urna konica, ki je bolj izrazita v sobotah v jutranjih urah ter v nedeljah ob večernih urah.

2.4.4 Konična ura

Prometne analize, analiza kapacitete cest in križišč, posledično planiranje in projektiranje ceste temeljijo predvsem na koničnih urah oziroma na urnih konicah, saj le te predstavljajo najbolj kritični trenutek. Takrat je potreba po servisiranju prometnega toka največja.

Obremenitev v konični uri ni konstantna vrednost, ampak se spreminja iz dneva v dan in iz leta v leto.

Na rekreacijskih cestah se v koničnih urah pojavljajo velika nihanja prometnega toka. Za te ceste velja, da je prometni tok v določenih dneh ekstremno velik, še posebno v koničnih urah, kar pa za preostale dneve v letu ne velja. Na mestnih cestah pa opazamo manjša nihanja prometa, saj je večina uporabnikov teh cest stalna.

3 PARAMETRI PROMETNEGA TOKA

Prometni tok je urejeno gibanje več vozil na prometnici. Ključna razlika med gibanjem vozil v prometnem toku in gibanjem posameznega vozila je, da v prometnem toku obstaja medsebojna odvisnost med posameznimi vozili. Za opisovanje gibanja teh vozil uporabljamo različne parametre.

Najpomembnejši parametri prometnega toka, s katerimi lahko zapišemo osnovne relacije v pogojih idealnega toka, so :

- volumen prometnega toka in pretok vozil,
- gostota prometnega toka ,
- hitrost prometnega toka,
- časovni razmak med vozili v toku,
- potovalni čas,
- razmak med vozili.

3.1 Volumen prometnega toka in pretok vozil

Pretok in volumen prometnega toka sta parametra, ki merita pretok vozil na preseku ceste v določenem časovnem intervalu. Poznamo dve definiciji:

- pretok vozil je vsota vseh vozil, ki prečkajo opazovani prezek ceste v določenem časovnem intervalu, ki je krajši od ene ure. Običajno časovni interval traja 15 minut.
- volumen prometnega toka je prav tako vsota vseh vozil, ki prečka opazovani presek ceste v določenem časovnem intervalu. Volumen je lahko izražen v obdobju manj kot ene ure, dneva, meseca, oziroma leta.

Razlika med volumnom in pretokom je, da je volumen količina vozil, ki prevozi presek v določenem intervalu, pretok pa je večkratnik količine vozil, se zgodi v manjšem časovnem intervalu od ure, pri čemer je večkratnik ekvivalenten enournemu intervalu.

Pretok vozil in volumen sta spremenljivki, ki določata količino vozil, ki prevozijo določeni odsek ceste v določenem časovnem intervalu.

$$q = \frac{N}{T}; \quad (\text{Enačba 1})$$

kjer je:

q = pretok (voz/h)

N = število vozil v prometnem toku

T = čas (h)

Pri analizah prometa je zelo pomembna obravnava urne konice. Tu je treba omeniti tudi faktor urne konice (FUK), ki se nanaša na 15–minutne intervale. Določa se z razmerjem pretoka v konični uri in 4–kratnega 15–minutnega maksimalnega pretoka v konični uri.

Faktor urne konice se izračuna z enačbo:

$$FUK(15') = \frac{q}{4 * q_{15}}; \quad (\text{Enačba 2})$$

kjer je:

FUK = faktor urne konice

q = urni pretok (vozil/h)

q_{15} = 15–minutni maksimalni pretok znotraj konične ure (vozil/15min)

3.2 Gostota prometnega toka

Gostota prometnega toka je število vozil na enoto dolžine prometnice glede na vozni pas. Gostota je prostorsko vezana na odsek ceste, časovno pa na trenutek. Enota za gostoto je število vozil na kilometer (vozil/km), oziroma ekvivalent osebnih vozil na kilometer (eov/km). Direktno merjenje gostote je zelo zahteven postopek in ga običajno izvajamo s pomočjo fotografije, snemanja z video kamero ali opazovanjem posameznega odseka ceste. Gostoto prometnega toka lahko tudi izračunamo s pomočjo povprečne potovalne hitrosti in pretoka vozil. Ti dve količini lažje izmerimo, zato nam je delo olajšano.

Gostota prometnega toka je pomemben parameter za določevanje nemotenega prometnega toka, ker opisuje kvaliteto prometnih operacij, kot so odnos med vozili in prostost manevriranja.

Gostoto prometnega toka izračunamo z naslednjo enačbo:

$$g = \frac{q}{V}; \text{ (Enačba 3)}$$

kjer je:

g = gostota (vozil/km)

q = pretok (vozil/h)

V = povprečna potovalna hitrost (km/h)

Gostoto lahko izračunamo tudi s pomočjo števila vozil na enoto odseka v trenutku opazovanja:

$$g = \frac{N}{L}; \text{ (Enačba 4)}$$

kjer je:

g = gostota (vozil/km)

N = število vozil v prometnem toku

L = dolžina avtocestnega odseka (km)

3.3 Hitrost prometnega toka

Hitrost prometnega toka je, za razliko od hitrosti posameznih vozil, enaka srednji vrednosti hitrosti vseh vozil v opazovanem prometnem toku. Je zelo pomemben parameter prometnega toka, saj se na osnovi hitrosti določa stopnja nivoja uslug za določene tipe cestnih povezav, kot so dvopasovne glavne ceste, mestne ceste,...

V teoriji prometnega toka poznamo dve definiciji za srednjo hitrost, ki pa sta odvisni od načina opazovanja (glede na čas in prostor) pretoka vozil in gostote toka. To sta:

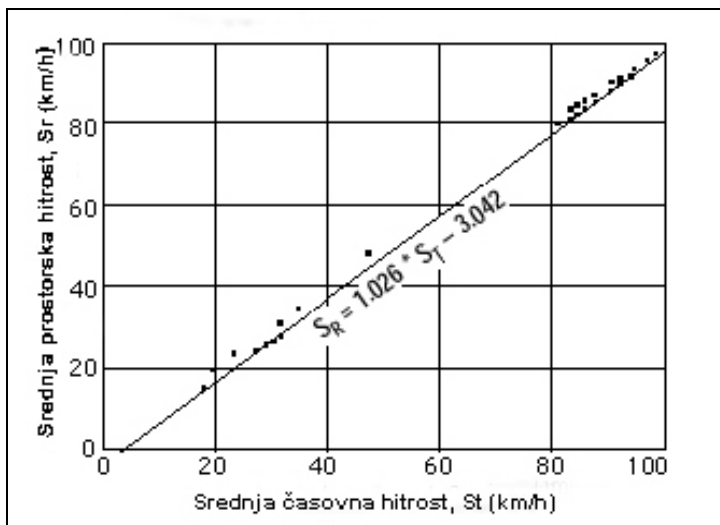
- srednja prostorska hitrost toka
- srednja časovna hitrost toka

Srednja prostorska hitrost toka, ki je analogna gostoti, je prostorsko vezana na odsek ceste, časovno pa na trenutek. Srednja prostorska hitrost prometnega toka predstavlja aritmetično

sredino trenutnih hitrosti vseh vozil v prometnem toku na opazovanem odseku. V literaturi se pojavi tudi izraz srednja trenutna hitrost. Naziv je odvisen od tega, kako imenujemo način opazovanja. Merjenje srednje prostorske hitrosti običajno temelji na trenutnem opazovanju na določenem odseku ceste.

Srednja časovna hitrost toka, ki je analogna pretoku vozil, je prostorsko vezana na presek poti, časovno pa na interval opazovanja. Srednja časovna hitrost prometnega toka predstavlja aritmetično sredino hitrosti vseh vozil v prometnem toku, ki prevozijo opazovani presek ceste v določenem časovnem obdobju. V literaturi se takšno merjenje imenuje tudi lokalno opazovanje.

Srednja časovna hitrost je vedno večja od srednje prostorske hitrosti, kar je tudi razvidno iz sledečega grafikona:



Slika 1: Odnos med srednjo prostorsko in srednjo časovno hitrostjo prometnega toka

V nadaljevanju bomo uporabljali srednjo prostorsko hitrost, ki jo izračunamo tako, da delimo dolžino odseka s povprečnim potovalnim časom vozil, ki prevozijo odsek. Če so izmerjeni potovalni časi $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ (v urah) za n vozil, ki prevozijo odsek dolžine L , se za izračun srednje prostorske hitrosti uporabi naslednja formula:

$$V = \frac{n * L}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_a}; \text{ (Enačba 5)}$$

kjer je:

V = povprečna potovalna hitrost (km/h)

L = dolžina avtocestnega odseka (km)

t_i = potovalni čas i -tega vozila (h)

n = število časovnih intervalov

t_a = povprečni potovalni čas na odseku dolžine L (h)

V potovalnem času so vključene tudi zamude, ki nastanejo zaradi motenj prometnega toka in prometnih zastojev.

Velikost hitrosti prometnega toka je različna glede na pogoje odvijanja prometa in stopnjo medsebojnega vpliva vozil. Glede na te pogoje pa srednja prostorska hitrost dobi nova poimenovanja, ki so poznana v praksi:

- hitrost prostega prometnega toka,
- hitrost normalnega prometnega toka,
- hitrost zasičenega prometnega toka – hitrost pri doseženi kapaciteti,
- hitrost prisiljenega prometnega toka.

Hitrost prostega prometnega toka

Hitrost prostega prometnega toka je hitrost vozil pri majhnem pretoku (do 1400 vozil/uro/pas) in majhni gostoti prometa. Značilno za ta prometni tok je, da se vozila gibljejo v identičnih ali zelo podobnih pogojih, ki veljajo za gibanje posameznih vozil na opazovanem odseku ceste.

Hitrost normalnega prometnega toka

Pojem hitrosti normalnega toka je vezan na stabilen, pol stabilen in nestabilen prometni tok, v katerem na pogoje gibanja deluje tudi medsebojni vpliv vozil v toku.

Hitrost nasičenega prometnega toka

Pojem hitrosti nasičenega toka je vezan na nasičen prometni tok, v katerem se vsa vozila gibljejo s polnim ali skoraj polnim medsebojnim vplivom med vozili v toku. Pri pogojih nasičenega toka se vsa vozila gibljejo s približno enako hitrostjo, kar pomeni, da ni nobene bistvene razlike med srednjo prostorsko in srednjo časovno hitrostjo prometnega toka.

Hitrost prisiljenega prometnega toka

Pojem hitrosti prisiljenega toka je vezan na t.i. prisiljeni prometni tok. Vozila se v tem primeru gibljejo z enako hitrostjo, ki se giblje med hitrostjo nasičenega toka in nič. Izračun nivoja uslug temelji na gostoti, ki je količnik med pretokom in hitrostjo prometnega toka, zato je hitrost zelo pomemben parameter pri izračunu nivoja uslug.

Hitrost vozil na cesti je vozno-dinamičen parameter, s katerim se določajo velikosti geometrijskih elementov cestne osi v tlorisu in podolžnem profilu in tehnični elementi, ki vplivajo na prometno varno vožnjo. Hitrosti, za katere se projektira posamezno cesto, so odvisne od sprejemljivih potovalnih časov na cestah posamezne kategorije in od prostorskih ter okoljskih pogojev, v katerih cesta poteka. Pri načrtovanju cest ločimo in uporabljamo različne vrste hitrosti. To so:

- dovoljena hitrost,
- potovalna hitrost (V_{pot}),
- zasnovana hitrost (V_{zasn}),
- projektna hitrost (V_{proj} ali $V_{85\%}$).

Dovoljena hitrost

Dovoljena hitrost je najvišja vozna hitrost, ki je z Zakonom o varnosti v cestnem prometu Ž(Ur.l.RS, 30/98) dovoljena na cestah posamezne kategorije in v določenem prostoru.

Potovalna hitrost

Potovalna hitrost je povprečna vozna hitrost, ki jo vozila dosežajo na posamezni cesti. V odvisnosti od sprejemljivih časov je le ta določena kot planerska količina za posamezno

kategorijo cest in je hitrost, s katero naj obratujejo vozila na posamezni cesti ob koncu planske dobe.

Zasnovalna hitrost

Je računaska hitrost, ki je za posamezno kategorijo ceste opredeljena glede na njeno prometno funkcijo in glede na pogoje prostora, po katerem poteka cesta. Je izhodiščna računaska hitrost, s katero se določajo mejni geometrijski elementi projektirane ceste, preglednost na cesti in tehnični elementi za zagotavljanje prometne varnosti. Za vsako kategorijo ceste so v preglednici 1 navedene možne zasnovalne hitrosti, med katerimi je treba izbrati tisto največjo, ki je še sprejemljiva za razmere v prostoru, skozi katerega poteka cesta.

Preglednica 1: Osnovne prometne in vozno dinamične značilnosti ceste glede na kategorijo ceste

Tehnična skupina	Značilne kvalitete za zasnovanje cest					
	Vrsta prometa	V_{dov}^1 [km/h]	V_{pot} [km/h]	Vozišče	Križišča ²	Možna zasnovalna hitrost ^{3,4} [km/h]
Izven naselij						
A	motorni	130	80-100	smerno ločen	večnivojsko	130 120 110 100 90 80 70 60
	motorni	90	60-80	dvosmerno	večnivojsko	90 80
B	motorni	100	70-90	smerno ločen	večnivojsko	110 100 90 80
	mešani	90	50-70	dvosmerno	nivojsko	90 80 70 60
B	mešani	100	60-80	smerno ločen	nivojsko	90 80 70 60
	mešani	90	50-70	dvosmerno	nivojsko	90 80 70 60 50 40
B, C	turistični	70	specif.	dvosmerno	nivojsko opr.	70 60 50 40
B	mešani	70	40-60	dvosmerno	nivojsko opr.	70 60 50 40
C	krajevni	70	-	dvosmerno	nivojsko	60 50 40
D	dovoz	50	-	dvosmerno	nivojsko	ni opredeljena
V naseljih						
A	motorni	100	60-90	smerno ločen	večnivojsko	100 90 80
	motorni	90	50-70	dvosmerno	večnivojsko	90 80 70 60 50
B	motorni	80	50-60	smerno ločen	nivojsko	80 70 60
	mešani	70	40-50	dvosmerno	nivojsko	70 60 50 40
C	mešani	50	-	dvosmerno	nivojsko opr.	50 40
D	mešani	50	-	dvosmerno	nivojsko	ni opredeljena
	dovoz	30	-	dvosmerno	nivojsko	ni opredeljena
	dovoz	korak	-	-	-	ni opredeljena

Legenda:

- ¹ izbor glede na razdalje med centri prometnega potenciala
- ² tip križišča je treba izbrati glede na prometni volumen
- ³ izbira glede na prostorske pogoje in kontinuiranost
- ⁴ manjše V_{zasn} izbrati le tam, kjer vtis okolja nedvoumno vpliva na voznika in omejitev obvezno označiti z dopolnilno tablo »ob dežju«

Projektna hitrost (V_{proj} ali $V_{85\%}$)

Je vozna hitrost vozila v prostem prometnem toku na čistem in mokrem vozišču, imenovana tudi $V_{85\%}$, ki jo omogočajo geometrijski in tehnični elementi projektirane ali obstoječe ceste in se uporablja kot računsko hitrost za analize varnosti prometa ter korekcijo posameznih tehničnih elementov ceste. Najvišja projektna hitrost na posamezni cesti je enaka V_{dov} .

3.4 Časovni razmak med avtomobili

Časovni razmak med vozili predstavlja čas med prehodi sprednjega roba dveh zaporednih vozil preko namišljenega preseka na opazovanem odseku ceste. V prometnem toku ima časovni razmak med vozili široko razporeditev vrednosti, predvsem v odvisnosti od hitrosti prometnega toka.

V realnem prometnem toku ločimo glede na način opazovanja toka v prostoru in času:

- posamezne časovne intervale za N vozili, ki v časovnem intervalu T prevozijo opazovani odsek ceste,
- srednjo vrednost časovnega razmaka (intervala) med N vozil v prometnem toku v časovnem intervalu T ,
- časovni razmak med vozili na odseku ceste kot aritmetična sredina srednjih vrednosti časovnih razmakov na m opazovanih presekih ceste v času T .

Časovni razmak na odseku predstavlja aritmetično sredino časovnih razmakov med zaporednimi vozili v opazovanem prometnem toku na n -presekih opazovanega odseka.

Časovni razmak med vozili na preseku opazovanega odseka ceste predstavlja razliko časovnih prehodov prednjih delov zaporednih vozil preko namišljenega preseka.

Časovni razmak je mikroskopska lastnost prometnega toka, saj se nanaša na dve sledeči si vozili znotraj prometnega toka. Ta lastnost pa je odvisna od makroskopskih parametrov, kot sta gostota in pretok, zato ima tudi časovni razmak med vozili velik pomen pri opisovanju pogojev odvijanja prometa in nam služi kot pokazatelj kvalitete prometnega toka.

3.5 Razmak med vozili

Razmak med vozili pri sledenju predstavlja razdaljo med prednjimi robovi zaporedno vozečih vozil v prometnem toku. Razmak med vozili je, tako kot časovni razmak med vozili, tudi mikroskopska lastnost prometnega toka.

V pogledu realnih pogojev v prometnem toku na odseku ceste predstavlja razmak med vozili srednjo vrednost vseh razmakov med sledečimi vozili v opazovanem prometnem toku na odseku ceste.

Imamo možnost različnega opazovanja razmaka med vozili, zato ločimo:

- konkretno razdaljo med posameznimi vozili v prometnem toku, ki so v opazovanem trenutku na opazovanem odseku ceste,
- srednjo vrednost trenutnih razmakov med vozili v prometnem toku, ki so v opazovanem trenutku na opazovanem odseku ceste,
- aritmetično sredino m-srednjih trenutnih razmakov, ugotovljenih na opazovanem odseku v časovnem intervalu T.

Osnovna enota za opisovanje razmaka med vozili je meter. Razmak med vozili je kot osnovni parameter prometnega toka pomemben za razumevanje in opisovanje medsebojne odvisnosti med vozili v prometnem toku.

3.6 Potovalni čas

Potovalni čas, kot parameter prometnega toka, predstavlja srednjo vrednost potovalnega časa vseh vozil opazovanega prometnega toka preko določenega odseka ceste. Zapišemo ga lahko z naslednjo formulo:

$$\bar{t} = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q t_i ; \text{ (Enačba 6)}$$

kjer je:

\bar{t} = srednja vrednost potovalnega časa vseh vozil v opazovanem prometnem toku q prek opazovanega odseka ceste

t_i = potovalni čas posameznih vozil v določenem prometnem toku q preko opazovanega odseka ceste

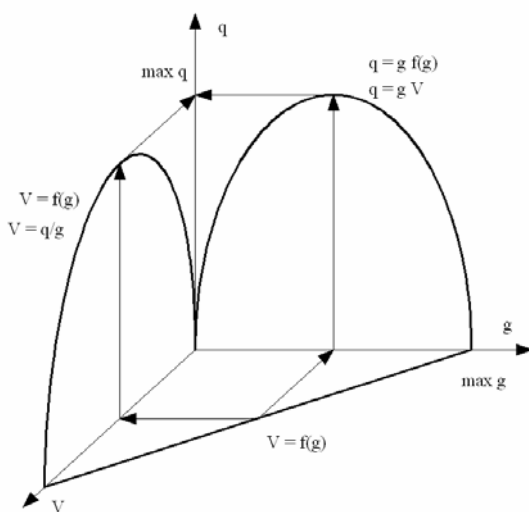
q = opazovani prometni tok na določenem odseku ceste

Osnovna enota za opisovanje potovalnega časa prometnega toka je minuta, lahko pa uporabljamo tudi sekunde ali ure.

3.7 Medsebojna odvisnost med hitrostjo, gostoto in pretokom vozil

Pod pojmom teoretične odvisnosti med osnovnimi parametri prometnega toka razumemo odvisnosti, ki veljajo v idealnem prometnem toku. Idealni prometni tok je isto smiselni tok vozil v enem nizu, ki se gibljejo v eni smeri. Sestavljajo ga samo osebna vozila.

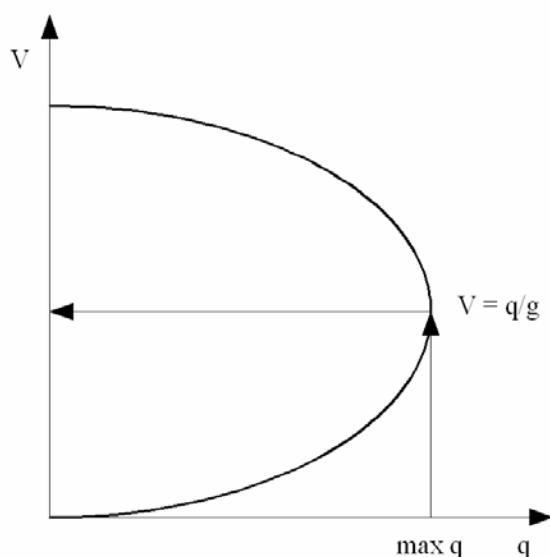
Medsebojno odvisnost posameznih parametrov prometnega toka predstavlja slika 2. Razvidno je, da je maksimalni pretok vozil na cesti mogoč samo pri določeni vrednosti hitrosti gibanja vozil in gostote prometnega toka. Za navedene pogoje je maksimalni pretok vozil enak prepustnosti ceste.



Slika 2: Medsebojna odvisnost pretoka, hitrosti in gostote

Relacija hitrost – pretok vozil

Osnovna zveza med hitrostjo in pretokom vozil (slika 3) pri neoviranem prometnem toku je, da z naraščanjem pretoka srednja prostorska hitrost upada, vse dokler ne doseže kritične gostote, nato pa upadata tako hitrost kot tudi pretok.



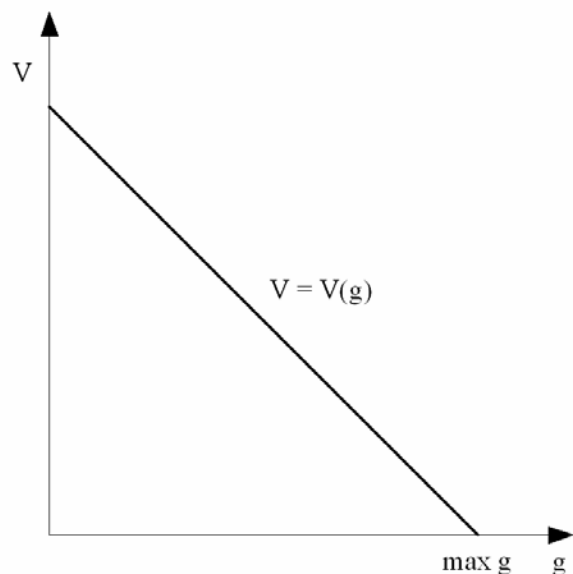
Slika 3: Odnos hitrost - pretok

Odnos hitrost – gostota

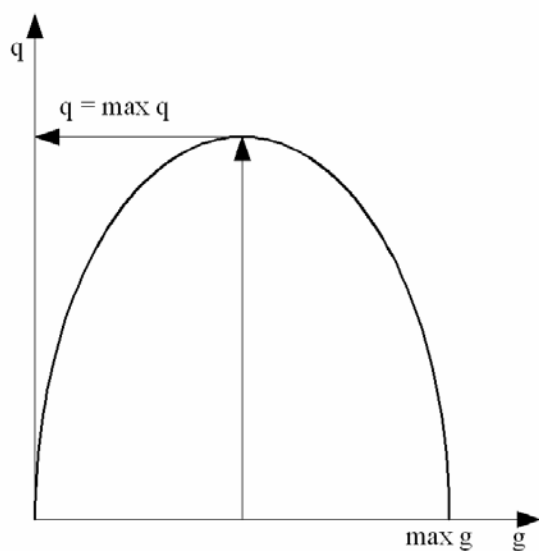
Za neoviran pretok velja, da hitrost z naraščanjem gostote in pretoka upada (slika 4). Čeprav se hitrost in pretok vozil zmanjšujeta, pa gostota še naprej narašča tudi po tem, ko je že dosežena optimalna gostota, in sicer vse dokler ne pride do zastoja.

Odnos pretok – gostota

Osnovni odnos med gostoto in pretokom je, da hkrati z naraščanjem gostote narašča tudi pretok vozil, vendar le dokler ni dosežena optimalna gostota (slika 5). Ko je ta vrednost dosežena, začne pretok upadati, čeprav gostota še vedno narašča. Ko gostota doseže svojo maksimalno vrednost, pride do zastoja. Maksimalna gostota pri pogojih idealnega prometnega toka je takrat, ko je razdalja med vozili enaka dolžini posameznega vozila in varnostni razdalji med voziloma. Razdalja med vozili je definirana kot razdalja med prednjim odbijačem prvega vozila in prednjim odbijačem drugega vozila.



Slika 4: Odnos hitrost - gostota



Slika 5: Odnos pretok - gostota

Enostavni modeli prometnih tokov so sestavljeni iz kontinuitetne enačbe in enačbe stanja. Skupaj z bazično enačbo prometnega toka, kjer je pretok enak produktu gostote in hitrosti, lahko v vsakem trenutku določimo hitrost, gostoto in pretok kjerkoli vzdolž ceste. S poznavanjem teh treh bazičnih spremenljivk v prometu poznamo stanje prometnega sistema in lahko izpeljemo spremenljivke kot so zamude, zaustavitve, potovalni čas in druge, ki kažejo na sposobnost opazovanega prometnega sistema.

4 KAPACITETA IN NIVOJI USLUG

4.1 Definicija pojmov

4.1.1 Kapaciteta

Kapaciteta je definirana kot maksimalno število vozil, ki v dani časovni enoti, pri prevladujočih cestnih in prometnih pogojih, prevozijo cestni prerez v obeh smereh pri dvo ali tri pasovni cesti ali v eni smeri pri večpasovni avtocesti. Kapaciteto se računa za prevladujoče pogoje ob upoštevanju lepega vremena, kvalitetne voziščne konstrukcije in odsotnosti prometnih nesreč. Če vzdolž opazovanega odseka prometni ali cestni pogoji nihajo, se upošteva prerez z najslabšimi pogoji, ker ta običajno določa nivo uslug za celoten odsek. Lastnosti prometnega toka in struktura prometa naj bi bili znotraj odseka, ki ga opazujemo, kar se le da homogeni, saj vsaka sprememba teh parametrov povzroči spremembo kapacitete. Kapaciteto navadno označujemo z ekvivalentom osebnih vozil na uro (EOV/h).

Dvopasovne ceste v mestnih in nemestnih območjih imajo drugačne karakteristike od avtocest in večpasovnih mestnih cest. Tukaj upoštevamo, da nasproti vozeča vozila vplivajo na prometni tok gortočno.

Osnova za določevanje kapacitete je neka sprejemljiva (logična) verjetnost ponavljanja stopnje prometnega toka tekom urnih konic. Kapaciteta ni enaka maksimalnemu pretoku na določeni točki v določenem časovnem intervalu.

4.1.2 Povpraševanje

Povpraševanje je definirano kot število uporabnikov, ki bi radi uporabili prometnico in ga ponavadi označimo s številom vozil na uro (voz/h). Povpraševanje je odvisno od števila prihajajočih vozil. Če ni kolone, je povpraševanje enako prometnemu volumnu na določenem odseku prometnice.

4.1.3 Kvaliteta in nivoji uslug

Kvaliteta usluge zahteva kvantitativna merjenja za označitev voznih pogojev znotraj prometnega toka.

Nivoji uslug pa so kvalitativno merilo, ki opisuje vozne pogoje znotraj prometnega toka v smislu različnih merenj, kot so hitrost, potovalni čas, svoboda manevriranja, motnje toka in udobnost. Definiranih je šest nivojev uslug, od A do F, pri čemer nivo usluge A predstavlja najboljše vozne pogoje, nivo usluge F pa najslabše vozne pogoje. Vsak nivo predstavlja skupek voznih pogojev in voznikovo odzivanje na posamezno stanje. Varnost ni vključena v meritve, ki določujejo posamezne razrede.

Po metodi HCM se prometni tok deli na šest nivojev uslug:

- nivo usluge A: Svobodni prometni tok z velikimi hitrostmi, majhno gostoto prometa in popolno svobodo manevriranja. Vozniki lahko ohranjajo zeleno hitrost z malo ali pa nič zamudami.
- nivo usluge B: Svobodni prometni tok s hitrostmi, ki so le delno omejene z gostoto prometa. Vozniki imajo še vedno izbiro vozne hitrosti, zmanjšanje hitrosti je majhno.
- nivo usluge C: Stabilen prometni tok, vendar sta tako hitrost kot zmožnost manevriranja omejena s povečanim številom vozil.
- nivo usluge D: Stanje v prometnem toku se približuje nestabilnemu toku z bistveno omejenimi hitrostmi in majhno možnostjo manevriranja.
- nivo usluge E: Stanje v prometnem toku je nestabilno zaradi vožnje v koloni, kjer je velika gostota prometa in kjer je pretok vozil enak prepustnosti. Maksimalni pretok pri nivoju E je enak kapaciteti.
- nivo usluge F: V ekstremnih primerih lahko tako hitrost kot tudi pretok dosežeta vrednost nič.

V praksi uporabljamo pri načrtovanju nivo uslug C ali D.

4.2 Faktorji, ki vplivajo na kapaciteto in nivoje uslug

4.2.1 Osnovni pogoji

Osnovni pogoji za dvopasovne ceste predstavljajo odsotnost restriktivnih geometrijskih, prometnih ali okoljskih dejavnikov, kar pomeni, da med osnovne pogoje štejemo ugodne

vremenske razmere, dobre lastnosti voziščne konstrukcije, uporabnike, seznanjene s cestnim odsekom in predvidevanje, da ni nobenih motenj, ki bi ovirale prometni tok.

Navedeni so osnovni pogoji za neoviran prometni tok:

- širina voznega pasu je enaka ali večja od 3.6 m,
- oddaljenost stranskih ovir je enaka ali večja od 1.8 m,
- prehitevanje je dovoljeno vzdolž celotnega odseka,
- v prometni tok so vključena samo osebna vozila,
- promet ni oviran s strani zavijalcev ali svetlobno signalnih naprav ,
- teren je ravninski,
- porazdelitev prometa po smereh zanaša 50% / 50%.

4.3 Lastnosti cestišča

Lastnosti cestišča so odvisne od geometrijskih in ostalih elementov. V nekaterih primerih lastnosti cestišča vplivajo na kapaciteto ceste, v nekaterih primerih pa vplivajo na hitrost, na kapaciteto pa ne.

Lastnosti cestišča so:

- število voznih pasov: Ponavadi je število voznih pasov po smereh enako, pri čemer se posamezni pas koristi tudi za prehitevanje v nasprotno smer.
- širina voznega pasu: Kot idealna širina voznega pasu je bila ugotovljena širina 3,6 m. Manjše širine voznega pasu vplivajo na zmanjšanje hitrosti vožnje, na zmanjšanje nivoja uslug ter prepustnosti ceste in povzročajo, da vozila zapuščajo vozni pas.
- bankine: Utrjena bankina, široka vsaj 1,2 m, povečuje prometno širino skrajnega desnega prometnega pasu, širokega manj kot 3,6 m, za 0,3 m. V primeru, da so bankine dovolj široke, imajo vozila možnost, da se na njih ustavijo, v nasprotnem primeru pa le te zmanjšujejo prepustnost skrajnega voznega pasu in vseh voznih pasov istega smernega vozišča.
- posebni prometni pasovi: So prav tako del vozišča, le da služijo posebnim namenom. To so pospeševalni in zaviralni pasovi, pasovi za parkiranje vozil in pasovi za počasna vozila.

- kvaliteta vozne površine: Nedvomno vpliva na hitrost vožnje in prepustnost ceste, vendar še ni objektivnih numeričnih faktorjev, s katerimi bi zajeli ta vpliv na prepustnost ceste.
- projektni elementi ceste: Imajo največji vpliv na nivo uslug in prepustnost ceste. Kvaliteto teh elementov nam podaja vrednost projektne hitrosti.
- elementi vzdolžnega profila (dodatni vozni pasovi na vzponu): Za počasni promet imajo nalogo zagotoviti tudi na vzponih enak nivo uslug kot na ravnem delu ceste. V praksi se ne določa nivoja uslug za ceste z dodatnimi voznimi pasovi, temveč se na odsekih v vzponu ugotavlja, ali se morda nivo uslug ni zmanjšal, in če se je, se doda dodatne vozne pasove za počasni promet.

Horizontalni in vertikalni potek trase je odvisen od zasnovalne hitrosti in topografije terena, po katerem bo cesta speljana. V splošnem raznolikost terena zmanjša kapaciteto.

4.3.1 Lastnosti prometa

Lastnosti prometa, ki vplivajo na kapaciteto in nivoje uslug, so tipi vozil in distribucija vozil po pasovih oziroma smereh.

Tipi vozil

Vstop težkih tovornih vozil (vozila, ki niso osebna vozila, kamor štejemo tudi manjše tovornjake in kombije) v prometni tok vpliva na število vozil, ki jim lahko strežemo. Težka tovorna vozila so vsa vozila, ki imajo več kot dve osi.

Vozila, ki spadajo med težka tovorna vozila, so: kamioni, avtobusi, in t.i. rekreacijska vozila (kamperji, avtodomi).

Tovorna vozila vplivajo na promet v sledečih primerih:

- so večja kot osebna vozila in zavzemajo več prostora,
- imajo slabše vozne lastnosti kot osebna vozila, kar se pozna predvsem pri pospeševanju, zaviranju in vzdrževanju enakomerne hitrosti na vzponih.

Slednji primer je veliko bolj kritičen. Tovorna vozila ne morejo vzdrževati tempa osebnih vozil, zato ustvarjajo velike vrzeli v prometnem toku. Posledica tega je, da ne more biti zapolnjen ves odsek ceste. Pojav je opazen predvsem na vzponih, vendar do tega pojava pride tudi pri spustih, saj morajo tovorna vozila obratovati pri nižjih hitrostih, kar spet ustvarja praznine med vozili. Na posameznih cestah predstavljajo tovorna vozila velik del prometnega toka in tako so vozni pogoji zelo odvisni od obtežitve tovornih vozil in moči motorja.

Distribucija vozil po smereh

Distribucija vozil po smereh ima največji vpliv pri dvopasovnih cestah, kjer je najbolj ugodna enakomerna porazdelitev prometa po smereh. Običajna distribucija prometa na krajinskih cestah znaša 50/50 do 70/30, na turističnih cestah pa 80/20, kar je še posebej očitno v sezonskih konicah. Pri določevanju kapacitete večpasovnih cest je merodajna ena smer vožnje, vendar je potrebno pri tem upoštevati, da imamo ponavadi prometno konico v eni smeri ob drugem času kot v drugi smeri.

5 KATEGORIZACIJA JAVNIH CEST

Cesta je tista, ki omogoča dostopnost področja, njegovo dosegljivost, razvoj. Če ceste ni, je tako področje odmaknjeno in manj zanimivo, tako lokalnemu prebivalstvu kot obiskovalcem. Slaba cestna povezava ali celo pomanjkanje cest povzroča selitve lokalnega prebivalstva v bližja mesta, kjer so jim delovna mesta lažje dosegljiva.

Cestne sestavine je potrebno čim bolj prilagoditi dejanskim prometnim in družbeno-gospodarskim potrebam. To je mogoče z razvrščanjem cest v kategorije. Kategorija predstavlja osnovo za določanje dimenzij in opremljenosti ter zunanjšega izgleda posamezne ceste.

Kategorizacija javnih cest je bila narejena na podlagi Uredbe o merilih za kategorizacijo javnih cest (Uradni list RS, št.49/97).

5.1 Upravna kategorizacija cest

Kategorije javnih cest so naslednje:

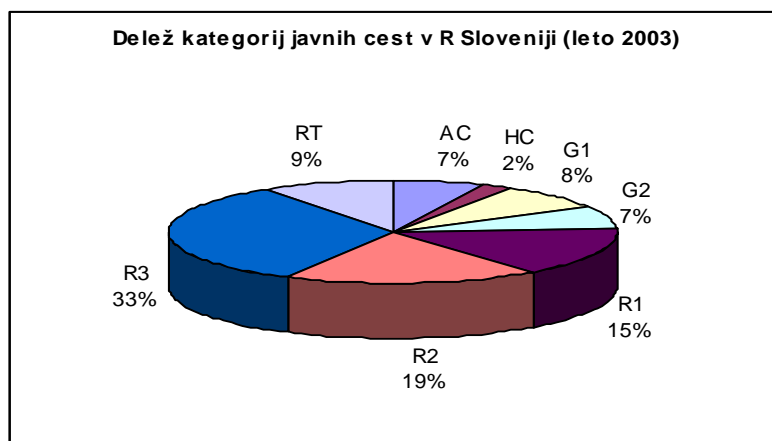
- **AC**: Avtoceste so državne ceste, namenjene daljinskemu prometu motornih vozil in so sestavni del avtocestnih povezav s sosednjimi državami.
- **HC**: Hitre ceste so državne ceste, rezervirane za promet motornih vozil, ki s svojimi prometno-tehničnimi elementi omogočajo hitro odvijanje daljinskega prometa med najpomembnejšimi središči regionalnega pomena, navezujejo pa se na avtoceste v državi in na cestni sistem sosednjih držav.
- **G1**: Glavne ceste I. reda so državne ceste, namenjene prometnemu povezovanju med najpomembnejšimi središči regionalnega pomena; navezujejo se na ceste enake ali višje kategorije v državi in na cestni sistem sosednjih držav.
- **G2**: Glavne ceste II. reda so državne ceste, namenjene prometnemu povezovanju med središči regionalnega pomena in navezovanju prometa na državne ceste enake ali višje kategorije.

- **R1**: Regionalne ceste I. reda so državne ceste, namenjene prometnemu povezovanju pomembnejših središč lokalnih skupnosti in navezovanju prometa na državne ceste enake ali višje kategorije.
- **R2**: Regionalne ceste II. reda so državne ceste, namenjene prometnemu povezovanju središč lokalnih skupnosti in navezovanju prometa na državne ceste enake ali višje kategorije.
- **R3**: Regionalne ceste III. reda so državne ceste, namenjene prometnemu povezovanju središč lokalnih skupnosti, za državo pomembnih turističnih in obmejnih območij ter mejnih prehodov z državnimi cestami enake ali višje kategorije, kadar po predpisanih merilih za kategorizacijo ne dosežejo višje kategorije.

Zakon o javnih cestah in Uredba o merilih za kategorizacijo javnih cest določata razdelitev cest glede na funkcionalno in prostorsko klasifikacijo, kot je navedeno v Preglednici 2.

Preglednica 2: Uradne kategorije in podkategorije cest

Državne ceste izven naselij	Občinske ceste	
	izven naselij	v naseljih (ulični sistem)
AC avtocesta		
HC hitra cesta		LH hitra mestna cesta
G1 glavna cesta I. reda		LG glavna mestna cesta
G2 glavna cesta II. reda		
R1 regionalna cesta I. reda		LM mestna magistrala
R2 regionalna cesta II. reda	LC lokalna cesta	LZ zbirna mestna ali krajevna cesta
R3 regionalna cesta III. reda		LK mestna ali krajevna cesta
RT regionalna cesta III. reda (turistična cesta)	JP javna pot	JP javna pot
KP kolesarska pot	KP kolesarska pot	KP kolesarska pot



Grafikon 1: Delež kategorij javnih cest v R Sloveniji 2003

5.2 Tehnična razvrstitev

Tehnična razvrstitev v štiri skupine temelji na osnovi uporabnikov cest, vozno dinamičnih pogojev, ekonomike, prometne obremenitve in varnosti prometa. V posamezni tehnični skupini cest se za dimenzioniranje geometrijskih in tehničnih elementov ceste uporabljajo različne stopnje zahtevnosti voznikov. Uvrstitev posameznih kategorij cest v tehnične skupine je prikazana v preglednici 3.

Preglednica 3: Tehnična razvrstitev cest

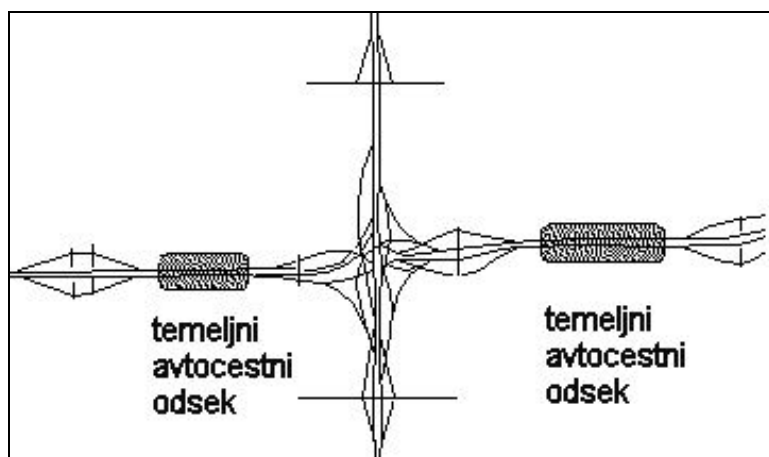
Tehnična skupina	Kategorija ceste	Način dimenzioniranja
A	AC, HC, G1, LH	voznodinamični
B	G2, R1, R2, LG	voznodinamični
C	R3, RT, LC, LM, LZ	voznodinamični
D	LK, JP, ostale ceste, ne kategorizirane ceste	zagotavljanje prevoznosti

6 LASTNOSTI TEMELJNEGA ODSEKA VEČPASOVNIH CEST

Pod kategorijo večpasovnih cest spadajo avtoceste in štiri pasovne hitre ceste. Torej, to je hitra cesta z več kot enim pasom za vsako smer in ločenim smernim voziščem. Dostop na cesto in z nje je mogoč samo na uvoznih in izvoznih rampah, uporablja pa se izključno za motorni promet. Prav tako ni nobenih signaliziranih križišč in nivojskih križanj, nasprotnosmerni promet pa je ločen s fizično prepreko.

Večpasovna cesta zagotavlja neprekinjen prometni tok, sami operativni pogoji pa so odvisni od interakcij med vozili in vozniki v prometnem toku, od geometrijskega poteka trase in od naravnih razmer, kot so svetlost, vremenski vplivi in stanje vozišča.

Temeljni avtocestni odsek je izven območij uvoznih in izvoznih ramp ter izven območij prepletanja.



Slika 6: Temeljni večpasovni odsek

6.1 Osnovne lastnosti večpasovnega odseka

Osnovne lastnosti temeljnega avtocestnega odseka, pri katerem je dosežena polna kapaciteta, so ugodne vremenske razmere, dobra vidljivost in da ni nesreč. Če katera od naštetih lastnosti ni izpolnjena, se hitrost, nivo usluge in kapaciteta na osnovnem večpasovnem odseku temu ustrezno zmanjšajo. Ostale osnovne lastnosti večpasovnega odseka so navedene v nadaljevanju:

- minimalna širina pasu 3.6 m,
- minimalna bočna oddaljenost med robom krajne talne označbe in najbližjim objektom mora znašati 1.8 m,
- minimalna razdalja med pasovoma z ločenim smernim prometom mora biti 0.6 m,
- prometni tok sestavljen izključno iz osebnih vozil,
- razdalja med priključnimi rampami najmanj 3 km (v mestnem območju najmanj 1 km),
- raven teren z maksimalnim vzponom 2%,
- stalni udeleženci v prometu (udeleženci ki stalno uporabljajo določen odsek).

Te osnovne lastnosti avtocestnega odseka predstavljajo zmožnost doseganja prostega prometnega toka hitrosti 110 km/h ali več.

6.2 Faktorji, ki vplivajo na hitrost prostega prometnega toka

6.2.1 Širina pasu in bočne ovire

Kjer se pojavi širina pasu manjša od 3.6 m, so vozniki prisiljeni potovati bližje drug drugemu, kar kompenzirajo z zmanjšanjem hitrosti.

Podobno se dogaja z bočnimi ovirami. Če so bočne ovire postavljene preblizu vozišča, se vozniki umaknejo proti sredini vozišča, kar spet vodi k zmanjšanju hitrosti. Pri tem so bolj kritične ovire desno od bankine, ki morajo biti oddaljene minimalno 1.8 m, da ne vplivajo na zmanjšanje hitrosti, medtem ko ovire v sredinskem območju niso tako moteče in so lahko 0.6 m od vozišča.

6.2.2 Število pasov

Število pasov na osnovnem večpasovnem odseku vpliva na hitrost prostega prometnega toka. Večje ko je število pasov, lažje voznik izbere svojo pot in se izogne počasi vozečemu prometu. Na tipičnem večpasovnem odseku je promet razdeljen po pasovih glede na hitrosti. Bližje sredinskemu pasu dosega prometni tok večje hitrosti, medtem ko se hitrosti proti bankini zmanjšujejo.

6.2.3 Gostota priključnih ramp

Značilno je, da se v urbanih področjih priključne rampe pojavljajo bolj na gosto, prihaja do prepletanja, kar posledično vodi k zmanjšanju hitrosti prostega prometnega toka. Idealna razdalja med posameznimi priključki je 3 km ali več, minimalna razdalja med njimi pa je 1 km.

6.2.4 Ostali faktorji

Tukaj je mišljen predvsem horizontalni in vertikalni potek trase, pri čemer odseki z zahtevnejšimi horizontalnimi ali vertikalnimi elementi vplivajo na hitrost prostega prometnega toka.

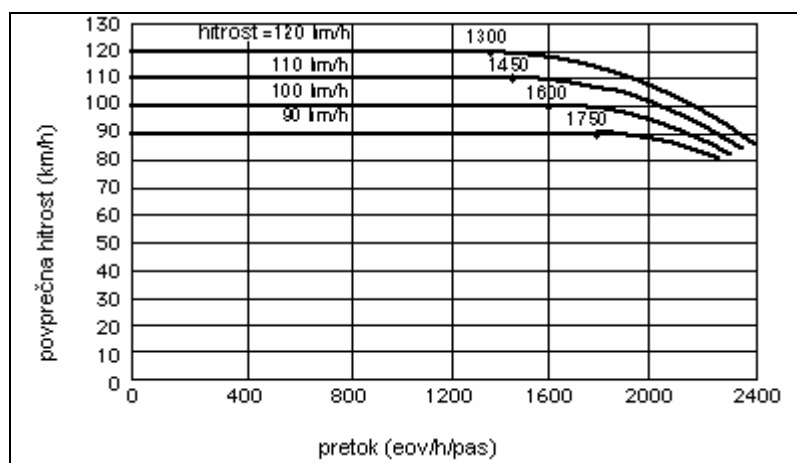
6.3 Karakteristike prometnega toka na večpasovnih cestah

Prometni tok na osnovnem večpasovnem odseku je v povezavi z razmerami, ki se dogajajo gortočno in doltočno od opazovanega odseka. Tu so mišljeni predvsem zastoji. Do zastoja lahko pride zaradi priključne rampe, zmanjšanja števila pasov, prepletanja več tokov, vzdrževalnih del, nesreč ali objektov na cesti. Prometni tok na osnovnem večpasovnem odseku lahko razdelimo v tri skupine, pri katerih vsaka predstavlja odvisnost med hitrostjo, tokom in gostoto:

- nezasičen tok je prometni tok, na katerega ne vplivajo gortočne in doltočne razmere
- razpuščena kolona predstavlja prometni tok, ki je ravno prišel iz območja kolone in pospešuje nazaj proti prostemu prometnemu toku
- nasičen tok je prometni tok, na katerega vpliva doltočno ležeči zastoj

Diagram hitrost–pretok in gostota–pretok

Na naslednjih dveh diagramih sta prikazana odnosa hitrost–pretok in gostota–pretok za osnovni večpasovni odsek, pri čemer je znana hitrost prostega prometnega toka.

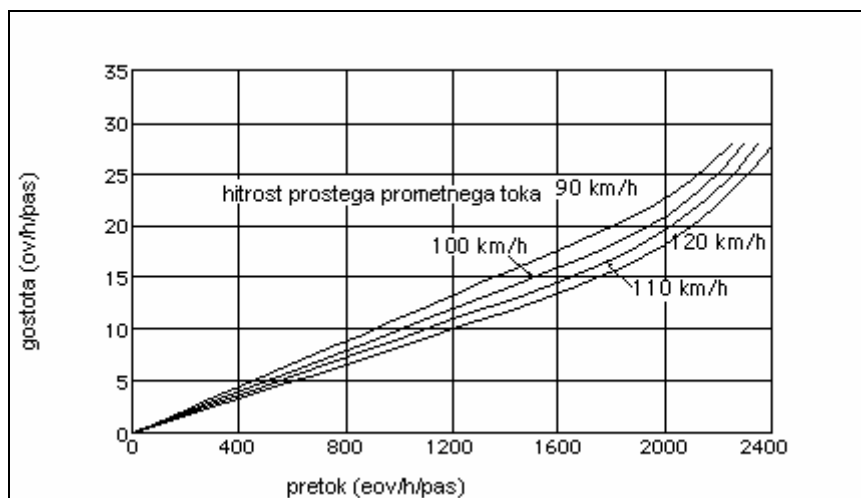


Slika 7: Odnos hitrost–pretok za osnovni večpasovni odsek (HCM2000)

Vse dosedanje raziskave potrjujejo, da je hitrost na večpasovnih cestah neodvisna od pretoka vse do vrednosti prometnega toka približno 1300 eov/h/pas za hitrost 120 km/h. Za manjše hitrosti pa je hitrost neodvisna od pretoka še do nekoliko večje vrednosti. Za vse vmesne vrednosti hitrosti med 90 in 120 km/h lahko uporabimo linearno interpolacijo.

Raziskave, ki so pripeljale do zgornjih krivulj pravijo da na hitrost prostega prometnega toka vpliva več faktorjev: število pasov, širina pasu in razdalja med priključnimi rampami. Obstajajo pa še drugi faktorji, o katerih pa je bolj malo znanega, kot so horizontalni in vertikalni potek trase, omejitve hitrosti, osvetljenost in vremenske razmere.

Pod osnovnimi geometrijskimi pogoji in osnovnimi pogoji prometnega toka, lahko večpasovna cesta deluje pri kapaciteti tja do 2400 eov/h/pas, pri čemer je ta kapaciteta dosežena pri hitrostih 120 km/h ali več. Z zmanjšanjem hitrosti prostega prometnega toka pride do znatnega zmanjšanja kapacitete. Na primer, kapaciteta temeljnega večpasovnega odseka s hitrostjo prostega prometnega toka 90 km/h je približno 2250 eov/h/pas. Opaženo je tudi, da večja ko je hitrost prostega prometnega toka, večji je padec v hitrosti, ko se pretok približuje kapaciteti. Pri hitrosti prostega prometnega toka 120 km/h padec hitrosti znaša 34 km/h. Pri hitrosti prostega prometnega toka 90 km/h pa je padec hitrosti le 10 km/h. Kot je vidno na grafu, ima mesto, kjer začne vplivati velikost pretoka na povprečno hitrost, vrednosti med 1300 in 1750 eov/h/pas.



Slika 8: Odnos gostota–pretok za temeljni večpasovni odsek

6.4 Določevanje nivoja uslug na temeljnem večpasovnem odseku

Temeljni večpasovni odsek je lahko opisan s tremi učinkovitimi merili: gostoto (opisana s številom osebnih avtomobilov na kilometer na en vozni pas), hitrostjo (mišljena je povprečna hitrost osebnega vozila) in razmerjem volumen (pretok)–kapaciteta. Vsaka od teh meril je pokazatelj kakovosti prometnega toka vzdolž temeljnega večpasovnega odseka. Gostota pa je vrednost, ki najboljše oceni nivo usluge, pri čemer so hitrost, gostota in pretok med seboj povezane količine in ob poznavanju dveh, lahko izračunamo tretjo.

V nadaljevanju so navedeni pragovi med različnimi nivoji uslug za osnovni večpasovni odsek:

Preglednica 4: Pragovi med nivoji uslug

LOS	stopnja gostote (eov/km/pas)
A	0 – 7
B	> 7 – 11
C	> 11 – 16
D	> 16 – 22
E	> 22 – 28
F	> 28

7 LASTNOSTI TEMELJNEGA ODSEKA DVOPASOVNIH CEST

Dvopasovne glavne ceste imajo po en vozni pas za vsako smer, ki jih ločuje sredinska črta. Običajna omejitev hitrosti je od 50 - 90 km/h. Umeščamo jih v predmestna območja, v mestna središča, v ruralna območja med dvema mestoma oziroma v tista območja, kjer je visoka stopnja dnevnih potovanj.

Promet na dvopasovnih dvosmernih glavnih cestah se razlikuje od prometa na večpasovnih hitrih cestah. Spreminjanje voznega pasu in prehitevanje je možno samo ob upoštevanju nasproti vozečih vozil. Ob povečanem prometu hitro narašča potreba po prehitevanju in možnost prehitevanja se manjša ob povečanju nasprotnega prometa. Zato na dvopasovni cesti za razliko od večpasovnih hitrih cest normalni prometni tok v eni smeri vpliva na prometni tok z druge strani. Vozniki morajo prilagoditi potovalno hitrost zaradi povečanega prometa in možnost prehitevanja se zmanjša. Kadar imamo močnejši promet in kadar so geometrijski elementi skromnih dimenzij, je možnost prehitevanja manjša in obstaja večja verjetnost nastajanja kolon.

Dvopasovne ceste so različne, od takih, na katerih poteka promet nemoteno, do takih, kjer je promet moten s signalizacijo. Za temeljnih odsek dvopasovne ceste štejemo tiste odseke, kjer je razdalja med signaliziranimi križišči večja od 3 kilometrov.

7.1 Klasifikacija dvopasovnih cest

Priročnik HCM2000 deli dvopasovne ceste v dve kategoriji:

- **I. kategorija:** To so tiste ceste, na katerih vozniki potujejo z relativno velikimi hitrostmi. To so glavne mestne povezave, primarne ceste, ki prevzamejo velik del prometa, ceste, ki prevzamejo dnevni promet ali ceste, ki spadajo v državno cestno omrežje. Ceste, ki spadajo v to kategorijo, večinoma služijo za potovanja na dolge razdalje ali pa omogočajo dostop na ceste nižjega reda.
- **II. kategorija:** To so tiste ceste, na katerih vozniki ne potujejo z velikimi hitrostmi. Te ceste služijo kot povezave s cestami I. kategorije. To so pokrajinske ali turistične ceste, ki ne predstavljajo glavne arterije ali tiste ceste, ki potekajo po razgibanem terenu in so

kategorizirane kot ceste II. reda. Služijo predvsem za vmesna kratka potovanja na dolgih poteh in za tista potovanja, med katerimi opazujemo okolico.

Razvrstitev dvopasovnih cest je odvisna od njihove funkcije. Večina arterij se šteje za ceste I. kategorije, zbirne in občinske ceste pa sodijo v II. kategorijo. Ta funkcijska razvrstitev se nujno ne ujema z razvrstitvijo, ki jo naredimo glede na voznikova pričakovanja doseženih hitrosti. Medmestna povezava, ki poteka po hribovitem, valovitem terenu, bi bila lahko razvrščena v II. kategorijo in ne v I. kategorijo, ker na njej velike hitrosti niso mogoče.

Nivo uslug na cesti I. kategorije določata dva kriterija. To sta odstotek časa sledenja in povprečna potovalna hitrost. Pri cestah II. kategorije pa nivo uslug temelji samo na odstotku časa sledenja. Vozniki na splošno lažje tolerirajo vožnje v koloni na cestah II. kategorije kot na cestah I. kategorije, ker običajno služijo krajšim potem in različnim namenom.

V diplomski nalogi sem razvrstil vse kategorije dvopasovnih državnih cest v I. kategorijo, ker le ta obravnava povprečno potovalno hitrost vozil.

7.2 Osnovne lastnosti dvopasovne ceste

Osnovni pogoji za dvopasovne glavne ceste predstavljajo odsotnost restriktivnih geometrijskih, prometnih ali okoljskih dejavnikov, kar pomeni, da so ugodne vremenske razmere, dobra vidljivost in je odsek brez nesreč. Če katera od naštetih lastnosti ni izpolnjena, se hitrost, nivo usluge in kapaciteta na temeljnem cestnem odseku temu ustrezno zmanjšajo.

Ostale osnovne lastnosti cestnega odseka so navedena v nadaljevanju:

- širina voznega pasu je enaka ali večja od 3.6 m,
- minimalna bočna oddaljenost med robom krajne talne označbe in najbližjim objektom mora znašati 1.8 m,
- prehitevanje je dovoljeno vzdolž celotnega odseka,
- v prometni tok so vključena samo osebna vozila,
- promet ni oviran s strani zavijalcev ali svetlobno signalnih naprav ,
- teren je ravninski,
- porazdelitev prometa po smereh zanaša 50% / 50%.

Te osnovne lastnosti dvopasovne ceste predstavljajo zmožnost doseganja prostega prometnega toka hitrosti 90 km/h ali več.

7.3 Faktorji, ki vplivajo na hitrost prostega prometnega toka

7.3.1 Širina voznega pasu in bočne ovire

Ti dve ureditvi odražata vpliv prečnega prereza ceste na hitrost prostega prometnega toka. Predstavljata jih povprečna širina pasov in odklik bočnih ovir na desni strani ceste.

Vozni pasovi, ki so ožji oz. manjši od 3.6 m, vplivajo na zmanjšanje hitrosti prometnega toka. Razlog za zmanjšanje hitrosti je v tem, da so vozniki prisiljeni potovati bližje drug drugemu.

Podobno se dogaja z bočnimi ovirami. Če so bočne ovire postavljene preblizu vozišča, se vozniki umaknejo proti sredini vozišča, kar spet vodi k zmanjšanju hitrosti. Oddaljenost bočnih ovir, ki še ne vpliva na potovalno hitrost vozil, znaša 1.8 m. Med bočne ovire spadajo stranske ograje, okolica cestišča in tudi sredinske ločevalne ograje. Nekatere od teh ovir so lahko linijske, zato nimajo velikega vpliva na hitrost vozil, ker se jih vozniki navadijo.

7.3.2 Tipi sredinske črte

HCM obravnava tri tipe sredinskih črt, in sicer:

- sredinski prostor širine enega voznega pasu,
- dvignjen robnik, ograja ali naravna ovira,
- neprekinjena sredinska barvna črta.

V slovenskem cestnem omrežju poznamo pri dvopasovnih cestah predvsem zadnji tip sredinske črte. Prvi in drugi tip pa se pojavita predvsem na večpasovnih cestah (hitra cesta, AC,...).

7.3.3 Gostota vstopnih točk (priključkov)

Značilno je, da se v urbanih področjih uvozi z desne strani na cesto (priključki) pojavljajo bolj pogosto, kar vpliva na hitrost prostega prometnega toka, saj vozniki avtomatsko prilagodijo hitrost vozila. Za vsakih 6 križišč/km se hitrost prometnega toka zmanjša za 4km/h.

7.3.4 Ostali faktorji

Zasnovana hitrost, ki je osnova za projektiranje elementov osi ceste, lahko tudi vpliva na potovalno hitrost. Tukaj je mišljen predvsem horizontalni in vertikalni potek trase, pri čemer odseki z zahtevnejšimi horizontalnimi in vertikalnimi elementi vplivajo na hitrost prostega prometnega toka.

Omejitev hitrosti vpliva na hitrost prostega prometnega toka vozil. Omejitev in hitrost sta med seboj soodvisna, čeprav vozniki povprečno vozijo hitreje od omejitve. Kadar ni možno oceniti hitrosti prostega prometnega toka, se lahko izračuna na osnovi omejitve hitrosti.

Hitrost vozil in delež vozil, ki prekoračijo hitrost, so odvisni tudi od kontrole hitrosti. Številne študije so pokazale, da so učinki te kontrole omejeni tako časovno kot tudi prostorsko. Učinek te kontrole hitrosti je odvisen od tipa merjenja in trajanja. Na splošno stacionarna merjenja hitrosti učinkujejo največ na dolžini 15 km.

7.4 Karakteristike prometnega toka na dvopasovnih cestah

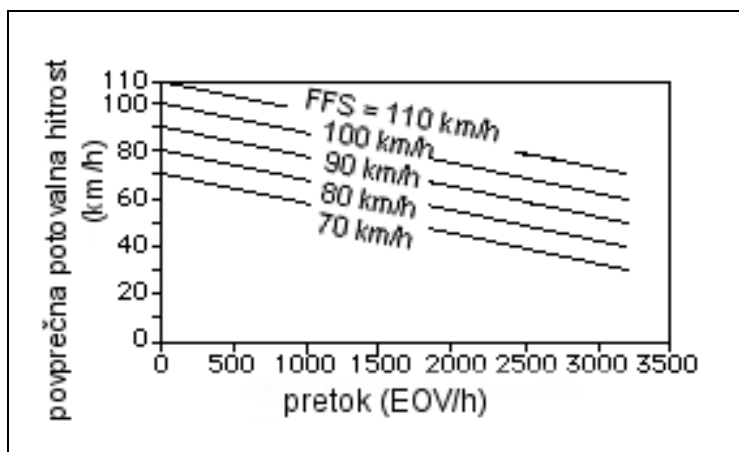
Prometni tok na osnovnem cestnem odseku dvopasovne ceste je v povezavi z razmerami, ki se dogajajo gortočno in doltočno od opazovanega odseka. Tu so mišljeni predvsem zastoji. Do zastoja pa lahko pride zaradi vzdrževalnih del, nesreč ali objektov na cesti.

Diagram hitrost–pretok in pretok–čas sledenja vozil

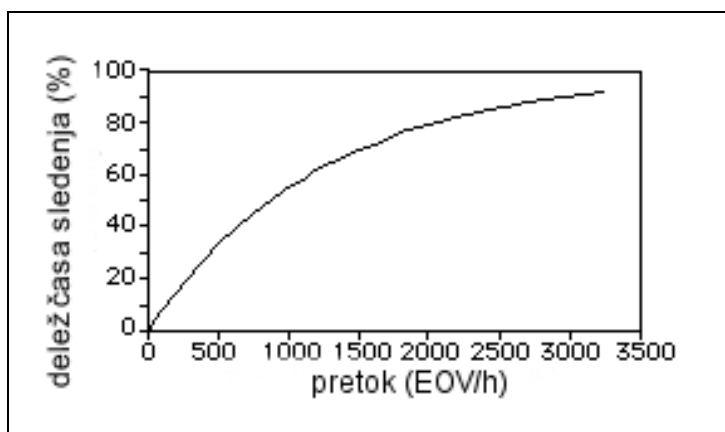
Na naslednjih dveh diagramih (slika 9, slika 10) so prikazani odnosi med pretokom prometnega toka, povprečno potovalno hitrostjo in deležem časa sledenja vozil pri osnovnih pogojih na dvopasovni cesti.

Čas sledenja vozil je povprečni delež celotnega časa potovanja na določenem odseku ceste, ko vozilo vozi v koloni za počasnejšimi vozili (težka vozila). Vozilo vozi v koloni, ker mu promet na nasprotnem pasu dvopasovne ceste ali preglednost ne omogočata prehitevanja.

Geometrijski podatki glavnih cest so sestavljeni iz karakteristik vzdolžnih odsekov in prečnega prereza. Vzdolžne karakteristike so opisane s povprečnim odstotkom ceste, kjer ni možno prehitevanje v eno ali drugo smer. Prečni prerez pa vsebuje podatke o širini voznega pasu in oddaljenosti bočnih ovir. Geometrijski podatki in zasnovalna hitrost se upoštevajo pri oceni hitrosti prostega prometnega toka.



Slika 9: Diagram pretok–povprečna potovalna hitrost vozil (HCM2000)



Slika 10: Diagram pretok–povprečni delež časa sledenja

V diagramih na slikah 9 in 10 je upoštevan promet v obeh smereh dvopasovne ceste. Iz diagrama je razvidno, da se potovalna hitrost vozil manjša premo sorazmerno z večanjem

pretoka v obeh smereh dvopasovne ceste. S pretokom pa se tudi večja delež časa sledenja, saj je z večanjem pretoka oteženo prehitevanje.

7.5 Stopnje nivoja uslug na dvopasovnih cestah

Primarno merilo za nivo uslug za dvopasovne ceste I. kategorije sta delež časa sledenja in povprečna potovalna hitrost. Za dvopasovne ceste II. kategorije pa kvaliteta uslug temelji samo na deležu časa sledenja vozil. Kriterij za stopnjo nivoja uslug je definiran za obdobje koničnih 15 minut in je namenjen za uporabo pri daljših odsekih.

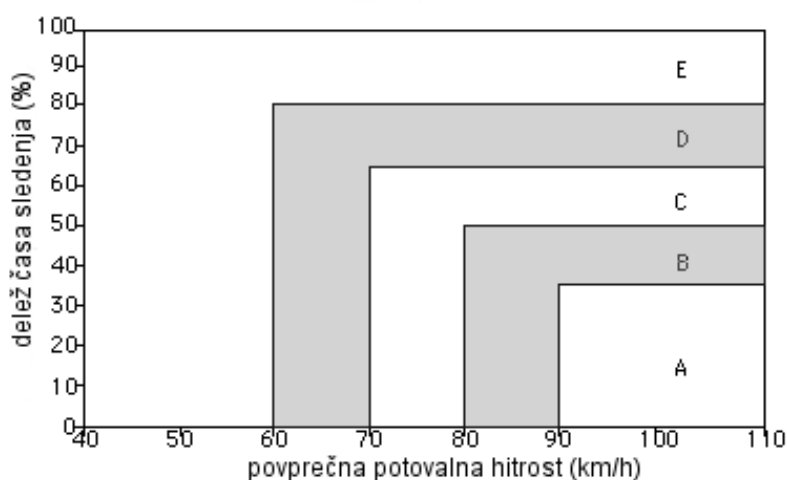
- nivo uslug A: Opisuje najvišjo kvaliteto uslug, ko vozniki lahko potujejo z zeleno hitrostjo 90 km/h ali več, možnosti za prehitevanje so večje, kot je potreba, zato so kolone do treh vozil zelo redke. Vožnja za počasnimi vozili ne presega 35% potovalnega časa. Maksimalni tok vozil v obe smeri je 490 osebnih vozil/h, ki je dosežen ob osnovnih pogojih. Na cestah II. kategorije lahko hitrosti padejo pod 90 km/h, toda vozniki ne bodo vozili več kot 40% časa potovanja za počasnimi vozili. Potreba po prehitevanju je manjša, kot pa cesta to omogoča.
- nivo uslug B: Označuje prometni tok s hitrostjo 80 km/h ali rahlo višje na ravnih cestah I. kategorije. Potreba po prehitevanju, da dosežeš zeleno hitrost, je pomembna in se približuje maksimumu, ki ga omogoča cesta. Vozniki vozijo v kolonah do 50% časa potovanja. Pod osnovnimi pogoji pretok lahko doseže 780 osebnih vozil/h v obe smeri. Na cestah II. kategorije vozniki dosegajo hitrosti tudi pod 80 km/h, vendar vozijo v kolonah maksimalno 55% potovalnega časa.
- nivo uslug C: Opisuje nadaljnje povečanje pretoka, katerega rezultat je opazno povečanje pogostosti kolon in njihove dolžine. Možnost prehitevanja se zmanjšuje. Povprečna hitrost je še vedno 70 km/h na ravninskem terenu za ceste I. kategorije, čeprav so potrebe po prehitevanju večje, kot jih cesta omogoča. Pri povečanem pretoku se posamezne kolone vozil začnejo združevati, kar nam zmanjša možnost prehitevanja. Čeprav je prometni tok stabilen, je le ta občutljiv na razne motnje zaradi zavijalcev in počasnih vozil. Čas vožnje v kolonah predstavlja do 65% potovalnega časa. Pretok, ki poteka pod osnovnimi pogoji, lahko doseže do 1190 osebnih vozil/h v obe smeri. Na cestah II. kategorije hitrosti padejo pod 70 km/h in vozniki za vožnjo v kolonah porabijo do 70% potovalnega časa.

- nivo uslug D: Prometni tok je nestabilen. Nasprotna prometna tokova tečeta neodvisno drug od drugega, ker je prehitevanje skoraj onemogočeno. Čeprav so povprečne kolone 5 do 10 vozil pogoste, se njihova hitrost giblje do 60 km/h in je dosežena pod osnovnimi pogoji na cestah I. kategorije. Pri teh pogojih delež odsekov, kjer je omogočeno prehitevanje, ne igra pomembne vloge. Prometni tok je zelo občutljiv na motnje, ki jih povzročijo zavijalci in ovire na cesti. Vozniki vozijo v kolonah skoraj 80% potovalnega časa. Maksimalen pretok vozil pod osnovnimi pogoji doseže 1830 osebnih vozil/h v obe smeri. Na cestah II. kategorije hitrost pade pod 60 km/h, vozniki pa ne vozijo v kolonah več kot 85% potovalnega časa.
- nivo uslug E: Pri teh pogojih vozniki vozijo v kolonah več kot 80% potovalnega časa na cestah I. kategorije in več kot 85% časa na cestah II. kategorije. Vozila ne dosežejo hitrosti 60 km/h pri osnovnih pogojih. Če so pogoji na cestišču slabši od osnovnih, bodo povprečne potovalne hitrosti vozil manjše od 40 km/h, npr.: vožnja na vzponu. Prehitevanje je onemogočeno, vožnja v kolonah je stalna. Največja kapaciteta, ki je dosežena, je 3200 osebnih vozil/h v obe smeri. Razmere na cesti so nestabilne in nepredvidljive. Na krajinskih cestah ponavadi ne dosežemo celotne kapacitete ceste.
- nivo uslug F: Predstavlja močno zgoščen tok prometa, kjer je potreba večja od kapacitete ceste. Prometni tok je manjši od kapacitete in hitrosti zelo nihajo. Prometni tok in hitrost se lahko približata vrednosti nič.

V preglednici 5 so prikazani kriteriji za stopnjo nivoja uslug za ceste I. kategorije, glede na delež časa vožnje v kolonah in povprečne hitrosti vozil. Za določitev stopnje nivoja uslug mora cesta zadostovati obema kriterijema. Graf na sliki 11 prikazuje kriterije stopnje nivoja uslug za ceste I. kategorije. V primeru, da je povprečna potovalna hitrost vozil 65 km/h in da vozila vozijo 45% časa potovanja v kolonah, zadostuje cesta stopnji nivoja uslug D. Pri enakih pogojih potovanja bi na cestah II. kategorije zadostovala stopnji nivoja uslug B, kar je razvidno iz preglednice 6. Razlika v stopnji nivoja uslug odraža različna pričakovanja voznikov glede na vrsto uporabe cest.

Preglednica 5: Stopnja nivoja uslug za dvopasovne ceste I. kategorije

LOS	Delež časa sledenja	Povprečna potovalna hitrost
A	≤ 35	> 90
B	$> 35 - 50$	$> 80 - 90$
C	$> 50 - 65$	$> 70 - 80$
D	$> 65 - 80$	$> 60 - 70$
E	> 80	≤ 60



Slika 11: Kriterij za določitev stopnje nivoja uslug za dvopasovne ceste I. kategorije

Preglednica 6: Stopnja nivoja uslug za dvopasovne ceste II. kategorije

LOS	Delež časa sledenja
A	≤ 40
B	$> 40 - 55$
C	$> 55 - 70$
D	$> 70 - 85$
E	> 85

Prikazane tabele veljajo za vse tipe dvopasovnih glavnih cest, vključno s cestami z daljšimi odseki, kjer je enakomerno porazdeljen prometni tok v obe smeri, in daljšimi odseki, kjer je prometni tok poudarjen v eno smer ter ceste s specifičnimi vzponi in spusti.

8 DOLOČITEV FUNKCIJE UPORA ZA IZRAČUN POTOVALNIH HITROSTI NA DRŽAVNIH CESTAH

8.1 Splošno

Osnovna hipoteza, iz katere izhaja diplomska naloga, je, da se stopnja izkoriščenosti kapacitete in potovalne hitrosti izračunane po metodi HCM pri določenem urnem pretoku ujemajo s statističnimi podatki avtomatskih števecv prometa. Ta hipoteza je bila potrjena v magistrski nalogi »Presoja doseganja kategorijsko odvisnih voznih pogojev na dvopasovnih cestah«, ki jo je izdelala Helena Gregorc. V magistrski nalogi je prišla do ugotovitve, da je metodologija HCM dovolj ustrezna za določanje dimenzij ceste in da se z njo da ugotoviti hitrosti, ki jih na naših cestah dosega večina ali vsaj povprečje vseh voznikov. Metodologija HCM2000 je tudi podprta z računalniškim programom Highway Capacity Software–HCS2000, s pomočjo katerega lahko na praktičnih primerih izračunamo povprečne potovalne hitrosti za posamezne odseke dvopasovnih in večpasovnih državnih cest.

Prometne študije se delajo na osnovi prometnih modelov, ki so poenostavljena predstavitev določenega dela resničnega sveta oziroma problema, ki nas zanima. Uporaba le teh je različna, od tega pa je do neke mere odvisna tudi velikost območja obdelave. Zato prometne modele delimo na makroskopske ali strateške, ki zajemajo večje območje obdelave, in mikroskopske ali podrobne, ki jih večinoma uporabimo za obdelavo manjših območij.

Temeljni makroskopski modeli so sintetični, sestavljeni iz štirih korakov in jih lahko grobo ločimo na povpraševanje (generacija, distribucija, izbira prometnega sredstva) in obremenjevanje. V diplomski nalogi se bom osredotočil na zadnjo fazo modeliranja, na obremenjevanje.

V preteklosti se je obremenjevanje omrežja uporabljalo za analize prometnih sprememb večjih razsežnosti. Za vrednotenje potovalnih časov se je pri modeliranju obremenitev uporabljala ista funkcija obremenitev-zamude za vse kategorije cest. Sčasoma je bil storjen velik napredek v računalniški tehnologiji, zato so bile tudi razvite nove funkcije in algoritmi

obremenjevanja (z omejitvijo kapacitete, stohastični, multimodalni, intermodalni itd.), obenem pa se je povečala tudi natančnost kodiranja omrežja, kar nam omogoča definiranje funkcije upora za vsak tip ceste. Vse to je privedlo do boljših in realnejših rezultatov.

Prometno obremenjevanje lahko razumemo kot model izbire poti potovanj po omrežju, ki je odvisna od funkcije upora. Na najosnovnejši ravni je običajno izražen s potovalnim časom izbrane poti. Bolj dovršene metode poleg časa vključujejo tudi razdaljo in denarni strošek. Pri kombinaciji vseh teh je upor izražen kot strošek v odvisnosti od dolžine ceste, potovalnega časa in posebnih stroškov:

$$Cost_{skupaj} = Cost_{razdalja} + Cost_{čas} + Cost_{strošek} ; \text{ (Enačba 7)}$$

kjer je:

- $Cost_{skupaj}$ = skupni strošek-upor ceste
- $Cost_{razdalja}$ = strošek zaradi dolžine potovanja
- $Cost_{čas}$ = strošek zaradi časa potovanja
- $Cost_{strošek}$ = posebni strošek potovanja (npr. cestnina)

Proces obremenjevanja temelji na razmerju obremenitve in zamude (volume-delay relationship). V primeru, ko obremenitev na odseku naraste, se zaradi zasičenosti prometnega toka potovalna hitrost zmanjša, s tem pa se poveča potovalni čas. Spremenljivke, s katerimi v prostem prometnem toku določimo potovalno hitrost in kapaciteto, so odvisne od tipa ceste. Osnovna funkcija upora je funkcija BPR (Bureau of Public Roads), ki se jo uporablja za izračun potovalnih časov in zamud. Poleg funkcije BPR bom obravnaval tudi Spiessovo funkcijo, ki je bila izpeljana leta 1990.

8.1.1 Funkcija upora

Funkcija upora predstavlja eno izmed osnov pri procesu obremenjevanja modela, saj z njo določimo zmanjšanje potovalne hitrosti glede na obremenitev odseka ceste. Funkcije upora se razlikujejo glede na tip odseka ceste. Osnovni karakteristiki prometnega odseka, ki se razlikujeta glede na tip, pa sta kapaciteta in hitrost prostega prometnega toka. V preglednici 7 so prikazane tipične vrednosti hitrosti prostega prometnega toka in kapacitet, ki jih

uporabljajo v tujini za potrebe prometnih študij. Te vrednosti so bile najprej določene za uporabo programske opreme Urban Transportation Planning, vendar so sčasoma postale vedno bolj uporabljene. Vrednost hitrosti in vrednost kapacitete se spreminjata glede na tip odseka oziroma njegovo funkcijo, ter glede na tip območja, po katerem poteka cesta.

Preglednica 7: Vrednosti kapacitete in hitrosti prostega prometnega toka za posamezen tip ceste (Urban Transportation Administration)

Tip območja		Tip ceste				
		Avtocesta	Glavna cesta I. razreda	Glavna cesta II razreda	Glavna cesta III.razreda	Zbirna cesta
Mestno območje	Kapaciteta (EOV/h/pas)	2000	1000	870	670	470
	Hitrost (km/h)	80,5	45,8	40,2	32,2	24,1
Primestno območje	Kapaciteta (EOV/h/pas)	2000	1000	870	670	470
	Hitrost (km/h)	88,5	64,4	56,3	40,2	32,2
Podeželje	Kapaciteta (EOV/h/pas)	2000	1000	870	870	470
	Hitrost (km/h)	96,5	72,4	64,4	56,3	40,2

Na diagramih 7 do 10 so bile prikazane zakonitosti merjenih vrednosti. V nadaljevanju bodo te zakonitosti predstavljene s pomočjo funkcij ali modelov in sicer s pomočjo funkcije BPR in Spiessove funkcije. Obe opisujeta funkcijo upora ali funkcijo obremenitev-zamuda. Torej, čim večji je upor, tem manjša bo hitrost. Večja je zasičenost cestnega odseka, manjša bo hitrost.

8.1.1.1 Funkcija BPR

Najbolj razširjena funkcija obremenitev-zamuda za modeliranje prometa, ki odseva potovalni čas oz. povprečne potovalne hitrosti v odvisnosti od obremenitve ceste, je funkcija BPR. Uporabimo jo lahko tako za modeliranje mestnih cest kot tudi za modeliranje nemestnih cest.

$$t = t_0(1 + \alpha X^\beta); \text{ (Enačba 8)}$$

kjer je:

X = razmerje med pretokom in kapaciteto ceste

α, β = empirična koeficienta

t = potovalni čas [s]

t_0 = potovalni čas pri prostem prometnem toku [s]

$$X = \frac{q}{C}; \text{ (Enačba 9)}$$

kjer je:

X = razmerje med pretokom in kapaciteto ceste

C = kapaciteta ceste [vozil/h]

q = pretok vozil [vozil/h]

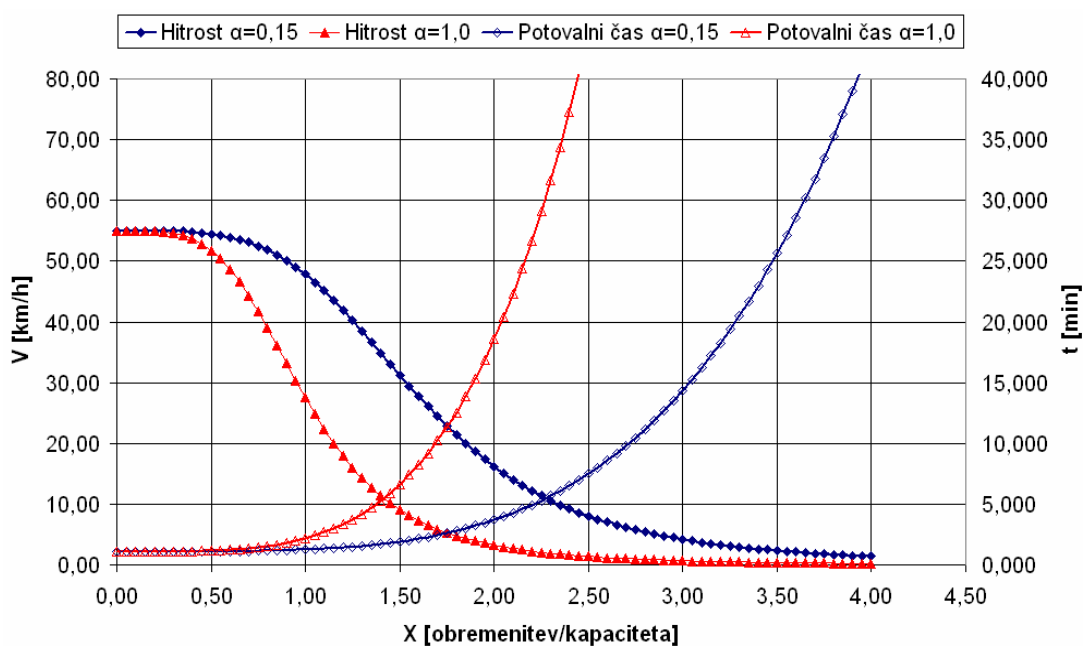
Za izračun povprečne potovalne hitrosti prometnega toka na odseku ceste uporabimo enačbo:

$$V_{pot} = V_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha X^\beta} \right); \text{ (Enačba 10)}$$

kjer je:

V_0 = hitrost prostega prometnega toka [km/h]

V_{pot} = povprečna potovalna hitrost na odseku [km/h]



Grafikon 2: Primer funkcije upora (BPR) za različne vrednosti parametrov α in β

Grafikon 2 prikazuje učinek funkcije BPR na potovalno hitrost in potovalni čas z izbranim koeficientom α , ki ima vrednost 0,15 in 1,0, ter koeficientom β , ki ima vrednost 4,0. Za

primer je bil vzet odsek ceste dolžine 1,0 km. Če je vrednost koeficienta α 1,0, hitrost pri doseženi kapaciteti znaša polovico hitrosti prostega prometnega toka. Poleg tega potovalni čas narašča zelo počasi, če je vrednost X -a manjša od 1,0, in zelo hitro, pravzaprav eksponentno, če je kapaciteta odseka ceste presežena.

Parametri α in β , ki so bili prvotno uporabljeni v funkciji upora BPR, so bili kasneje posodobljeni. S tem so odpravili nekatere pomanjkljivosti. Leta 1991 je Alan Horowitz v poročilu za FHWA, »Delay-Volume Relations for Travel Forecasting Based on the 1985 Highway Capacity Manual« uporabil parametre, ki ustrezajo odnosu hitrost-kapaciteta, kot jih vsebuje program HCS, verzije 1.5. Koeficient α funkcije BPR je bil določen s prilagajanjem krivulje k hitrosti prostega prometnega toka ter k hitrosti pri doseženi kapaciteti (nivo usluge E). Koeficient β je bil izračunan s pomočjo nelinearne regresije. Najnovejši parametri funkcije BPR so navedeni v naslednji preglednici:

Preglednica 8: Vrednosti koeficientov funkcije upora BPR pri upoštevanju HCM-a

Koeficient	Avtocesta			Večpasovna glavna cesta		
	113 km/h	97 km/h	80 km/h	113 km/h	97 km/h	80 km/h
α	0,88	0,83	0,56	1,00	0,83	0,71
β	9,80	5,50	3,60	5,40	2,70	2,10

V preglednici so navedene projektne hitrosti in ne hitrosti prostega prometnega toka. Za izračun razmerja obremenitev/kapaciteta je privzeta maksimalna kapaciteta ceste (nivo usluge E) in ne projektna kapaciteta (nivo usluge C), kot je to pri standardni funkciji BPR ($\alpha=0,15$ in $\beta=4,0$). Za izbiro maksimalne kapacitete obstajajo štirje pomembni argumenti:

- maksimalna kapaciteta ima enak pomen za vse tipe cest, kar pa projektna kapaciteta nima; npr., lažje je primerjati mejno kapaciteto ceste s kapaciteto križišča na tej cesti,
- maksimalno kapaciteto je vedno lažje izračunati, kot pa projektno kapaciteto, še posebej za semaforizirana križišča,
- maksimalno kapaciteto je lažje primerjati s števničnimi podatki, saj je projektna kapaciteta odvisna od ocene gostote prometnega toka, deleža časa vožnje v koloni,...

- maksimalna kapaciteta je tista kapaciteta, ki jo lahko v modelu določimo tudi za prihodnje stanje.

Krivulje funkcije upora, ki jih je razvil Alan Horowitz, temeljijo na HCM-u, ki pri doseženi kapaciteti določa približno hitrost 56 km/h. To je tudi hitrost gostejšega prometnega toka, ki ga navaja HCM. Pri izračunu funkcije je upošteval kapaciteto 1800 vozil/h/pas, kar ni največja teoretična kapaciteta, saj ni upošteval idealnih pogojev, ampak tipične prevladujoče pogoje. Iz primerjave standardnih funkcij BPR in HCM sledi, da funkcija BPR določa večjo hitrost pri doseženi kapaciteti kot HCM. Krivulje upora prikazujejo potovalne čase tudi, ko je kapaciteta presežena, vendar se ta del krivulje šteje kot nestabilen. Kakorkoli, za potrebe modeliranja prometa je treba upoštevati tudi vrednosti teoretične obremenitve, ki presegajo kapaciteto.

Torej, če za izračun obremenitev/kapaciteta vzamemo maksimalno kapaciteto odseka ceste, lahko koeficient α aproksimiramo k hitrosti prostega prometnega toka in prav tako k hitrosti pri doseženi kapaciteti z naslednjo enačbo:

$$\alpha = \left(\frac{V_0}{V_c} \right) - 1; \text{ (Enačba 11)}$$

kjer je:

V_0 = hitrost prostega prometnega toka [km/h],

V_c = hitrost pri polni kapaciteti dvopasovne ceste[km/h]

8.1.1.2 Spiessova funkcija upora

Spiess je leta 1990 določil sedem pogojev, ki veljajo za funkcijo potovalnih časov v odvisnosti od pretoka:

- funkcija potovalnih časov dosledno narašča z večanjem pretoka,
- čas potovanja pri majhnem pretoku je enak času potovanja pri hitrosti prostega prometnega toka, čas potovanja pri polni kapaciteti pa je dvakratnik časa potovanja pri hitrosti prostega prometnega toka,

- odvod funkcije mora obstajati in mora dosledno naraščati – to zagotavlja izbočenost funkcije; kar pa ni nujno potrebno, je pa zaželena lastnost,
- funkcija naj ima le nekaj parametrov, toda ti naj bodo dobro definirani,
- funkcija naj bo definirana za vse prometne obremenitve,
- tangenta funkcije pri majhnem pretoku naj bo naraščajoča,
- vrednotenje potovalnih časov na podlagi njegove funkcije naj bi zahtevalo manj časa, kot ga zahteva funkcija BPR.

Šibka točka Spiessove funkcije potovalnih časov je drugi pogoj, saj je predvidel, da je hitrost pri prostem prometnem toku dvakrat večja od hitrosti pri doseženi kapaciteti. Zato bi bilo zaželeno, da bi se drugi pogoj popravil:

- funkcija naj poda realne vrednosti potovalnih časov pri prostem prometnem toku in še posebej pri doseženi kapaciteti.

Popravljeni drugi pogoj zahteva, da je potrebno določiti koeficiente upora, ki bodo odražali realne potovalne čase, saj so le ti pomembni pri distribuciji prometa in pri izbiri prometnega sredstva. Ta pogoj sicer odseva funkcija BPR, Spiessova funkcija pa zaenkrat še ne.

Spiess je z upoštevanjem vseh sedmih pogojev (brez popravljenega drugega) predlagal alternativo funkciji BPR:

$$t = t_0 \left\{ 2 + \left[\alpha^2 (1 - X)^2 + \beta^2 \right]^{0.5} - \alpha(1 - X) - \beta \right\}; \text{ (Enačba 12)}$$

$$\beta = \left(\frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2} \right); \text{ (Enačba 13)}$$

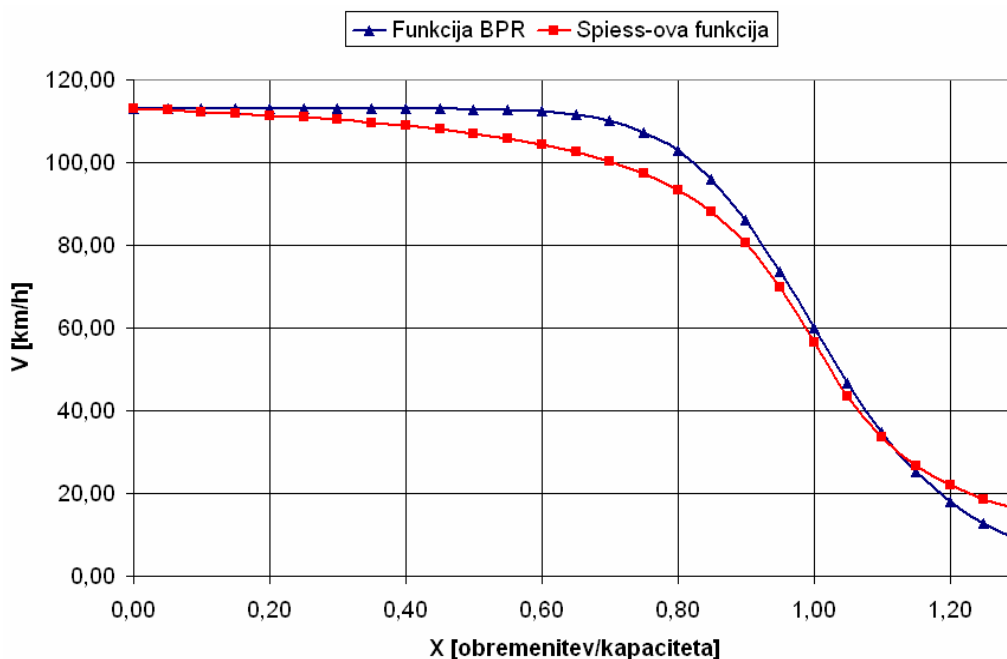
kjer je:

α , = empirični koeficient

X = razmerje obremenitev/kapaciteta na odseku ceste

Spiessova funkcija ima obliko hiperbole in nam pri dosežni kapaciteti vedno določi dvojno vrednost potovalnega časa pri prostem prometnem toku, kar pa vedno ni smiselno.

Alan Horowitz je v svoji študiji obravnaval tudi Spiessovo funkcijo in jo prilagajal h krivuljam, ki jih vsebuje program HCS z upoštevanjem funkcije HCM-a. Pri računanju parametra α si je pomagal z nelinearno regresijo. Pri izračunu je upošteval identične razrede hitrosti prostega prometnega toka in kapacitete. V preglednici 9 so predstavljeni rezultati.



Grafikon 3: Primerjava funkcije BPR in Spiessove funkcije za avtoceste pri hitrosti prostega prometnega toka 113 km/h (HCM)

Preglednica 9: Vrednosti koeficientov Spiessove funkcije upora pri upoštevanju funkcije HCM-a

Koeficient	Avtocesta			Večpasovna glavna cesta		
	113 km/h	97 km/h	80 km/h	113 km/h	97 km/h	80 km/h
α	9,8	8,5	7,5	7,1	4,0	4,0

V nadaljevanju bom izračunal koeficiente α in β funkcije BPR in koeficient α Spiessove funkcije, in sicer na podlagi meritev avtomatski števecv na slovenskih državnih cestah. Določil bom, katera funkcija odseva boljše potovalne čase oziroma potovalne hitrosti glede na

karakteristike prometnega toka na državnih cestah. Na podlagi te primerjave bom določil, katera funkcija bo primernejša za določitev funkcije upora, ki bo dobra osnova za izračun povprečnih potovalnih hitrosti na državnem cestnem omrežju. Uporabil bom samo temeljne odseke.

8.2 Izračun koeficientov

8.2.1 Podatkovne osnove

Osnova za izračun Spiessove funkcije in BPR funkcije so terenske meritve, s katerimi dobimo realne odvisnosti med hitrostjo vozil in prometnim tokom, obremenitev-zamuda. Osnova za kategorizacijo ceste je podatkovna baza BCP, za katero skrbi Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC).

8.2.1.1 Meritve hitrosti

Podatki o prometnih obremenitvah posameznih cestnih odsekov služijo kot osnova za analizo prometnih gibanj. Štetja prometa se na slovenskem cestnem omrežju opravljajo že od leta 1954 in to bazo podatkov hrani Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). Za izdelavo diplomske naloge so prišli v upoštevanje podatki iz avtomatskih števec QLD6 za leto 2004 ter podatki terenskih meritev hitrosti, ki so bile opravljene na izbranih odsekih po Sloveniji.

Meritve hitrosti z avtomatskimi števci

Na državnem cestnem omrežju se uporabljajo štirje tipi avtomatskih števec, s katerimi se opravljajo meritve prometnih tokov. Najstarejši tip števca je števec SBH, sledijo pa QLD2, QLD3 in najsodobnejši QLD6, s katerim se merijo tudi hitrosti po tipih vozil. Slednji števec nam omogoča, da pridobimo karakteristike prometnega toka, iz katerih je mogoče ugotoviti soodvisnost med potovalno hitrostjo vozil na cesti (V_{pot}) in izrabo kapacitete ceste (Q/C).

Za izdelavo diplomske naloge sem uporabil podatke iz avtomatskih števec QLD6 za območje celotne Slovenije in za vse kategorije cest. Teh števec je na državnih cestah sto šestinsedemdeset. Avtomatski števec prometa QLD6 štetje promet in meri hitrosti vse dni v letu. Rezultate povprečnih potovalnih hitrosti zapisuje v desetminutnih intervalih glede na tip

vozil, kar pomeni, da posamezen števec v enem letu naredi 52.704 zapisov. Zaradi velike baze podatkov (cca. 8.700.000 zapisov) sem za izdelavo naloge uporabil program MS Access, s katerim sem izračunal skupne povprečne urne potovalne hitrosti, ki sem jih uporabil za nadaljnjo analizo.

Povprečne potovalne hitrosti so bile izračunane za vsako vrsto vozil posebej, in sicer po naslednji enačbi:

$$\bar{v}_{\dot{s}m} = \frac{\sum v_{10\min} * N_{10\min}}{\sum N_{10\min}} ; \text{(Enačba 14)}$$

Pri izračunu ekvivalentnega pretoka vozil sem upošteval naslednje faktorje, ki se uporabljajo za prometne analize hitrosti v odvisnosti od pretoka. (Vir: Teorija prometnega toka – osnutek skript, Ljubljana maj 2003)

Preglednica 10: Vrednosti ekvivalentnih faktorjev za analizo funkcije hitrost-pretok

Kategorija vozil	PE
OA	1,00
LT	1,60
ST	1,83
TT	2,60

Avtomatska števna mesta QLD6 so razporejena po celotni cestni mreži, po vseh kategorijah cest. V naslednji preglednici je prikazano število avtomatskih števcov, ki sem jih analiziral glede na kategorijo ceste. Števci, ki so locirani na večpasovnih cestah, ponavadi štejejo samo eno smer, vozni in prehitevalni pas, tisti, ki so locirani na dvopasovnih cestah, štejejo obe smeri.

Preglednica 11: Število obravnavanih avtomatskih števcov QLD6 glede na kategorijo ceste

Kategorija ceste	Št. števcov
AC	16
HC	11
G1	40
G2	31
R1	34
R2	27
R3	6

Terenske meritve hitrosti

Za kontrolo končnih rezultatov potovalnih hitrosti oziroma povprečnih potovalnih časov se lahko uporabijo terenske meritve hitrosti, ki jih je izvajala Direkcija Republike Slovenije za ceste. S pomočjo teh meritev se pridobijo podatki o hitrostih prometnega toka na odsekih cest, kjer ni avtomatskih števnih mest. Gre predvsem za ceste nižjega reda. Meritve so se izvajale leta 2005 in so bile opravljene na devetinštiridesetih odsekih po celotni Sloveniji. Hitrosti so bile merjene v dveh časovnih obdobjih, in sicer v času jutranje in popoldanske konice.

Ta način merjenja hitrosti prometnega toka se uporablja na dvopasovnih cestah z dvosmernim prometom. Opazovalec sledi izbranemu vozilu, ki ne izstopa po načinu vožnje od ostalega prometa. Za določitev srednje prostorske hitrosti je potrebna vsaj ena vožnja v vsako smer na obravnavanem odseku. Pred začetkom merjenja je zaželeno, da se opravijo poizkusne vožnje. Opazovanje se začne malo pred začetkom obravnavanega odseka in se konča šele na koncu odseka.

Opazovalec v smeri, za katero želimo določiti hitrost, meri:

- čas začetka opazovanja (čas, ko zapelje v obravnavani odsek),
- čas na koncu opazovanja (čas, ko zapelje iz obravnavanega odseka),
- število vozil, ki so prehitela zasledovano vozilo in vozilo opazovalca,
- število vozil, ki jih zasledovano vozilo prehiti,
- dolžino opazovanega odseka.

V nasprotni smeri vožnje opazovalec meri:

- čas začetka opazovanja (čas, ko zapelje v obravnavani odsek),
- čas na koncu opazovanja (čas, ko zapelje iz obravnavanega odseka),
- število vozil v nasprotni smeri, ki jih opazovalec sreča.

Na osnovi teh podatkov se izračuna povprečna prostorska hitrost na obravnavanem odseku:

$$q = \frac{X + Y}{t_a + t_c}; \text{ (Enačba 15)}$$

$$t = t_c - \frac{Y}{q}; \text{ (Enačba 16)}$$

$$\bar{V}_s = \frac{S}{t}; \text{ (Enačba 17)}$$

t_c čas potovanja opazovalca v smeri merjenja hitrosti na obravnavanem odseku [s]

t_a čas potovanja opazovalca v nasprotni smeri merjenja hitrosti na obravnavnem odseku [s]

X število vozil, ki jih opazovalec sreča v nasprotni smeri vožnje

Y razlika med vozili, ki so prehiteli opazovanega voznika, in vozili, katere je opazovalec prehitel,

S dolžina merjenega odseka [m]

Preglednica 12: Lokacije terenskih meritev hitrosti

IVRC	Cesta	Odsek	PLDP (vozil/dan)	Vpovp (km/h)	Lokacija meritve
R1	209	1089	3.620	74	Bled - Soteska
R2	410	1134	3.930	60	Križe - Tenetiš
R1	210	1106	1.350	62	Zg. Kokra - Tupaliče
R1	210	1110	6.820	73	Škofja Loka - Log
G2	106	0261	7.757	74	Pijava Gorica - Turjak
R1	210	1109	12.787	54	Kr.(Labure) - Šk.Loka
G2	108	1182	9.028	56	Zg.Hotič-Litija
R1	216	1175	3.046	59	Zagradec - Žužemberk
R3	645	1189	1.300	55	Zg.Besnica - Sp. Poljane
R3	664	2501	1.800	52	Gaber - Uršna Sela
R1	216	1178	5.735	66	Črmošnjice-Ručelna vas
R1	215	1163	2.400	57	Mirna - Mokronog
HC	H1	0221	17.595	74	Trebnje - Kartegevo
R3	733	5831	/	51	Vavta vas - Podturn
R3	651	1198	2.818	62	Dol. Ponikve - Biška vas
G2	105	0256	3.904	54	Pogance-Vahta
G2	106	0265	1.956	69	Štalcerji-Fara
R1	204	1015	4.039	59	Tomaj - Sežana
R3	610	1371	/	42	Pečnik - Žiri
G2	102	1038	3.000	62	Bača-Dolenja Trebuša
R1	203	1004	1.947	50	Trnovo-Kobarid
R3	618	6807	800	54	Branik - Komen
G1	11	1062	12.480	69	Šmarje - Dragonja
R2	404	1379	3.079	69	Podgrad - Il.Bistrica
G1	6	0339	3.440	60	Pivka - Ribnica
G1	1	1400	16.453	62	Miklavž - Hajdina
G1	1	0245	4.808	69	Ruta - Selnica
G1	2	0250	6.161	70	Gorišnica - Mihovci

se nadaljuje....

... nadaljevanje

R3	713	4910	950	67	Savci - Dornava
G1	10	0315	8.139	70	Benedikt - Podgrad
R2	439	1305	1.950	67	Blaguš - Cerkvjenjak
R3	725	5672	2.200	65	Martjanci - Taškarov Breg
R1	442	1319	3.200	69	Dobrovnik-Rondo Dolga vas
R1	219	1239	5.167	71	Grliče - Podčetrtek
G2	107	1238	/	57	Šentjur - Šentvid
R3	689	6260	500	56	Žetale - Rogatec
R2	423	1282	1.270	80	Kozje - Podsreda
R2	430	0277	6.618	64	Ložnica - Tepanje
R1	219	1236	5.500	56	Slovenska Bistrica - Poljčane
G1	4	1260	/	60	Gornji Dolič - Velenje
R2	429	1245	3.500	68	Višnja vas - Dobrna
R1	212	1118	4.469	60	Cerknica - Blošla Polica
R2	426	1269	6.235	67	Pesje - Gorenje
R2	428	1249	1.960	60	Ljubno - Luče
R1	225	1085	1.024	83	Črnivec - Gornji Grad
G1	5	0328	12.979	64	Laško - Šmarjeta
R3	679	3909	1.100	57	Breg- Sevnica
G1	5	0335	4.508	78	Impoljski potok - Brestanica
R2	419	1205	3.807	70	Šentjernež - Kostanjevica na Krki

Te meritve so narejene na manj obremenjenih odsekih, zato te hitrosti predstavljajo hitrosti prostega prometnega toka.

8.2.1.2 Kategorizacija prometnih odsekov

Razvrščanje cest v kategorije je osnova za določanje dimenzij in opremljenosti ter zunanjšega izgleda ceste v prostoru. Zaradi različnih kriterijev dimenzioniranja cest so tudi različni pogoji odvijanja prometa, zato prihaja do neenakih nihanj hitrosti pri spremembi velikosti pretoka.

Za osnovo razvrščanja cest v kategorije sem uporabil upravno kategorizacijo javnih cest. Ker je ta kategorizacija bolj splošna, sem jo še dodatno razdrobil glede na karakteristike terena po katerem poteka cesta, saj te vplivajo na dodatno spremembo hitrosti. Zelo pomemben podatek pri razvrščanju cest v kategorije je njihova kapaciteta, saj je ključen podatek za izračun odnosa obremenitev-kapaciteta.

Dvopasovne ceste sem razdelil v dve podkategoriji: ravninska in razgibana. Za mejno vrednost povprečnega naklona odseka za kategorijo razgibana sem vzel povprečni nagib nivelete 3%. To vrednost sem prevzel po HCM-u, saj jo predpisuje kot splošni nagib za ravninsko področje. Povprečni vzdolžni nagib sem izračunal po naslednji enačbi:

$$\bar{i} = \frac{\sum_{n=1}^i |i_n| * Li_n}{\sum_{n=1}^i Li_n}; \text{ (Enačba 18)}$$

kjer je:

i_n = velikost vzdolžnega nagiba

Li_n = dolžina nagiba (m)

Hitrost prometnega toka pri cestah na razgibanem terenu hitreje pada z večanjem pretoka, saj tovorna vozila ne morejo slediti osebnim vozilom, zato pride tudi do vrzeli med prometnim tokom. Ti vplivi so toliko večji, če ni možno prehitevanje, kar je posledica geometrijskih karakteristik ceste ali močnega prometnega toka v nasprotni smeri.

Kapacitete cest po kategorijah so določene na podlagi nemškega standarda HBS in na podlagi izkušenj pri prometnem modeliranju. Dodatna kategorizacija v odvisnosti od tipa območja (mestno, primestno območje, podeželje) po katerem poteka cesta, ni smiselna, kajti večina državnih cest ima značilnosti podeželskih cest. Poleg te značilnosti pa je še problem v številu referenčnih avtomatskih števnih mest QLD6, saj bi jih primanjkovalo zaradi preveč razdrobljene kategorizacije. To bi mi onemogočalo izračun parametrov funkcij upora.

Preglednica 13: Kategorizacija za izračun funkcije BPR in Spiessove funkcije

Upravna kategorizacija	Dodatna kategorizacija	Kapaciteta (vozil/h/smer)
AC	4 pasovna	3500
HC	4 pasovna	3000
	2 pasovna	1500
G1	ravninska	1250
	razgibana	1000
G2	ravninska	1250
	razgibana	1000
R1	ravninska	1250
	razgibana	1000
Rostalo	ravninska	1250
	razgibana	750

8.2.1.3 Ocena hitrosti prostega prometnega toka

Hitrost prostega prometnega toka sem ocenil. Na dvopasovnih cestah predstavlja ocena hitrosti večje tveganje kot na štiripasovnih, ker pri dvopasovnih hitrost prostega prometnega toka lahko niha od 50 – 90 km/h. Za oceno hitrosti prostega prometnega toka na odseku dvopasovnih cest sem upošteval najvišjo dopustno hitrost zunaj naselja (90 km/h), ki sem jo reduciral glede na delež odseka ceste, ki poteka skozi naselje (50 km/h). Nekateri odseki cest imajo za zgornji ustroj makadam, ki pa ne omogoča večje potovalne hitrosti kot 30-50 km/h, zato se na teh odsekih, na katerih predstavlja makadam več kot 45% dolžine, določi povprečno potovalno hitrost 50 km/h, kar pomeni, da potovalna hitrost ni odvisna od obremenitve ($\alpha=0$). Za te odseke cest je značilno, da se obremenitev nikoli ne približa kapaciteti, oziroma je ne doseže. Hitrost prostega prometnega toka za AC in HC se ne reducira, saj te ceste potekajo zunaj naselij, zato velja hitrost prostega prometnega toka za AC 130 km/h ter za HC 100 km/h. Za odseke cest kategorije G in R se hitrost prostega prometnega toka izračuna z naslednjo enačbo:

$$V_0 = \frac{50 \text{ km/h} * l_n + 90 \text{ km/h} * (l_{od} - l_n)}{l_{od}}; \text{ (Enačba 19)}$$

kjer je:

l_{od} = dolžina celotnega odseka (m)

l_n = dolžina odseka v naselju (m)

V_0 = hitrost prostega prometnega toka na odseku (km/h)

Hitrost prostega prometnega toka na dvopasovnih cestah sem razdelil v razrede po 10 km/h, kot je prikazano v naslednji preglednici.

Preglednica 14: Razredi ocenjene hitrosti prostega prometnega toka za ceste kategorije G in R

V_{izr} (km/h)	V_0 (km/h)
50 - 60	55
60 - 70	65
70 - 80	75
80 - 90	85

Preglednica 15: Odseki cest, kjer makadamsko vozišče ne omogoča večjih hitrosti

IVRC	CESTA	ODSEK	DELEZ_MA
R1	217	1209	68%
R3	723	5657	59%
R3	609	1064	94%
R3	728	4815	80%
R3	682	1441	78%
R3	608	1065	74%
R3	608	1068	70%
R3	701	1270	66%
R3	718	5619	99%
R3	728	1148	58%
R3	702	2703	54%
R3	610	1370	52%
R3	649	2915	49%
R3	630	1070	49%
R3	647	1174	45%
R3	656	3650	68%
R3	631	3223	98%
RT	926	5501	85%
RT	911	1123	96%
RT	916	3653	97%
RT	927	5502	96%
RT	907	1101	95%
RT	915	2427	93%
RT	931	1354	93%
RT	915	1376	46%
RT	929	7070	90%
RT	914	2402	83%
RT	917	3621	81%
RT	920	5899	78%
RT	930	7065	75%
RT	908	1383	52%
RT	911	1124	84%
RT	926	6519	92%

8.2.2 Postopek izračuna funkcije upora

Osnova za izračun funkcije upora so meritve avtomatskih števecv in terenskih meritev izvedenih s štetjem prometa in istočasnim merjenjem hitrosti. Mesta meritve so bila skrbno izbrana, saj je zelo pomembno, da v bližini števecv ni motenj, ki bi vplivale na hitrost vozil oziroma na kapaciteto. Meritve pridejo v upoštevanje na tistih odsekih cest, ki so dovolj obremenjeni in kjer obremenitev doseže kapaciteto. Samo v primeru, ko je dosežena

kapaciteta, se lahko celotna krivulja upora približa resničnim karakteristikam prometa, ki so značilne za naše državne ceste. Zato za izračun funkcij upora ne pridejo v poštev meritve hitrosti na terenu. Prav tako tudi ne podatki avtomatskih števec, kjer ni dosežena kapaciteta ceste.

Zaradi specifičnosti mikrolokacij števnih mest QLD6 sem vsako števno mesto analiziral posebej. Pri tem sem moral paziti, da merilno mesto ni v bližini križišč in razcepov ali priključkov, saj ti vplivajo na hitrost vozil in kapaciteto. Na teh mestih se pogosto pojavljajo zgoščitve prometa tudi pri zelo majhnih obremenitvah. Zato so tu majhne potovalne hitrosti. Funkcije upora sem namreč izračunal za čiste cestne odseke, tj. za temeljne cestne odseke.

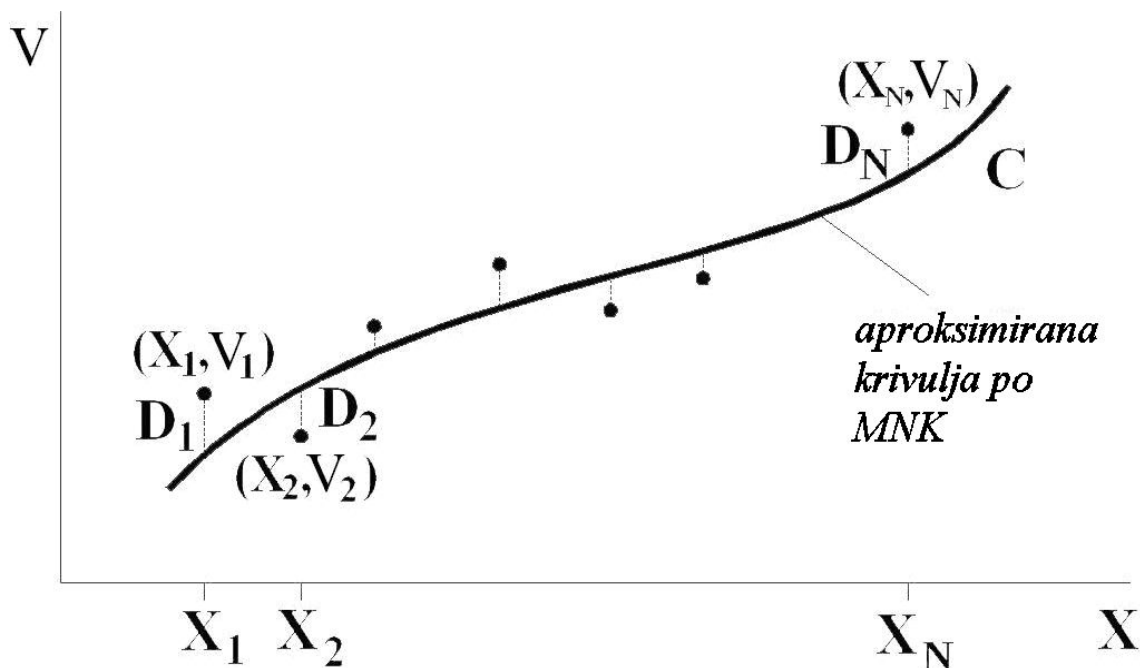
Pri prvi analizi števnih podatkov sem ugotovil, da so obremenitve na državnih cestah majhne, kar še posebej velja za ceste nižjega reda. Izjema so ceste višjega reda in ceste, ki so v bližini večjih naselij. Zato se je število merilnih mest, ki so primerna za izračun funkcije upora, zelo zmanjšalo. V poštev pridejo samo podatki avtomatskih števec, ki so postavljeni na takšnih lokacijah, da se količina prometa približa kapaciteti ali jo doseže oziroma preseže.

Funkcijo BPR in Spiessovo funkcijo sem računal v programu Microsoft Excel, in sicer po metodi najmanjših kvadratov. S to metodo sem aproksimiral funkcijo BPR in Spiessovo funkcijo k predpisanim točkam tako, da sem v nekem smislu minimiziral odmike krivulje funkcije od predpisanih točk. Torej, pri tej metodi zahtevamo, da je vsota kvadratov odklikov krivulje od aproksimacijskih točk minimalna v okviru danih omejitev. Predpisane točke oziroma aproksimacijske točke so števni podatki števca QLD6.

V konkretnem primeru sem imel podatke števnih mest, kjer sem imel N urnih podatkov (X_v, V_v) oziroma parov predpisanih vrednosti. Iskal sem funkcijo BPR oziroma Spiessovo funkcijo $g(X_v)$, katere graf se prilega tem točkam oziroma katere funkcijske vrednosti $g(X_v)$ odstopajo od danih vrednosti V_v tako, da je kvadratni izraz minimalen:

$$F = \sum_{v=1}^N D_v^2 = \sum_{v=1}^N [V_v - g(X_v)]^2 ; \text{ (Enačba 20)}$$

Izraz je vsota kvadratov razlike med funkcijskimi vrednostmi funkcije g (BPR, Spiess) in podanimi vrednostmi avtomatskega števca. Z njim izračunam iskani parameter (β ali α) tako, da bo izraz minimalen.



Grafikon 4: Prikaz aproksimacije po metodi najmanjših kvadratov (simbolni prikaz)

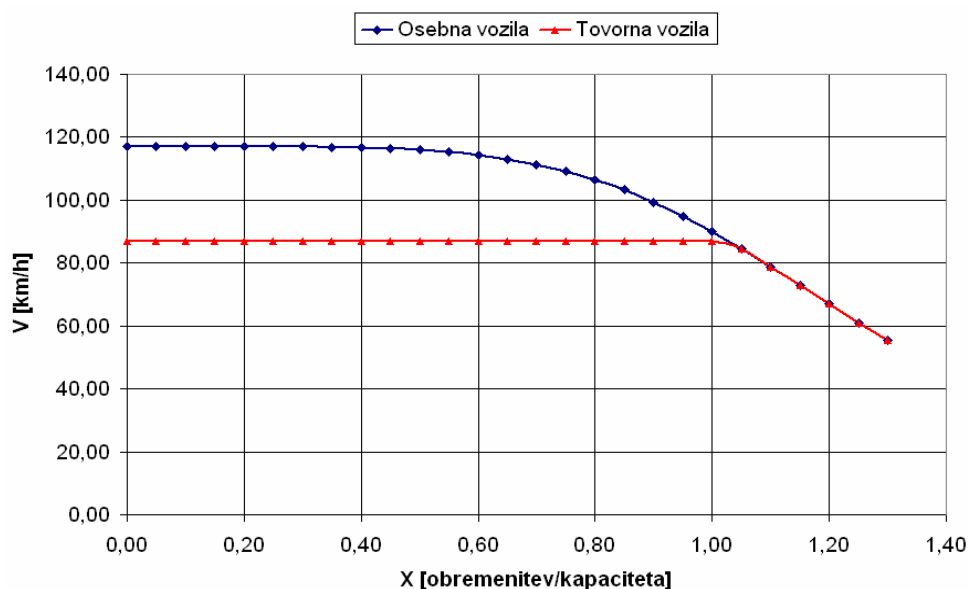
Pri izračunu koeficientov za vsako kategorijo ceste sem upošteval kapacitete, ki so prikazane v preglednici 13. Pri izračunu koeficientov funkcij upora sem moral upoštevati določene karakteristike prometnega toka glede na kategorijo ceste. Kapacitete sem preračunal v enotah EO.V.

8.2.3 Izračun za večpasovne ceste

Večpasovne ceste se najpogosteje pojavljajo v kategoriji avtocest in hitrih cest. V Sloveniji so avtoceste in hitre ceste večinoma štiripasovne, razen na mestih vzponov in razcepov, kjer imamo tudi po tri pasove v posamezno smer. Ti dodatni pasovi zagotavljajo boljšo pretočnost prometa.

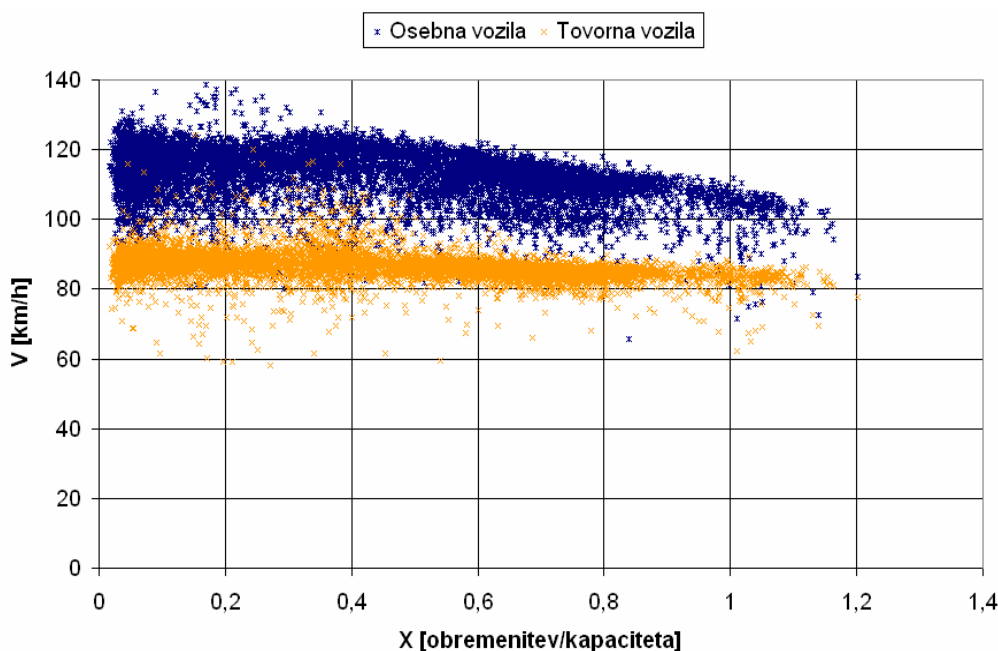
Administrativna omejitev hitrosti na večpasovnih cestah je za osebna vozila drugačna kot za hitrosti težkih vozil z maso nad 3,5t. Zaradi te omejitve prihaja do razlik med povprečno hitrostjo osebnih vozil in tovornih vozil. Ta razlika je največja pri manjših obremenitvah, saj

se osebna vozila lahko gibljejo prosto skoraj brez omejitve, tovorna vozila pa morajo upoštevati administrativno omejitev. Iz grafikonov 5 in 6 je razvidno, da se z večanjem obremenitve razlika hitrosti osebnih in tovornih vozil manjša, vse do trenutka, ko je hitrost osebnih vozil zaradi zasičenosti prometnega toka enaka hitrosti tovornih vozil. Dodatno večanje obremenitve povzroči zmanjševanje hitrosti osebnih in prav tako tovornih vozil.



Grafikon 5: Primerjava hitrosti osebnih in tovornih vozil na večpasovnih cestah

Iz tega sledi spoznanje, da je potrebno za izračun koeficientov funkcije upora upoštevati le hitrosti osebnih vozil, saj bi z upoštevanjem hitrosti tovornih vozil dobili manjše povprečne hitrosti, kot so resnične.



Grafikon 6: Primerjava povprečnih urnih hitrosti na ŠTM 170 glede na tip vozila

Avtoceste

Za kategorijo avtoceste sem imel na voljo podatke šestnajst števnih mest. Po prvi analizi števnih podatkov sem ugotovil, da je uporabnih le pet števnih mest.

Preglednica 16: Števena mesta, ki so bila uporabljena za izračun koeficientov za avtoceste

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
170	0014	LJ(KOSEZE - BRDO)	Z OBVOZNICA	65452
178	0618	LJ (DOLENJSKA - BARJANSKA)	J OBVOZNICA	49920
180	0650	LJ (LITIJSKA-MALENCE)	V OBVOZNICA	49190
645	0620	LJ(MALENCE)-ŠMARJE-SAP	ŠMARJE SAP AC	41216
830	0046	DOMŽALE-ŠENTJAKOB	PŠATA AC	34588

Za izračun funkcij upora sem uporabil tista števna mesta, ki imajo večji PLDP od 34.588 vozil/dan, saj ta števna mesta verjetno opisujejo celotno krivuljo funkcije upora. To pomeni, da se urne obremenitve približajo kapaciteti ceste. Izjema je števno mesto 11 Bertoki AC, ki kljub visokemu povprečnemu letnemu dnevnomu prometu ne doseže dovolj velikih urnih obremenitev. Vzrok za to je drugačna urna distribucija prometa.

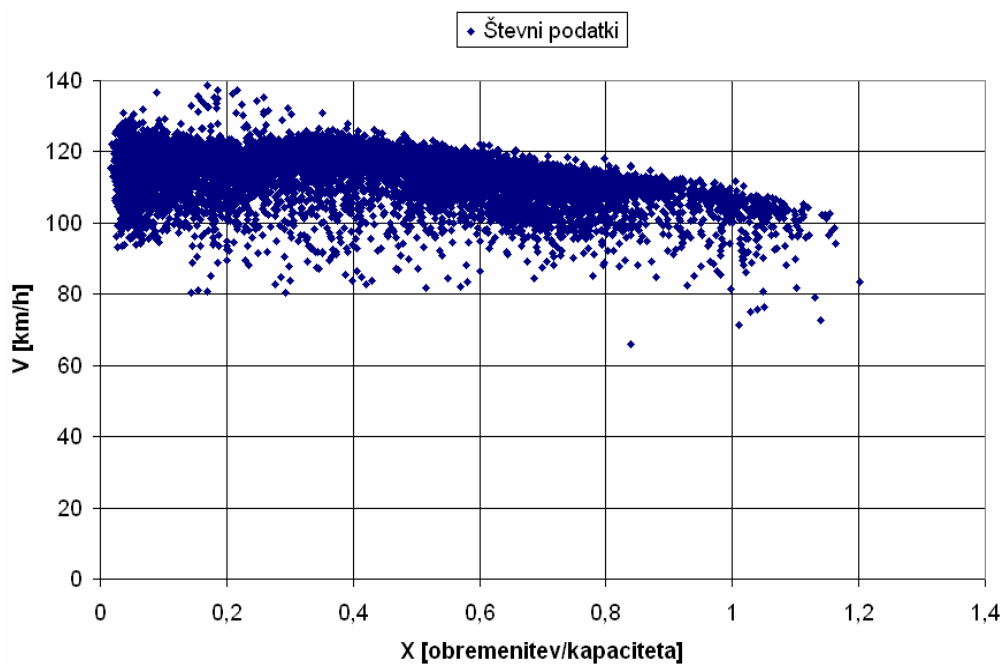
Preden sem začel z izračunom funkcij upora, sem moral številne podatke tudi filtrirati. Filtriral sem jih, ker nekateri podatki zelo odstopajo od glavnine. Razlogi za to odstopanje so različni, npr: dela na cesti, neugodne vremenske razmere, nesreče, ... Filtriranja sem se lotil tako, da sem številne podatke razvrstil v razrede glede na obremenitev. Ko so bili podatki razvrščeni, sem jih filtriral tako, da sem odrezal vse podatke, ki so bili večji od vrednosti kvantila 0,95 in podatke, ki so bili manjši od vrednosti kvantila 0,15 dane porazdelitve hitrosti. Ta postopek sem opravil za vsa številna mesta in za vse kategorije cest. Izračunane vrednosti torej veljajo v okviru teh kvantilov.

Pri izračunu funkcije BPR sem koeficient α izračunal na osnovi hitrosti prostega prometnega toka in hitrosti pri doseženi kapaciteti, kot je to zapisano v enačbi 11. Koeficient β pa sem izračunal z metodo najmanjših kvadratov, kot tudi koeficient α Spiessove funkcije.

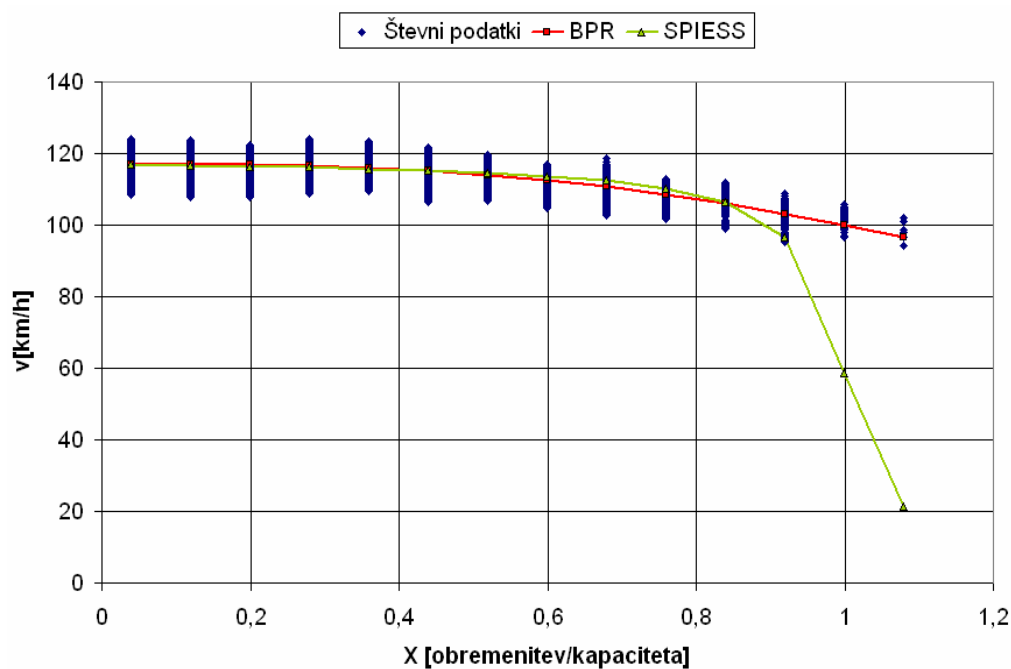
Na podlagi podatkov meritev hitrosti in štetja prometa na številnem mestu 170 Zahodna obvoznica, bom prikazal izračun funkcije upora. Pri tem bom primerjal funkcijo BPR in Spiessovo funkcijo. Številno mesto 170 je locirano na štiripasovni avtocesti AC-A2, odsek 0014 Ljubljana (Koseze-Brdo) in meri hitrost v smeri proti Brdu. Iz urnih obremenitev je razvidno, da je na odseku dosežena kapaciteta, saj je maksimalna urna obremenitev 3994 vozil/h. Kapaciteta AC odseka je okoli 3500 vozil/h.

Grafikon 7 prikazuje realne številne podatke, ki so bili izmerjeni z avtomatskim števcem. Te podatke sem filtriral in na podlagi filtriranih podatkov sem izračunal parametre funkcije BPR in Spiessove funkcije.

Iz grafikona 8 je razvidno, da funkcija BPR bolje sledi dejanskim izmerjenim podatkom obremenitev-hitrost kot Spiessova funkcija. Šibka točka Spiessove funkcije za ta tip ceste je drugo pravilo, ki pravi, da se hitrost pri doseženi kapaciteti razpolovi, kajti v resničnosti se to ni zgodilo. V grafikonu 8 so poleg linije funkcije BPR in Spiessove funkcije tudi filtrirani številni podatki, ki so v navpičnih stolpičih. Ti so razvrščeni v posamezne razrede ter očiščeni tistih podatkov, ki odstopajo od glavnine. To se lepo vidi, če primerjamo grafikona 7 in 8.



Grafikon 7: Osnovni števni podatki za izračun funkcije upora (ŠTM 170)



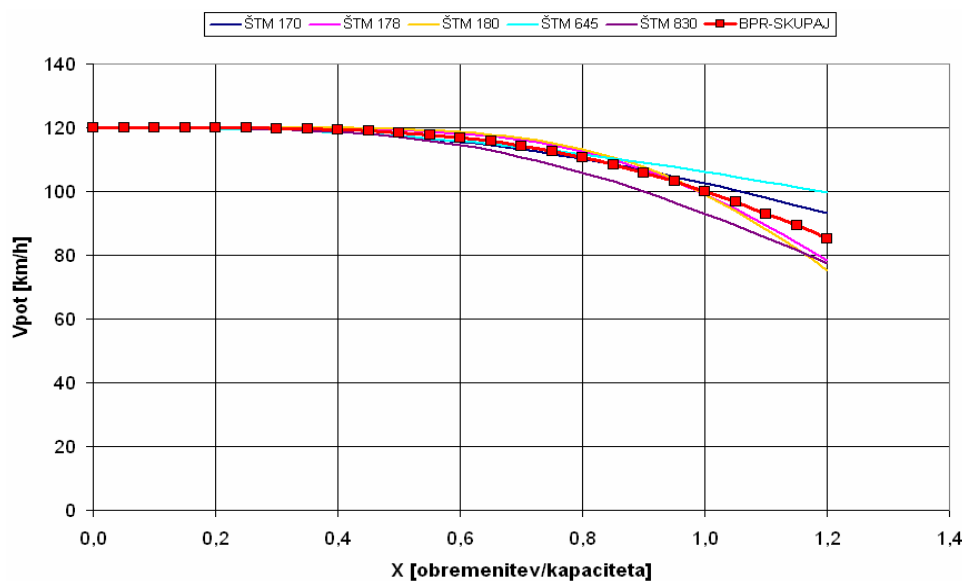
Grafikon 8: Aproksimacija funkcije BPR in Spiessove funkcije k filtriranim podatkom števnega mesta 170

Postopek izračuna sem ponovil za vseh petih relevantnih števnih mest kategorije avtocest. Pri vseh izračunih sem prišel do spoznanja, da se za kategorijo avtocest bolje aproksimira funkcija BPR, saj je vsota kvadratov razlik pri vsakem števcu manjša od vsote Spiessove funkcije. Iz rezultatov se tudi vidi, da parameter α Spiessove funkcije zelo niha. Na osnovi te ugotovitve, sem se odločil, da bom kot končno funkcijo upora izbral funkcijo BPR. To velja za kategorijo avtoceste.

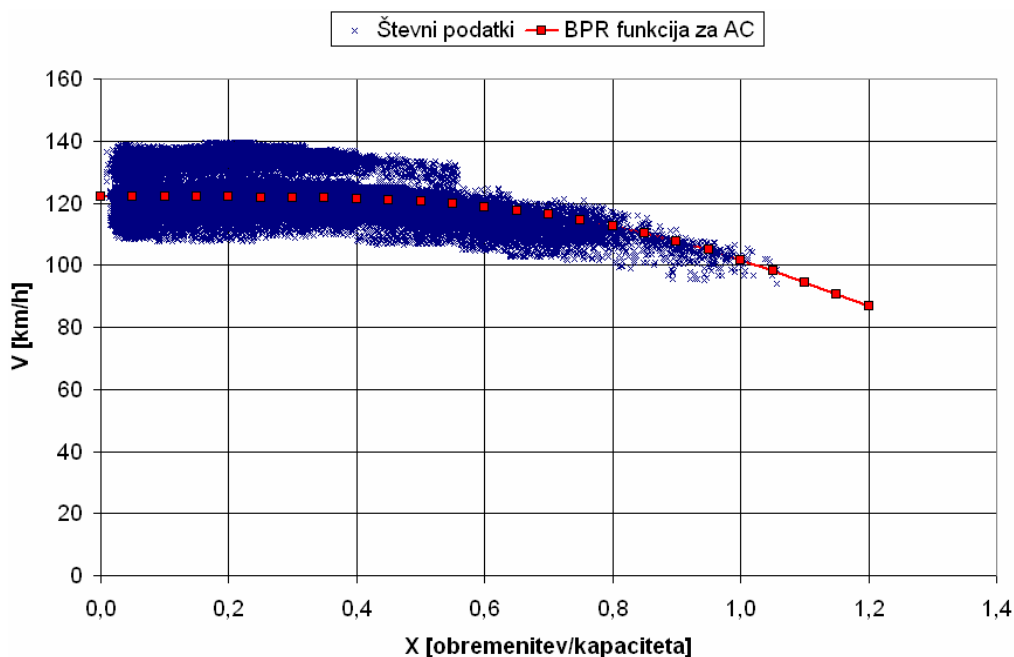
Preglednica 17: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (AC)

ŠTM	BPR		SPIESS	V_0 (km/h)
	α	β	α	
170	0,17	2,9	26,8	117,0
178	0,21	5,1	62,1	118,5
180	0,21	5,7	85,0	120,0
645	0,13	2,5	41,0	121,5
830	0,29	3,5	21,9	134,0
SKUPAJ	0,2	3,9	-	-

Končni rezultat analize števcov za kategorijo avtoceste je povprečna vrednost koeficientov BPR funkcije. Vrednosti sem ponovno izračunal z aproksimacijo po metodi najmanjših kvadratov tako, da sem vse krivulje aproksimiral k isti hitrosti prostega prometnega toka (grafikon 9). Končne vrednosti koeficientov funkcije BPR vseh števnih mest za kategorijo avtoceste znašajo: $\alpha = 0,2$, $\beta = 3,9$.



Grafikon 9: Funkcije BPR in skupna funkcija za AC



Grafikon 10: Prileganje končne funkcije BPR k podatkom števnih mest 170, 178, 180, 645, 830

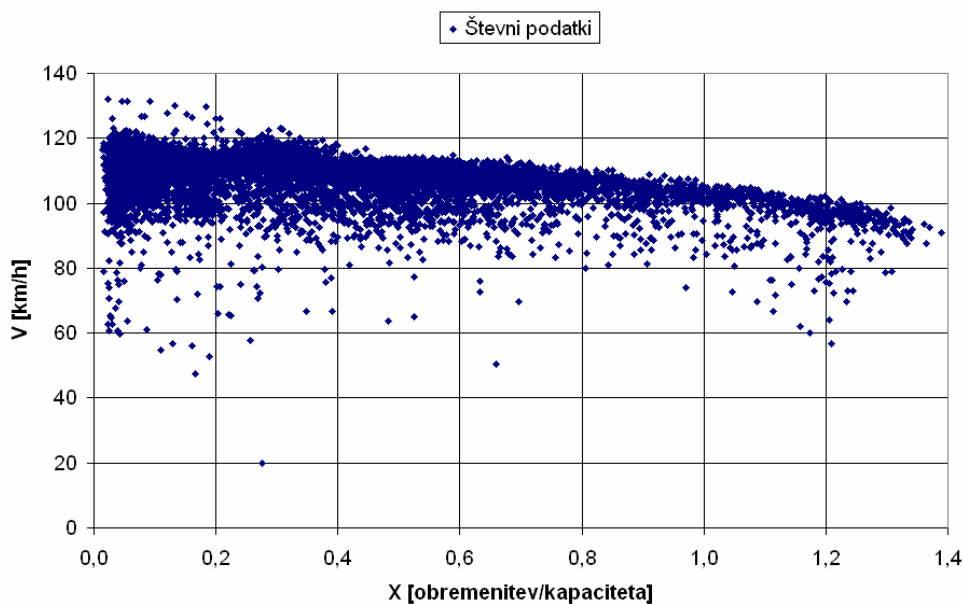
Štiri pasovna hitra cesta

Za kategorijo štiripasovne hitre ceste sem imel na voljo podatke s šestih števnih mest. Kapaciteta štiripasovne hitre ceste je okoli 3000 vozil/h/smer. Po prvi analizi števnih podatkov sem ugotovil, da so podatki uporabni le na treh števnih mestih. Na ostalih števnih mestih ceste niso dovolj obremenjene, da bi podatki prišli v upoštevanje.

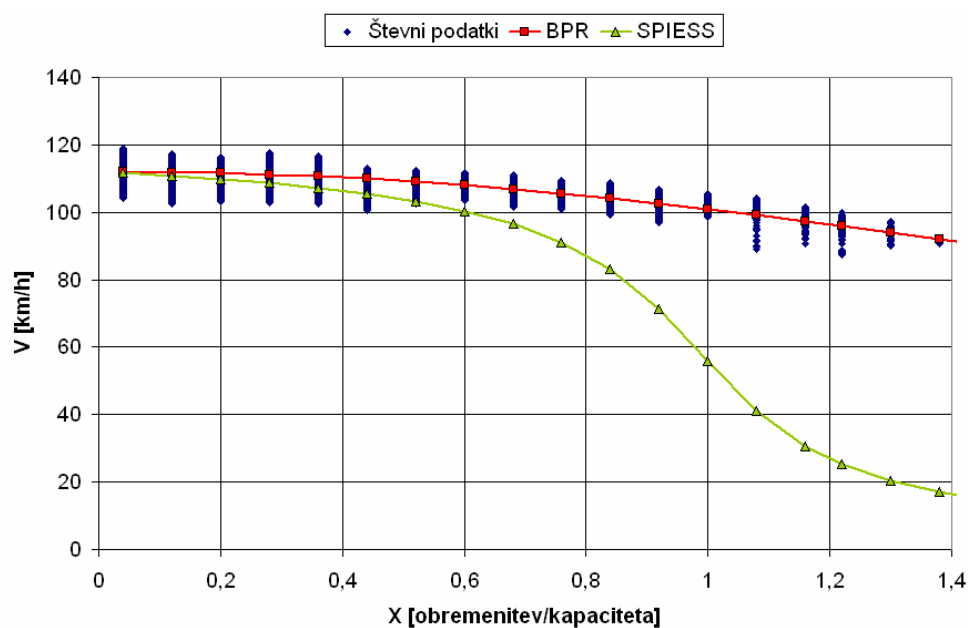
Preglednica 18: Števena mesta, ki so bila uporabljena za izračun štiripasovne hitre ceste

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
15	0033	MARIBOR-TEZNO	MARIBOR HC	46364
174	0689	LJ(DUNAJSKA - CELOVŠKA)	S OBVOZNICA	56398
179	0685	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	SV OBVOZNICA	59172

Parametre funkcije upora sem izračunal po istem postopku kot pri avtocestah.



Grafikon 11: Osnovni števni podatki za izračun funkcije upora (ŠTM 179)



Grafikon 12: Aproksimacija funkcije BPR in Spiessove funkcije k filtriranim podatkom števnega mesta 179

Na grafikonih 11 in 12 je prikazan primer števnega mesta 179 SV ljubljanska obvoznica.

Števno mesto je locirano na štiripasovni hitri cesti HC-H3, odsek 0085 Ljubljana

(Zadobrova-Šmartinska) in meri hitrost v smeri Zadobrove. Iz grafikona je razvidno, da je na

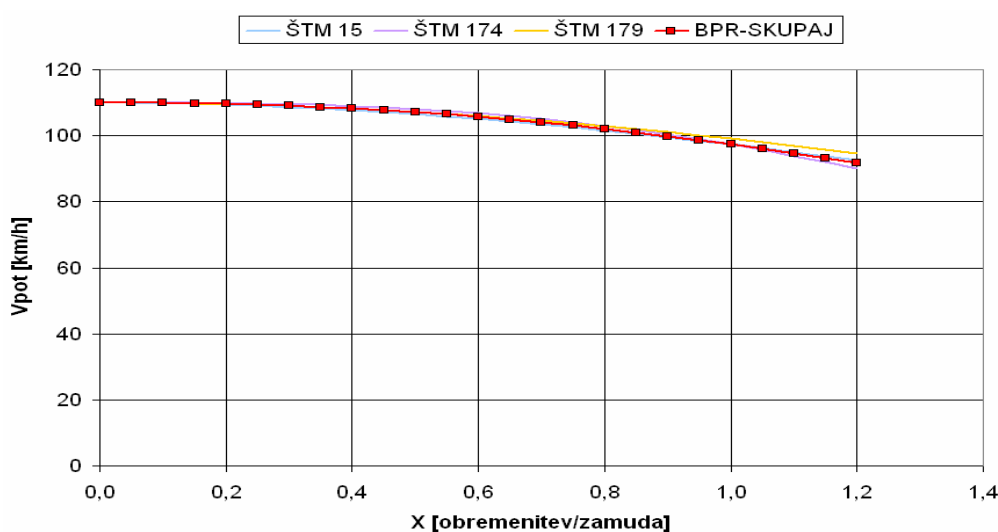
tem števnem mestu dosežena kapaciteta. Povprečna potovalna hitrost pri doseženi kapaciteti je približno 101 km/h. V grafikonu 12 sta prikazani poleg filtriranih števnih podatkov tudi pripadajoča funkcija BPR in Spiessove funkcija.

Pri štiripasovnih hitrih cestah sem je rezultat podoben, kot pri avtocestah. Pri funkciji BPR je vsota kvadratov razlik pri vseh števcih manjša od vsote pri Spiessovi funkciji. To pomeni, da je aproksimacija funkcije BPR k števnim podatkom boljša od Spiessove. V preglednici 19 so rezultati izračuna za vsa tri števna mesta.

Povprečne vrednosti koeficientov funkcije BPR sem ponovno izračunal z metodo najmanjših kvadratov. Tako, kot pri avtocestah (grafikon 13). Povprečne vrednosti vseh treh števnih mest so: $\alpha = 0,13$, $\beta = 2,3$.

Preglednica 19: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (HC-4pasovna)

ŠTM	BPR		SPIESS	V ₀ (km/h)
	α	β	α	
15	0,13	2,0	18,7	117,0
174	0,13	2,9	20	116,5
179	0,11	2,1	7,2	112,0
SKUPAJ	0,13	2,3	-	-



Grafikon 13: Funkcija BPR za kategorijo cest 4-pasovne hitre ceste

8.2.4 Dvopasovna cesta

Dvopasovne ceste se pojavljajo v nižjih kategorijah cest in tudi v kategoriji hitrih cest. Pri dvopasovnih cestah pričakujemo nižje potovalne hitrosti v primerjavi s hitrostmi na večpasovnih cestah, saj je administrativna omejitev hitrosti za osebna in tovorna vozila 90km/h in vozniki pogosto so slabši. Za te ceste je značilno, da so hitrosti odvisne tudi od nasprotismernega prometa. Večji je nasprotni promet, manj je možnosti prehitevanja. V študiji »Delay-Volume Relations for Travel Forecasting Based on the 1985 Highway Capacity Manual« je Alan Horowitz upošteval nasprotismeren promet:

$$q_a = q_s + \tau * q_0 ; \text{(Enačba 21)}$$

kjer je:

q_a = prilagojena obremenitev v obravnavani smeri (EOV/h),

q_s = obremenitev v obravnavani smeri (EOV/h),

q_0 = obremenitev v nasprotni smeri od obravnavane smeri (EOV/h).

Vrednost obremenitve q_a uporabimo pri izračunu povprečnih potovalnih hitrosti, pri iskanju razmerja obremenitev-kapaciteta. Za podeželske ceste je priporočena vrednost koeficienta $\tau = 0,4$.

Izračun koeficientov funkcije upora je potekal po istem postopku kot pri večpasovnih cestah. Razlika je le v tem, da sem pri izračunu upošteval tudi povprečne hitrosti težkih tovornih vozil, saj ti vozijo z isto hitrostjo kot osebna vozila.

Dvopasovna hitra cesta

Za kategorijo dvopasovnih hitrih cest sem imel na voljo podatke petih števnih mest.

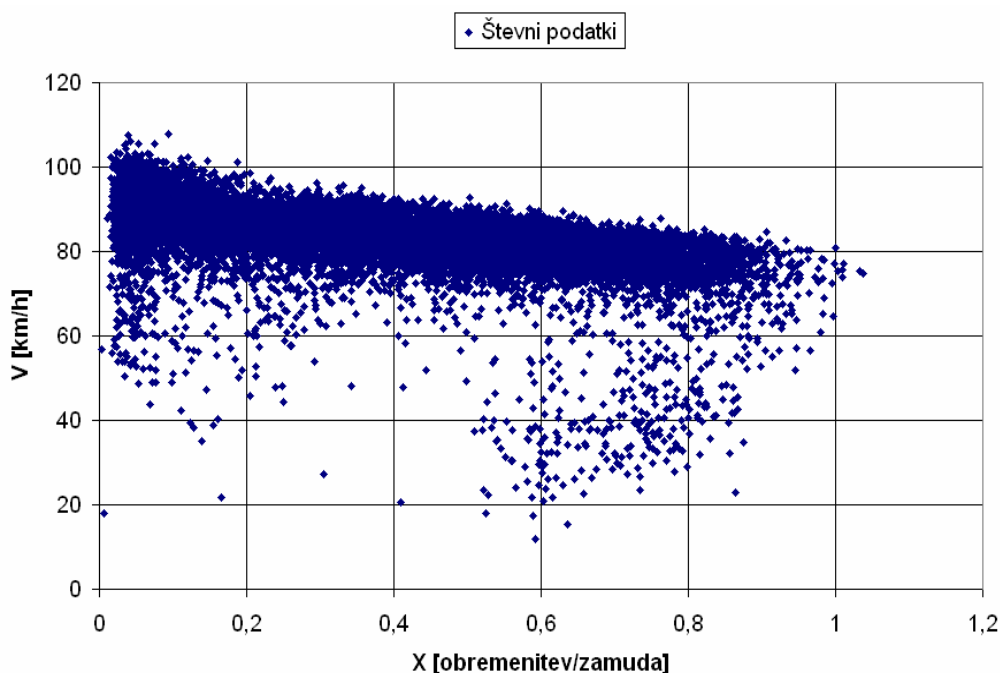
Kapaciteta dvopasovne hitre ceste je 1500 vozil/h/smer. Po prvi analizi števnih podatkov sem ugotovil, da so uporabni le podatki dveh števnih mest. Na območjih ostalih števecv ceste niso dovolj obremenjene.

Preglednica 20: Števni mesti, ki sta bili uporabljeni v izračunu koeficientov za dvopasovne hitre ceste

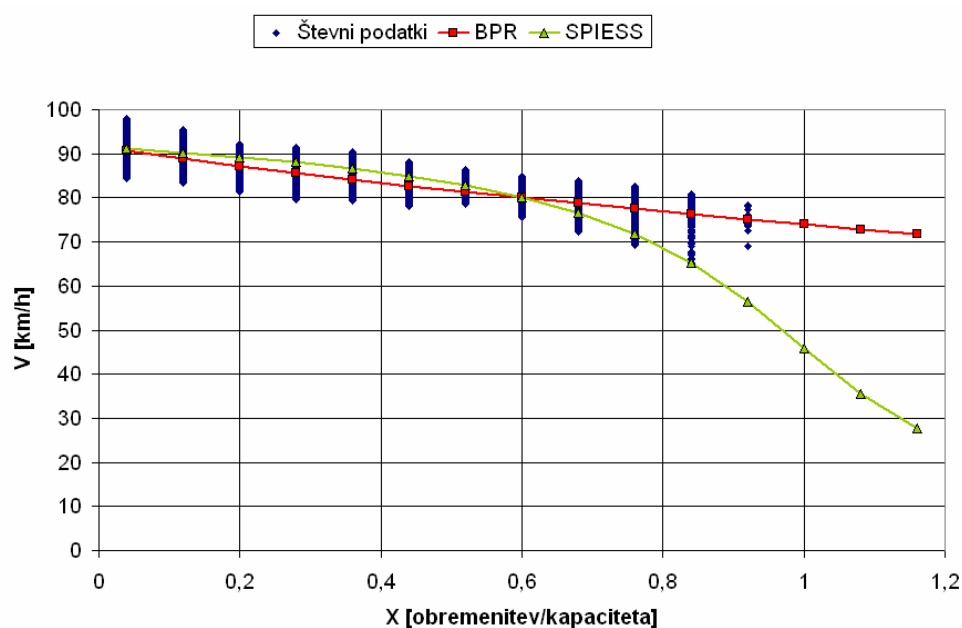
Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
50	1462	ČRNIVEC-LEŠNICA	LEŠNICA	26209
634	0221	TREBNJE-KARTELJEVO	TREBNJE	17595

Tako kot pri prvih dveh kategorijah, sem tudi tukaj podatke najprej filtriral in nato izračunal koeficiente funkcije BPR in Spiessove funkcije. Filtriranje podatkov je potekalo po istem postopku kot v prejšnjih primerih. V tem primeru je vzorec res majhen, vendar drugih podatkov ni.

Števno mesto 50 Lešnica je na dvopasovni hitri cesti H1, in sicer na odseku 1462 Črnivec-Lešnica. Števec šteje promet v obe smeri. Na tem števnem mestu obremenitev ceste ne doseže kapaciteto, vendar sem kljub temu lahko ocenil hitrost pri doseženi kapaciteti.



Grafikon 14: Osnovni števni podatki za izračun funkcije upora (ŠTM 50)



Grafikon 15: Aproksimacija funkcije BPR in Spiessove funkcije k filtriranim št. podatkom števnege mesta 50

Iz grafikona je razvidno, da se funkcija upora pri dvopasovnih cestah razlikuje od funkcije pri večpasovnih cestah. V tem primeru začne hitrost takoj padati, in sicer z večanjem obremenitve. Pri večpasovnih cestah se hitrost najprej ohranja in začne padati šele pri dovolj nasičenem prometnem toku začne padati. Razlog za ohranjanje hitrosti je možnost prehitevanja počasnejših vozil. Ko je prometni tok dovolj nasičen, je to prehitevanje skorajda nemogoče, zato pride do padca hitrosti..

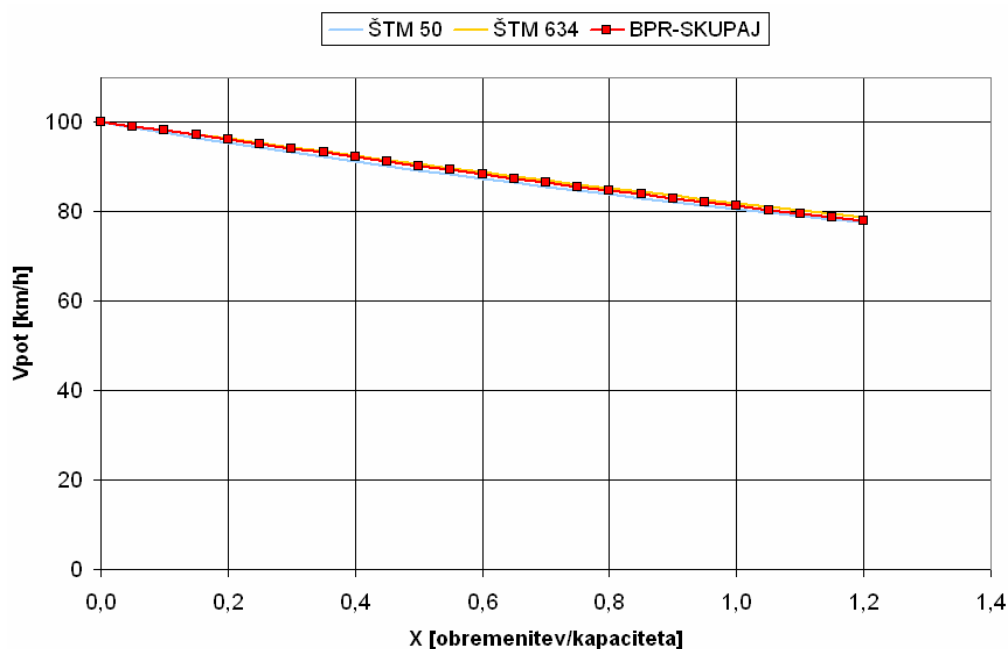
Preglednica 21: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števni mestih (HC-2pasovna)

ŠTM	BPR		SPIESS	V ₀ (km/h)
	α	β	α	
50	0,24	0,22	5,9	91,5
634	1,0	1,1	4,9	84,5
SKUPAJ	0,23	1,1	-	-

Tudi v tej kategoriji ceste sem primerjal funkcijo BPR in Spiessovo funkcijo. Ponovno sem ugotovil, da je vsota kvadratov razlik manjša za funkcijo BPR. Torej tudi v tem primeru je funkcija BPR ugodnejša od Spiessove, kot lahko opazimo tudi na grafikonu 14. Izračunal sem

povprečno vrednost koeficientov funkcije BPR, čeprav je velikost vzorca zelo majhna.

Povprečna vrednost obeh koeficientov funkcije BPR je: $\alpha = 0,23$, $\beta = 1,1$.



Grafikon 16: Funkcija BPR za dvopasovne hitre ceste

Potek izračuna je bil pri ostalih kategorijah dvopasovnih cest skoraj identičen. Pri vseh števcih sem primerjal funkcijo BPR in Spiessovo funkcijo. Število vhodnih podatkov se razlikuje glede na kategorijo ceste.

Glavne in regionalne ravninske ceste

G1-ravninska

Za kategorijo G1-ravninska sem imel na voljo podatke petintridesetih števnih mest.

Kapaciteta dvopasovne glavne in regionalne ravninske ceste je 1250 vozil/h/smer. Po prvi analizi števnih podatkov sem ugotovil, da je za nadaljnjo analizo primernih sedem števcov.

Primerjava funkcij je zopet pokazala, da se funkcija BPR boljše aproksimira k števnim podatkom. Izjema sta bili števnimi mesti 146 Lipovci in 639 Zgornja Hajdina, kjer se je

Spiessova funkcija boljše prilegala, vendar so razlike v primerjavi s funkcijo BPR zelo majhne.

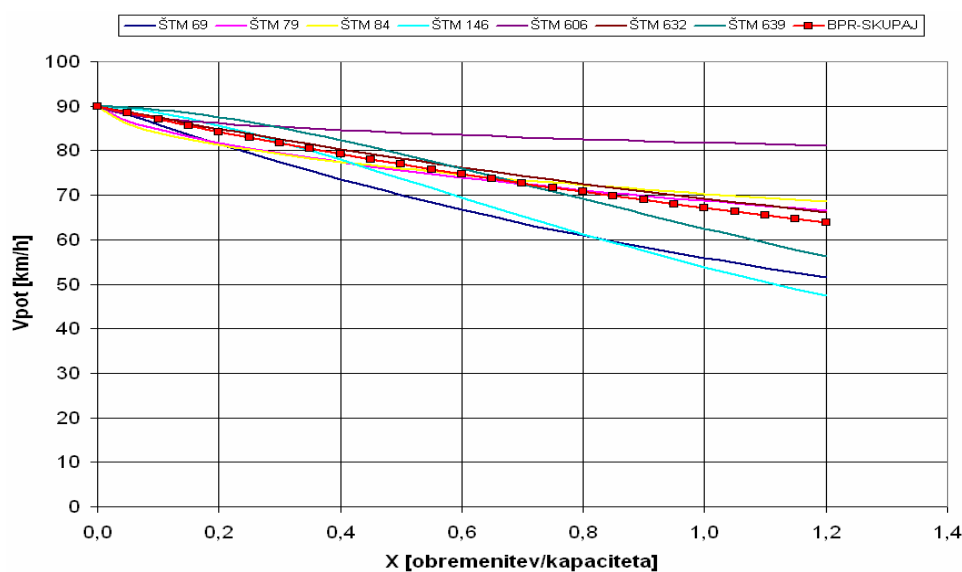
To sta edini števnimi mesti, kjer se je Spiessova funkcija boljše obnesla.

Preglednica 22: Števena mesta, ki so bila na voljo za kategorijo G1-ravninska

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
69	0286	ARJA VAS- CELJE	DREŠINJA VAS	16432
79	0313	RIŽANA-KRIŽ.DEKANI	DEKANI	19178
84	0314	PESNICA-LENART	MOČNA	14579
146	1397	LIPOVCI-BRATONCI	LIPOVCI	14067
606	1400	MIKLAVŽ-HAJDINA	STARŠE	16453
632	0208	LESCE-ČRNIVEC	RADOVLJICA	26402
639	1290	KIDRIČEVO-HAJDINA	ZGORNJA HAJDINA	11657

Preglednica 23: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (G1-ravninska)

ŠTM	BPR		SPIESS	V_0 (km/h)
	α	β	α	
69	0,61	1,1	2,1	80,5
79	0,31	0,7	3,5	67,0
84	0,28	0,6	2,6	66,5
146	0,67	1,6	2,5	63,5
606	0,10	0,5	8,0	60,0
632	0,30	1,0	6,7	87,0
639	0,44	1,7	4,8	71,0
SKUPAJ	0,34	1,0	-	-



Grafikon 17: Funkcija BPR za kategorijo cest G1-ravninske

G2-ravninska

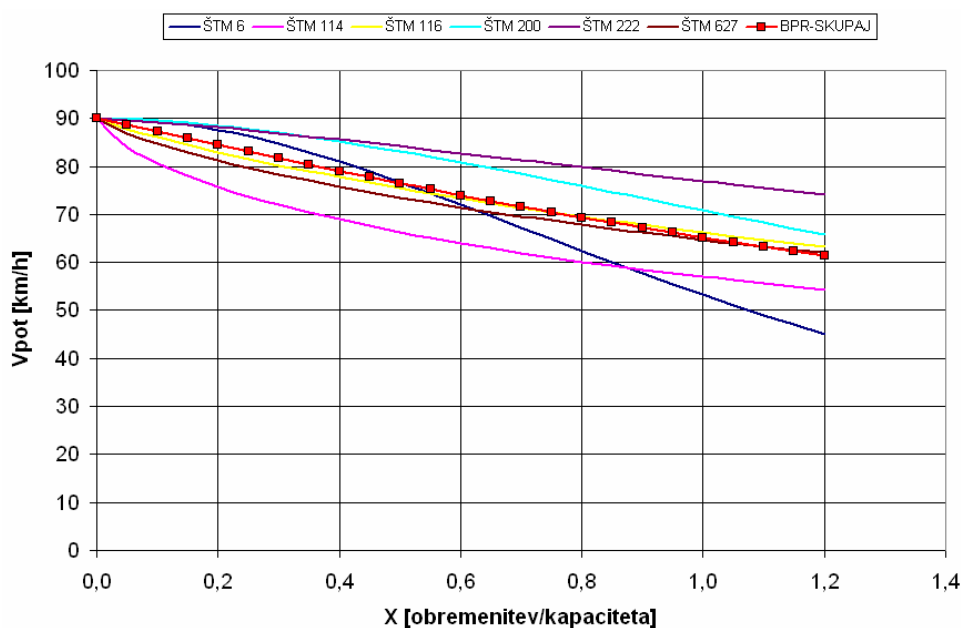
Za kategorijo G2-ravninska je bilo primernih šest od tridesetih števnih mest, ki so bili na voljo. Pri izračunu koeficientov sem ugotovil, da je funkcija BPR boljša. Končna povprečna vrednost koeficientov je: $\alpha=0,38$ in $\beta=1,1$.

Preglednica 24: Števena mesta, ki so bila primerna za izračun koeficientov (G2-ravninska)

Števno mesto	IVRC	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
6	G2	LJ(RUDNIK)-ŠKOFLJICA	ŠKOFLJICA	17183
114	G2	ŠENTJAKOB-DOLSKO	DOL	13043
116	G2	MENGEŠ-TRZIN	LOKA	17532
200	G2	KRANJ-LETALIŠČE BRNIK	KR PRIMSKOVO 1	20096
222	G2	NG(KROMBERŠKA -ROŽNA DOLINA	PANOVEC	24585
627	G2	LETALIŠČE BRNIK-SP.BRNIK	BRNIK	15408

Preglednica 25: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (G2-ravninska)

ŠTM	BPR		SPIESS	V ₀ (km/h)
	α	β	α	
6	0,69	2,0	4,2	79,5
114	0,58	0,7	1,7	95,0
116	0,36	0,9	3,0	81,5
200	0,27	1,7	7,7	70
222	0,17	1,3	11,1	64,5
627	0,39	0,8	2,5	69,5
SKUPAJ	0,38	1,1	-	-



Grafikon 18: Funkcija BPR za kategorijo cest G2-ravninske

R1-ravninska

Za kategorijo R1-ravninska sem imel na voljo podatke sedemindvajsetih števnih mest.

Kriterijem za izračun koeficientov so zadoščala le štiri števna mesta.

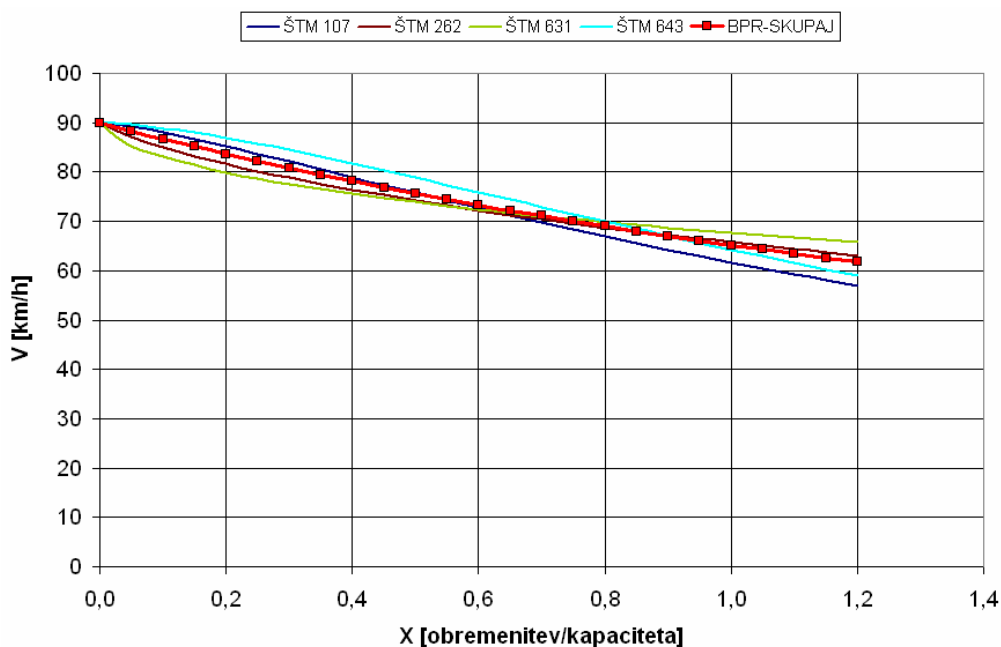
Preglednica 26: Števna mesta, ki so bila primerna za izračun koeficientov (R1-ravninska)

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
107	1077	ŠKOFJA LOKA	ŠKOFJA LOKA	24236
262	1012	ŠEMPETER-VOLČJA DRAGA	VOLČJA DRAGA	11326
631	0203	KR.GORA-MOJSTRANA-DOVJE	GOZD MARTULJEK	5853
643	0212	MEDVODE-STANEŽIČE	MEDNO	26258

Tudi v tej kategoriji se je obnesla bolje funkcija BPR. Končna povprečna vrednost koeficientov je skoraj identična kot pri kategoriji G2-ravninska: $\alpha=0,38$ in $\beta=1,0$.

Preglednica 27: Koeficienti funkcije upora, izračunani na posameznih števnih mestih (R1-ravninska)

ŠTM	BPR		SPIESS	V ₀ (km/h)
	α	β	α	
107	0,46	1,3	3,9	51,0
262	0,37	0,8	2,0	70,0
631	0,33	0,6	2,2	66,0
643	0,4	1,5	6,0	67,0
SKUPAJ	0,38	1	-	-



Grafikon 19: Funkcija BPR za kategorijo cest R1-ravninske

R_{ostalo-ravninska}

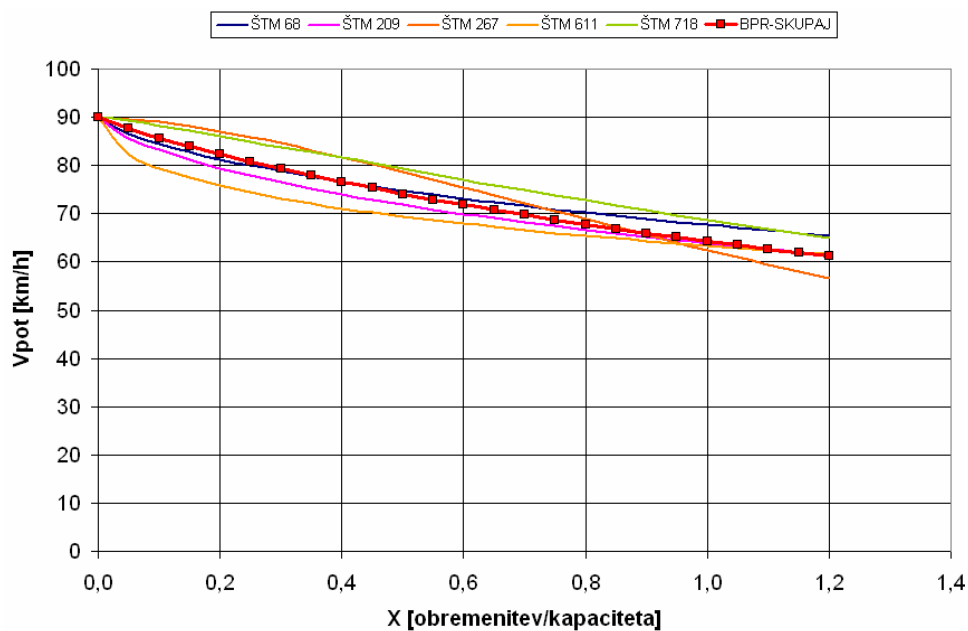
Kategorija R_{ostalo} združuje kategorije cest R2, R3 in RT. Imel sem na voljo trideset števcov, od teh je bilo primernih pet. Pri aproksimaciji funkcij k števnim podatkom je funkcija BPR primernejša. Končna povprečna vrednost koeficientov je: $\alpha=0,40$ in $\beta=0,9$. Rezultat se bistveno ne razlikuje od kategorij G1-ravninska in G2-ravninska.

Preglednica 28: Števena mesta, ki so bila primerna za izračun koeficientov za kategorijo $R_{\text{ostalo-ravninska}}$

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
68	0282	VIŠNJA VAS-CELJE(AC)	VOJNIK	15390
209	1437	AJŠEVICA-KROMBERK	KROMBERK	15749
267	0300	AC BREZOVICA-BREZOVICA	BREZOVICA	24583
611	0300	BREZOVICA-VRHNIKA	DRENOV GRIČ	11761
718	1454	POLICA-KR(KIDRIČEVA)	KR ZLATO POLJE	18522

Preglednica 29: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih ($R_{\text{ostalo-ravninska}}$)

ŠTM	BPR		SPIESS	V_0 (km/h)
	α	β	α	
68	0,33	0,7	2,3	68,0
209	0,41	0,7	2,0	83
267	0,44	1,6	5,3	65
611	0,42	0,5	1,3	75
718	0,31	1,2	4,5	72
SKUPAJ	0,40	0,9	-	-



Grafikon 20: Funkcija BPR za kategorijo cest $R_{\text{ostalo-ravninske}}$

Glavne in regionalne razgibane ceste

G1-razgibana

Z kategorijo G1-razgibana sem imel na voljo podatke s petih števnih mest. Po prvem pregledu števnih podatkov sem ugotovil, da so primerni štirje števci, ki sem jih uporabil za nadaljnji izračun koeficientov. Teoretična kapaciteta je 1000 vozil/h/smer.

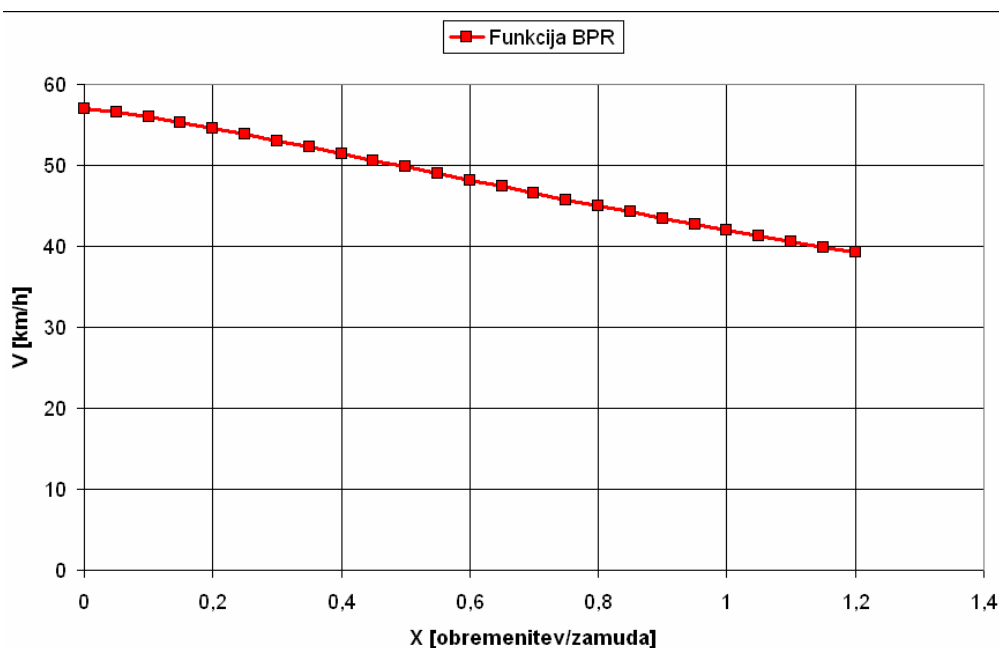
Preglednica 30: Števena mesta, ki so primerna za izračun koeficientov za kategorijo G1-razgibana

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
72	0292	TROJANE-BLAGOVICA	TROJANE	22585
149	1062	KOPER-ŠMARJE	KOPER	12480
614	1499	KLANEC-KASTELEC	PETRINJE	16900
686	0235	ŠKOFIJE-KRIŽ. DEKANI	SP ŠKOFIJE	18440

Preglednica 31: Koeficienti funkcije upora, izračunani na posameznih števnih mestih (G1-razgibana)

ŠTM	BPR		SPIESS	V ₀ (km/h)
	α	β	α	
72	0,21	2,1	19,0	55,0
149	0,27	0,7	3,0	70,0
614	0,27	1,7	7,8	78,0
686	0,45	1,5	4,7	61,0
SKUPAJ	0,29	1,3	-	-

Tako kot pri ostalih kategorijah se je tudi v kategoriji bolje obnesla funkcija BPR. Povprečna vrednost koeficientov je: $\alpha=0,29$ in $\beta=1,3$.



Grafikon 22: Funkcija BPR za kategorijo cest G2-razgibana

R1-razgibana

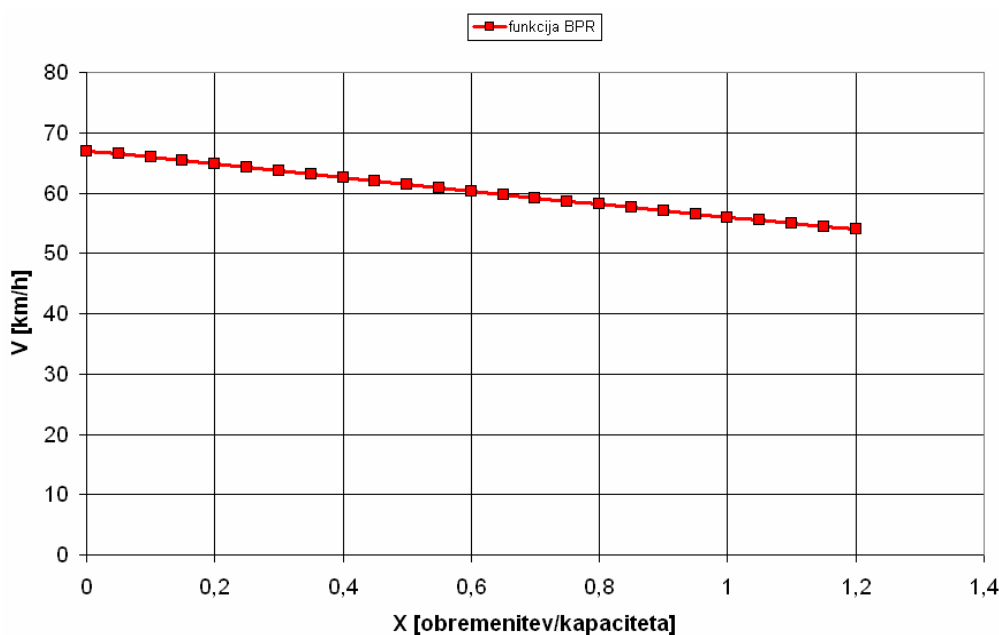
Tako kot v kategoriji G2-razgibana, je tudi v tej kategoriji merodajno samo eno števno mesto, čeprav sem imel na voljo šest števnih mest. Tudi v tej kategoriji se je bolje obnesla funkcija BPR. Vrednosti koeficientov so: $\alpha=0,20$ in $\beta=1,1$

Preglednica 34: Števno mesto, ki je primerno za izračun koeficientov za kategorijo R1-razgibana

Števno mesto	Številka odseka	Prometni odsek	Ime števnege mesta	PLDP (vozil/dan)
109	1088	LESCE-BLED	BLED	19371

Preglednica 35: Koeficienti funkcije upora izračunani na posameznih števnih mestih (R1-razgibana)

ŠTM	BPR		SPIESS	V ₀ (km/h)
	α	β	α	
109	0,20	1,1	8,9	67,0



Grafikon 23: Funkcija BPR za kategorijo cest R1-razgibana

R_{ostalo}-razgibana

Za to kategorijo sem imel na voljo štiri števna mesta, vendar nobeno ni bilo primerno za nadaljnjo analizo. Na odsekih, kjer so locirana, povprečni letni dnevni promet ne preseže 6600 vozil/dan. To je premalo, da bi lahko opisal celotno krivuljo odnosa obremenitev-hitrost.

8.3 Rezultati izračuna in njihova primerjava

V preglednici 36 so prikazani rezultati izračuna funkcije upora glede na kategorijo ceste. Prikazani so samo parametri funkcije BPR, ki se je pokazala kot primernejša.

Kljub temu, da sem imel na voljo veliko podatkov iz števca QLD6, je bilo le malo uporabnih. To je posledica razmeroma majhne obremenjenosti državnih cest. Izjema so prometnice in odseki cest, ki so blizu večjih mest. Zaradi pomanjkanja podatkov nisem mogel izračunati koeficientov funkcije upora za kategorijo R_{ostalo} , za razgibani teren. Koeficienti, ki so izračunani za kategorije cest R1, G2 in G1 razgibani teren niso tako zanesljivi, saj sem imel na voljo zelo majhen vzorec.

Preglednica 36: Parametri funkcije BPR v odvisnosti od kategorije odseka ceste

Upravna kategorizacija	Dodatna kategorizacija	Kapaciteta (vozil/h/smer)	Koeficient α	Koeficient β	Velikost vzorca
AC	4 pasovna	3500	0,20	3,9	5
HC	4 pasovna	3000	0,13	2,3	3
	2 pasovna	1500	0,23	1,1	3
G1	ravninska	1250	0,34	1,0	7
	razgibana	1000	0,29	1,3	4
G2	ravninska	1250	0,38	1,1	6
	razgibana	1000	0,36	1,3	1
R1	ravninska	1250	0,38	1,0	4
	razgibana	1000	0,20	1,1	1
Rostalo	ravninska	1250	0,4	0,9	5
	razgibana	750	-	-	-

Združevanje kategorij in funkcij BPR

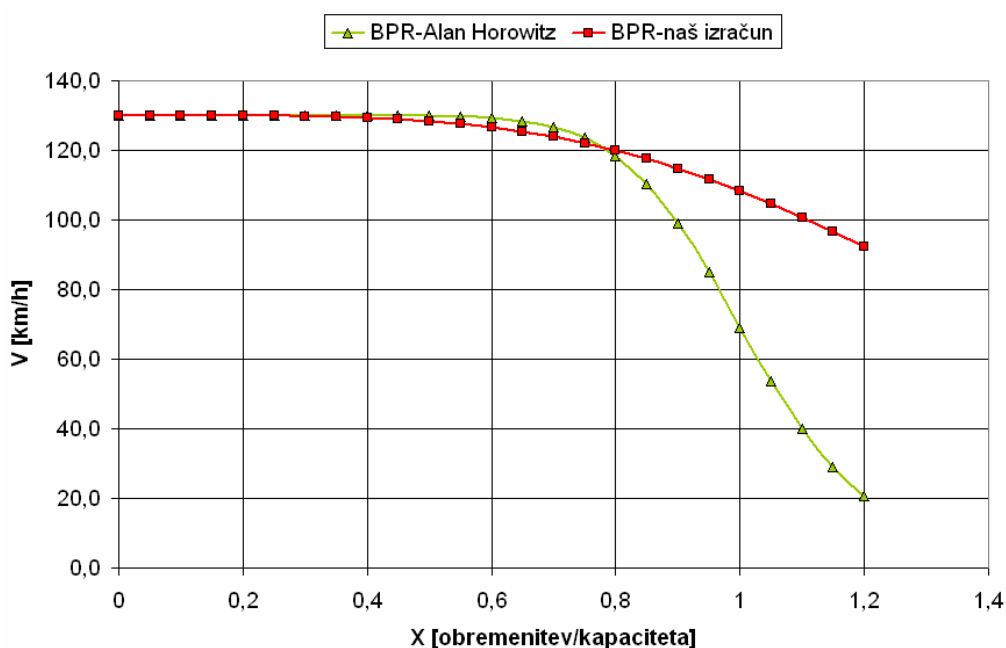
Po podrobnem pregledu rezultatov sem ugotovil, da se koeficienti nekaterih kategorij skoraj ne razlikujejo, zato določanje posebnih funkcij zanj nima smisla. Na podlagi te ugotovitve sem združil kategorije cest G1 ravninska, G2 ravninska, R1 ravninska in R_{ostalo} ravninska v eno kategorijo G+R ravninska. Isto sem naredil s kategorijami G1 razgibana, G2 razgibana, R1 razgibana in R_{ostalo} razgibana, ki sem jih združil v kategorijo R+G razgibana. Tako sem dobil združene koeficiente funkcij BPR in združeno kategorizacijo cest. Kategorijo R_{ostalo} razgibana sem zaradi medsebojne podobnosti in zaradi pomanjkanja podatkov vključil v kategorijo R+G razgibana.

Preglednica 37: Združena kategorizacija odsekov cest in pripadajoči parametri funkcije BPR

Upravna kategorizacija	Dodatna kategorizacija	Kapaciteta (vozil/h/smer)	Koeficient α	Koeficient β	Velikost vzorca
AC	4 pasovna	3500	0,2	3,9	5
HC	4 pasovna	3000	0,13	2,3	3
	2 pasovna	1500	0,23	1,1	3
G+R	ravninska	1250	0,38	1,0	22
	razgibana	1000	0,28	1,3	6

Faktorji funkcije BPR, ki sem jih izračunal se precej razlikujejo od tistih, ki so predstavljeni v preglednici 8 in ki jih je Alan Horowitz izračunal s pomočjo programa HCS 1.5. Njegovi izračuni temeljijo na metodologiji HCM 1985. Eden izmed vzrokov za razlike je verjetno v načinu vožnje, saj, kot kaže, vozniki na naših cestah kljub velikim obremenitvam vozijo hitreje, kot to predvideva metodologija HCM. Vzrok je verjetno tudi v lokacijah merilnih mest, saj so ti locirani na odprtih odsekih, kjer se kljub povečanemu pretoku hitrosti hitrost vozil bistveno ne zmanjšuje.

V naslednjem grafikonu je prikazana primerjava funkcij BPR za kategorijo avtocest. Vrednosti koeficientov, ki sem ju izračunal sta $\alpha=0,2$ in $\beta=3,9$, vrednosti, ki jih predpisuje Alan Hrowitz za hitrost prostega prometnega toka 113 km/h, pa sta $\alpha=0,88$ in $\beta=9,8$. Iz grafikona je razvidno, da funkciji dajeta podobne rezultate vse do 80% izkoriščenosti kapacitete. Pri dodatni obremenitvi, pa pride do zelo velikih razlik, ki niso zanemarljive.



Grafikon 24: Primerjava funkcij za kategorijo avtocest

Na tej podlagi ugotavljam, da so izračunani koeficienti funkcije BPR v trenutnih prometnih razmerah primerni za odprte tipe cest. To se pravi za državne ceste. Za te so bili koeficienti tudi izračunani. Za večje obremenitve so izračunane funkcije vprašljive. Podobno bi bilo za modeliranje prometa v mestnih območjih verjetno primernejše uporabiti koeficiente, ki jih predpisuje Alan Horowitz. Saj v mestnem območju prihaja do večjih padcev hitrosti tudi zaradi drugih dejavnikov, kot so parkirišča, križišča, stranske ovire itd.

9 SKLEPNE UGOTOVITVE

Namen naloge je bil, razviti funkcije obremenitev-zamuda, ki bi ustrezale razmeram naših državnih cest. Analizirana je bila v svetu najpogosteje uporabljena funkcija BPR. Alternativno je bila analizirana tudi Spiessova funkcija. Potrebno je bilo ugotoviti, katera od teh dveh funkcij je primernejša za naše razmere. Ti rezultati bi bili lahko dobra osnova za razvoj prostorskih hitrosti na celotnem republiškem cestnem omrežju in te funkcije bi morda lahko služile kot primerna podlaga za modeliranje obremenjevanja v okviru prometnih modelov za napovedovanje prometa.

Analizirani so bili t.i. temeljni odseki, to so cestni odseki na katerih ni vpliva križišč, priključkov ali razcepov. Gre za čiste cestne odseke. Posebej so bile analizirane razmere štiripasovnih avtocest in hitrih cest ter razmere dvopasovnih hitrih, glavnih in regionalnih cest.

Podlaga za izračun parametrov funkcije BPR in Spiessove funkcije so bili podatki avtomatskih števec, ki merijo pretok in hitrost. V poštev so prišli samo podatki tistih števnih mest, kjer se količine prometa približa, doseže ali preseže kapaciteto odseka. Kajti samo ti podatki lahko opišejo funkcijo v celotnem razponu od prostega prometnega toka do zgoščanja.

Na osnovi analize je bilo ugotovljeno:

- Razmere na republiškem cestnem omrežju bistveno boljše odseva funkcijo BPR kot Spiessova. Za Spiessovo funkcijo je značilno radikalno zmanjšanje hitrosti pri obremenitvah v območju kapacitete. Tega pa meritve na republiškem cestnem omrežju ne potrjujejo. Spiessova funkcija je verjetno primernejša za mestna območja oziroma za območja, kjer dominira vpliv krožišč, priključkov, prepletov ipd. Na čistih cestnih odsekih državnega omrežja je vsekakor primernejša uporaba funkcije BPR.
- Parametra α in β imata v primerjavi z znanimi tujimi parametri razmeroma majhno vrednost. Na slovenskem republiškem cestnem omrežju se torej vozne hitrosti bistveno

ne zmanjšajo tudi v razmerah, ko so obremenitve v območju (teoretične) kapacitete ceste. To po eni strani pomeni, da pri nas ljudje vozijo hitro tudi pri razmeroma gostem prometu, po drugi strani pa to morda pomeni, da so praktične kapacitete naših cest višje od predpostavljenih, ki izhajajo iz tujih priporočil in njihovih meritve.

- Tako določena funkcija BPR predstavlja ustrezno osnovo za določitev prostorskih hitrosti na državnem cestnem omrežju, saj izračun parametrov odseva trenutno realno stanje na tipičnih odsekih naših državnih cest.
- Pri prometnem modeliranju bi zaenkrat priporočal uporabo tujih standardnih funkcij (npr. BPR), ki bolje zajemajo odnos obremenitev-hitrosti pri večjih obremenitvah. Kajti pri napovedih, ki so rezultat prometnega modeliranja, bodo prometne količine precej višje od sedanjih. Razmere pri večjih obremenitvah na podlagi dosedanjih meritev ni bilo mogoče vključiti, ker so pri nas na obravnavanem omrežju obremenitve manjše.

V okviru te diplomske naloge resda ni bilo mogoče odgovoriti na vsa vprašanja v zvezi s to problematiko. Narejen je bil pa prvi korak. V prihodnje bi bilo smiselno sistematično pristopiti k preučevanju teh funkcij, a ne samo na temeljnih cestnih odsekih. Te funkcije bi bilo smiselno preučiti tudi v vplivnih območjih križišč, priključkov in drugih ureditev, tako v zunajmestnih kot mestnih območjih.

VIRI

Delay-volume relatios for travel forecasting based on the 1985 Highway capacity manual. 1991. Milwaukee. Alan J. Horowitz, Inc TMIP, Federal Highway Administration: 39 str.
<http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/general/dvrt/> (9.11.2005)

Gregorc, H. 2004. Presoja doseganja kategorijsko odvisnih voznih pogojev na dvopasovnih cestah. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 119 f.

Juvanc, A. 2003. Geometrijski in tehnični elementi osi ceste. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, prometna smer: 102 str

Kuzović, L. 1987. Teorija Saobraćajnog toka. Beograd, Univerzitetu u Beogradu, Saobraćajni fakultet u Beogradu: 224 str

Maher, T. 2003. Teorija prometnega toka. Osnutek skript. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo

Model Validation and Reasonableness Cheking Manual. 1997. Barton-Aschman Associates, Inc., Cambridge Systematics, Inc. TMIP, Federal Highway Administration: 113 str.
<http://tmip.Fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/mvrcm/> (23..2005)

Pirc, J. 2004. Določitev pragov med nivoji uslug za različne prometne, izredne in vremenske razmere na avtocestah. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 149 f.

Pretnar, G. 2004. Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 67 f.

Highway Capacity Manual – HCM 2000 Transportation. 2000. Washington. Research Board,
National Research Council

Trošt, D. 2005. Kalibracija in validacija prometnih modelov. Diplomaska naloga. Ljubljana,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo,
Prometna smer: 79 f.