

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Skvarča, S., 2013. Vpliv vremenskih razmer na prometni tok v cestnem prometu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Maher, T., somentor Rijavec, R.): 64 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Skvarča, S., 2013. Vpliv vremenskih razmer na prometni tok v cestnem prometu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Maher, T., co-supervisor Rijavec, R.): 64 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
PROMETNA SMER

Kandidat:

**SIMON SKVARČA**

**VPLIV VREMENSKIH RAZMER NA PROMETNI TOK V  
CESTNEM PROMETU**

Diplomska naloga št.: 3349/PS

**IMPACT OF WEATHER ON TRAFFIC FLOW  
CHARACTERISTICS**

Graduation thesis No.: 3349/PS

**Mentor:**

doc. dr. Tomaž Maher

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**

viš. pred. mag. Robert Rijavec

**Član komisije:**

viš. pred. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 16. 12. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

**IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Simon Skvarča izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom Vpliv vremenskih razmer na prometni tok v cestnem prometu.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 06. 12. 2013

Simon Skvarča

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

UDK:	656.1(043.2)
Avtor:	Simon Skvarča
Mentor:	doc. dr. Tomaž Maher, uni. dipl. inž. grad.
Somentor:	viš. pred. mag. Robert Rijavec, uni. dipl. inž. grad.
Naslov:	Vpliv vremenskih razmer na prometni tok v cestnem prometu
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	64 strani, 28 preglednic, 51 slik
Ključne besede:	време, prometni tok, vpliv, avtocesta, regionalna cesta

### **IZVLEČEK**

V diplomski nalogi smo analizirali karakteristike prometnega toka na ljubljanskem avtocestnem vozlišču in vpadnici v mesto Ljubljana kategorizirano kot regionalno cesto v odvisnosti od različnih vremenskih pogojev za obdobje med oktobrom 2012 in februarjem 2013. Pripravili smo pregled odvisnosti med tremi osnovnimi spremenljivkami prometnega toka (hitrost, pretok in gostota) v različnih vremenskih pogojih (idealno, deževno, s slabo vidljivostjo ter snežno) za vsak posamezen pas in smer obravnavanega števca prometa posebej. Poleg osnovnih variabel smo posamično obdelali tudi razmak med vozili in zasedenost vozišča v odvisnosti od vremena za vsako obravnavano števno mesto posebej. Za analizo odseka regionalne ceste Brezovica – Ljubljana smo uporabili poleg kvantitativnih tudi kvalitativne podatke. Poleg spremljanja podatkov izmerjenih z znančnim detektorjem, smo beležili potovalno hitrost in potovalne čase vožnje z vsakodnevno vožnjo štiri mesečnega obdobja po izbranem odseku z osebnim vozilom v času jutranje in popoldanske konice.

Ugotovili smo, da imajo različni vremenski pogoji različne stopnje vpliva na spremenljivke prometnega toka in prepustnost ceste.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALIST INFORMATION AND ABSTRACT**

UDK:	656.1(043.2)
Author:	Simon Skvarča
Supervisor:	Assist. Prof. Tomaž Maher, Ph.D.
Co-advisor:	Sen. Lect. Robert Rijavec, M.Sc.
Title:	Impact of Weather on Traffic Flow Characteristics
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	64 pages, 28 tables, 51 pictures
Keywords:	weather, traffic flow, impact, freeway, regional road

**ABSTRACT**

In this thesis, we analyze the traffic flow characteristics at the Ljubljana freeway junction and access road in the city of Ljubljana categorized as a regional road in relation to the different weather conditions during the period between October 2012 and February 2013. An overview of dependence between the three basic variables of the traffic flow (speed, flow and density) depending on weather conditions (ideally, rainy, poor visibility and snow) for each driving zone and the direction of the traffic counter separately. In addition to the basic variables we individually analyzed the spacing between vehicles and roadway occupancy depending on the weather for any place specially considered countable. For the analysis section of the main road Brezovica – Ljubljana was used in addition to the quantitative and qualitative data. Ensure that this addition to the measured data of wales detector, we recorded a cruising speed and travel times driving with everyday driving four month period after the selected section by car during morning and evening rush hours.

We found that different weather conditions varying degrees of impact on the variables of traffic flow and permeability of the road.

## **ZAHVALA**

Za strokovne nasvete in pomoč pri diplomski nalogi se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Maherju in somentorju viš. pred. mag. Robertu Rijavcu.

Posebna zahvala gre tudi družini in bližnjim, ki so mi tekom študija stali ob strani, me spodbujali in podpirali. Hvala.

**KAZALO VSEBINE**

<b>IZJAVA O AVTORSTVU</b>	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO SLIK</b>	<b>IX</b>
<b>KRATICE</b>	<b>XI</b>
1 UVOD .....	1
1.1 Problematika .....	1
1.2 Namen in cilj.....	1
1.3 Delovne hipoteze.....	2
1.4 Obrazložitev osnovnih pojmov o prometnem toku .....	2
1.5 Pregled preteklih raziskav vpliva vremena na prometni tok .....	4
1.5.1 Pregled zaključkov nekaterih preteklih raziskav .....	10
2 METODOLOGIJA DELA IN OBMOČJE OBDELAVE .....	11
2.1 Pridobitev in obdelava podatkov .....	13
2.2 Ljubljansko avtocestno vozlišče.....	16
2.3 Regionalna cesta Brezovica – Ljubljana.....	17
2.4 Odsek R2 Brezovica – Ljubljana (Vič).....	18
3 VPLIV VREMENA TER UPORABLJENA SNVP TEHNOLOGIJA .....	18
3.1 Vpliv vremena na promet .....	18
3.2 Podnebje Slovenije in mesta Ljubljane.....	20
3.3 Sistem za nadzor in vodenje prometa (SNVP).....	21
3.3.1 Merilniki prometa QLTC-8C in QLTC-10C.....	22
3.3.2 Delovanje detektorja z indukcijsko zanko.....	24
3.3.3 Račun hitrosti vozil ter principi klasificiranja vozil z indukcijskimi zankami .....	25
3.3.4 Cestno vremenske postaje .....	26
4 PREDSTAVITEV REZULTATOV IN DISKUSIJA .....	28
4.1 Pregled rezultatov obdelave števecv na AC in R2 .....	28
4.1.1 Odvisnost pretoka od gostote .....	29
4.1.2 Odvisnost hitrosti od gostote.....	33
4.1.3 Odvisnost hitrosti od pretoka.....	36
4.1.4 Vpliv vremena na kapaciteto in na hitrost pri kapaciteti .....	39
4.1.5 Vpliv vremena na prepustnost .....	40
4.1.6 Vpliv vremena na hitrost .....	46



4.1.7	Vpliv vremena na razmak med vozili .....	49
4.1.8	Vpliv vremena na zasedenost vozišča .....	53
4.1.9	Spremembe obravnavanih prometnih spremenljivk pri različnih vremenskih stanjih ...	56
4.2	Rezultati kvalitativne in kvantitativne analize prometnega toka na odseku R2 v prometnih konicah .....	58
5	ZAKLJUČKI .....	63
VIRI	.....	65

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Izvleček vpliva neželenih vremenskih pogojev na vznikovo obnašanje med vožnjo in na sam prometni tok .....	7
Preglednica 2: Zbrani zaključki nekaterih preteklih raziskovalnih del .....	10
Preglednica 3: Mejne vrednosti količine padavin za posamezno intenzivnostno stopnjo .....	14
Preglednica 4: Posledice vremenskih pojavov in nekateri ukrepi .....	20
Preglednica 5: Kapaciteta in hitrost pri kapaciteti s pripadajočimi deleži sprememb za opazovane odseke cest .....	40
Preglednica 6: Enostranski T test pretoka na prehitevalnem pasu na zahodni obvoznici .....	41
Preglednica 7: Enostranski T test pretoka voznega pasu na zahodni obvoznici .....	42
Preglednica 8: Enostranski T test pretoka prehitevalnega pasu na primorski avtocesti .....	42
Preglednica 9: Enostranski T test pretoka prehitevalnega pasu na južni obvoznici .....	43
Preglednica 10: Enostranski T test pretoka regionalne ceste na Brezovici .....	44
Preglednica 11: Pretok in spremembe pretoka v odvisnosti od vremena na opazovanih avtocestnih odsekih .....	44
Preglednica 12: Pretok in spremembe pretoka v odvisnosti od vremena na regionalni cesti .....	45
Preglednica 13: Enostranski T test hitrosti na prehitevalnem pasu avtoceste .....	46
Preglednica 14: Enostranski T test hitrosti voznem pasu avtoceste .....	47
Preglednica 15: Enostranski T testa hitrosti na R2 .....	48
Preglednica 16: Hitrosti in spremembe hitrosti v odvisnosti od vremena na avtocestah .....	48
Preglednica 17: Pregled hitrosti in sprememb hitrosti v odvisnosti od vremena na R2 .....	49
Preglednica 18: Enostranski t Test razmaka med vozili na voznem pasu primorske avtoceste .....	50
Preglednica 19: Enostranski t Test razmaka med vozili na prehitevalnem pasu avtoceste .....	51
Preglednica 20: Enostranski t Test razmaka med vozili na R2 .....	51
Preglednica 21: Razmak med vozili in spremembe razmaka v odvisnosti od vremena na avtocestah ..	51
Preglednica 22: Razmak med vozili in spremembe razmaka v odvisnosti od vremena na R2 .....	52
Preglednica 23: Enostranski t Test zasedenosti vozišča na prehitevalnem pasu avtoceste .....	53
Preglednica 24: Enostranski t Test zasedenosti vozišča na voznem pasu avtoceste .....	54
Preglednica 25: Enostranski t Test zasedenosti vozišča na R2 .....	55
Preglednica 26: Zasedenosti merilnika in spremembe zasedenosti v odvisnosti od vremena na AC .....	55
Preglednica 27: Zasedenosti merilnika in spremembe zasedenosti v odvisnosti od vremena na R2 .....	56
Preglednica 28: Vrednosti karakteristik prometnega toka in sprememb obravnavanega odseka R2 .....	61

## KAZALO SLIK

Slika 1: Teoretične odvisnosti med srednjo prostorsko hitrostjo, gostoto in pretokom prometnega toka	3
Slika 2: Primer realnih trendov obnašanja parametrov prometnega toka	4
Slika 3: Prikaz sprememb hitrosti pri različnem pretoku ob neugodnih vremenskih pogojih	5
Slika 4: Razlaga razpršene vrednosti	13
Slika 5: Lokacija CVP Kozarje in lokacije zančnih detektorjev na avtocesti	16
Slika 6: Obravnavan odsek regionalne ceste z označenimi lokacijami zančnih detektorjev na Brezovici in pri Gorjancu ter lokacija cestno vremenske postaje na avtocestnem razcepu Kozarje	17
Slika 7: Mokra, plundrasta in zasnežena vozišča	19
Slika 8: Povprečna količina padavin po mesecih v Ljubljani	21
Slika 9: Shema sistema za nadzor in vodenje prometa (SNVP)	22
Slika 10: Indukcijske zanke v obrabni plasti vozišča in zaščitna omara v kateri je nameščena krmilna enota	23
Slika 11: Shema detektorja z indukcijsko zanko	24
Slika 12: Eno zančni detektor	25
Slika 13: Dvo zančni detektor	25
Slika 14: Klasifikacija na osnovi dolžine vozila in induktivnega odtisa	26
Slika 15: Cestno vremenski postaji	26
Slika 16: Shema cestno vremenske postaje	27
Slika 17: Talne sonde vgrajene v obrabno plast cestišča	27
Slika 18: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice	29
Slika 19: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice	30
Slika 20: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtoceste Ljubljana – Vrhnika	30
Slika 21: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka južne ljubljanske obvoznice	31
Slika 22: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na R2 števnega mesta Brezovica	31
Slika 23: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice	33
Slika 24: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice	34
Slika 25: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka južne ljubljanske obvoznice	34
Slika 26: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka primorske avtoceste	35
Slika 27: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na R2 števnega mesta Brezovica	35
Slika 28: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice	37
Slika 29: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice	37
Slika 30: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka primorske avtoceste	38
Slika 31: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na R2 števnega mesta Brezovica	38

---

Slika 32: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu zahodne obvoznice .....	41
Slika 33: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena voznega pasu zahodne obvoznice .....	41
Slika 34: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu primorske avtoceste .....	42
Slika 35: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu južne obvoznice	43
Slika 36: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena regionalne ceste na Brezovici .....	43
Slika 37: Razpršena vrednost hitrosti v odvisnosti vremena prehitevalnega pasu južne obvoznice.....	46
Slika 38: Razpršena vrednost hitrosti v odvisnosti vremena voznega pasu primorske avtoceste.....	47
Slika 39: Razpršena vrednost hitrosti v odvisnosti od vremena na R2 .....	47
Slika 40: Razpršena vrednost razmaka v odvisnosti od vremena voznega pasu primorske avtoceste...50	
Slika 41: Razpršena vrednost razmaka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu zahodne obvoznice .....	50
Slika 42: Razpršena vrednost razmaka v odvisnosti od vremena na R2 .....	51
Slika 43: Razpršena vrednost zasedenosti vozišča v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu zahodne obvoznice.....	53
Slika 44: Razpršena vrednost zasedenosti vozišča v odvisnosti od vremena voznega pasu zahodne obvoznice .....	54
Slika 45: Razpršena vrednost zasedenosti vozišča v odvisnosti od vremena na R2.....	54
Slika 46: Spremembe prometnega toka glede na vremenske razmere na AC .....	57
Slika 47: Spremembe prometnega toka glede na vremenske razmere na R2 .....	58
Slika 48: Povprečne potovalne hitrosti (meritev vozila) in srednje časovne hitrosti (merilnik) vozil na Brezovici ob različnih vremenskih pogojih.....	59
Slika 49: Razpršene vrednosti srednje časovne hitrosti in povprečne potovalne hitrosti.....	60
Slika 50: Odvisnosti med izbranimi spremenljivkami prometnega toka pri različnih vremenskih stanjih .....	61
Slika 51: Spremembe karakteristike prometnega toka glede na različna vremenska stanja.....	62

## KRATICE

AC	Avtocesta
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
AWS	Aktivni obveščevalni sistem (angl. Active Warning System)
CVP	Cestno vremenska postaja
DARS	Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji
DRSC	Direkcija Republike Slovenije za ceste
EOV	Enota osebnega vozila
FHWA	Nacionalna administracija za avtoceste (angl. The Federal Highway Administration)
HCM 2000	Priročnik za visoke kapacitete (angl. High Capacity Manual 2000)
ITS	Inteligentni transportni sistemi (angl. Intelligent Transport System)
PDP	Povprečni dnevni promet
PIC	Prometno informacijski center za državne ceste
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
RWIS	Cestno vremenska postaja (angl. Road Weather Information System)
SNVP	Sistem za nadzor in vodenje prometa
SPIS	Spremenljiva prometno informacijska signalizacija
ZDA	Združene države Amerike



## 1 UVOD

Da vreme in posledično stanje na vozišču močno vplivata na sam prometni tok je splošno znano. Vremenski pojavi, ki vplivajo na prometni tok so vidljivost, padavine (dežne, snežne, toča, ...), veter in pomrzitve. Vsak, ki je kdaj vozil motorno vozilo v spremenljivih vremenskih pogojih zna povedati, da ga dane razmere avtomatsko silijo k spremembi načina vožnje. Torej k prilagoditvi hitrosti in varnostne razdalje, kar povzroči spremembe v obnašanju prometnega toka. Zato so spremenljivke prometnega toka v različnih velikostnih okvirjih ob različnih vremenskih pogojih. Na mestnih cestah ter na ostalem prometno bolj obremenjenem cestnem omrežju se ob močnem deževju in močnem sneženju pojavijo zastoji, ki jih običajno pri stabilnem vremenu ni ali pa so manjši. V takih primerih se promet odvija bolj počasi, potovalni časi se podaljšujejo, hitrosti vozil se manjšajo in s tem se prepustnost cest manjša. Podobno se dogaja tudi na avtocestah in hitrih cestah (obvoznicah). Diplomsko delo obravnava prometni tok na ljubljanskem avtocestnem vozlišču ter prometni tok na eni izmed glavnih vpadnic v sam center mesta Ljubljana v odvisnosti od različnih vremenskih pogojev.

### 1.1 Problematika

Na karakteristike prometnega toka poleg redukcijskih faktorjev prometno-tehničnih elementov prometnice in prometa na njih, ki jih med drugim opiše priročnik HCM 2000, vplivajo tudi vremski pojavi kot so dežne in snežne padavine, pojav megle ali pojav drugih motilnih faktorjev, ki manjšajo vidljivost, spremembe temperatur ter vpliv vetra. Od stanja vremena so odvisni pogoji na vozišču, kar posledično vpliva na prometni tok. Vpliv vremena na prometni tok na slovenskem ozemlju je relativno malo raziskan, še posebej na močno obremenjenem ljubljanskem avtocestnem vozlišču. Navkljub rednemu spremljanju ter zbiranju vseh potrebnih podatkov o prometnem toku in vremenskih stanj, se statistične obdelave in analize vršijo le v omejenem obsegu. Tovrstne obdelave bi lahko doprinesle k boljšemu napovedovanju obnašanja prometnega toka ob neugodnih vremenskih razmerah. Ugotovitve bi lahko naš sistem za vodenje in nadzor prometa (SNVP) uporabil za hitrejšo in uspešnejšo spremljanje, napovedovanje razmer na cesti in se predčasno ali hitreje odzival s svojimi obvestili uporabnikom prometnic in vzdrževalnim službam, kar bi prispevalo k povečani varnosti.

### 1.2 Namen in cilj

Cilj diplomskega dela je raziskati vpliv različnih vremenskih pojavov na karakteristike prometnega toka in primerjati dobljene rezultate s preteklimi raziskavami avtorjev, ki so raziskovali vpliv vremena na promet. Analizirali smo osnovne spremenljivke prometnega toka kot so pretok vozil ( $q$ ), gostota prometnega toka ( $g$ ), hitrost vozil ( $v$ ), razmak med vozili v prometnem toku ( $gap$ ) ter zasedenost vozišča ( $occ$ ) v odvisnosti od vremena. Pripravili smo pregled med relacijami osnovnih spremenljivk prometnega toka (gostota – pretok, gostota – hitrost, pretok – hitrost) in pregled razpršenih vrednosti

(angl. BoxPlot) spremenljivk prometnega toka za vsak obravnavan merilnik prometa posebej. Dobljene vrednosti posameznih števnih mest smo primerjali med seboj in določili predvidene deleže sprememb spremenljivk, ki se pojavijo zaradi vpliva slabega vremena. Rezultati diplomskega dela nam lahko olajšajo razumevanje obnašanja prometa ob neugodnih vremenskih stanjih.

### 1.3 Delovne hipoteze

V okviru diplomskega dela smo postavili hipoteze, ki smo jih skušali potrditi.

- Vremenski pogoji vplivajo na spremenljivke prometnega toka na isti lokaciji.
- S slabšanjem vremenskih pogojev se poslabšuje karakteristika prometnega toka. Hitrost, pretok, gostota prometnega toka ter zasedenost cestišča se zmanjšujejo, razmak med vozili se povečuje.
- Na avtocestah so ob slabem vremenu spremembe spremenljivk prometnega toka glede na posamezne pasove različne.
- Vrednosti spremenljivk prometnega toka v snežnih pogojih so bolj razpršene kot ob idealnih vremenskih pogojih.
- Odvisnosti med spremenljivkami prometnega toka (hitrost, pretok in gostota) se pri različnih vremenskih pogojih skladajo z empirično potrjenimi grafičnimi modeli.
- Pričakujemo, da je kapaciteta oziroma prepustnost ceste zaradi slabega vremena manjša.

### 1.4 Obrazložitev osnovnih pojmov o prometnem toku

Za natančnejši opis prometnega toka uporabimo osnovne spremenljivke: hitrost, gostota, pretok, razmak med vozili in zasedenost vozišča. Sprememba vsakega od omenjenih spremenljivk povzroči spremembe tudi v ostalih, saj so medsebojno odvisne (povzeto po Maher, 2007).

- Hitrost prometnega toka ( $v$ ) je enaka srednji vrednosti hitrosti vseh vozil opazovanega prometnega toka. Glede na način opazovanja prometnega toka (glede na odsek ceste in čas opazovanja) v odvisnosti od njegove gostote ali njegovega pretoka, poznamo srednjo prostorsko hitrost ter srednjo časovno hitrost. Osnovna enota hitrosti je kilometer na uro.

- Gostota prometnega toka ( $g$ ) predstavlja število vozil na enoto dolžine prometnice glede na en vozni pas. Ta parameter je časovno vezan na trenutek, prostorsko pa na odsek opazovane ceste. Osnovna enota za gostoto prometnega toka je število vozil na kilometer.

- Pretok prometnega toka ( $q$ ): prepustnost in prometno povpraševanje. Prepustnost je število vseh vozil, ki prevozijo opazovani prerez ceste v določenem časovnem intervalu v eni ali v obeh smereh in ob danih pogojih. Osnovna enota je število voz na h. Prometno povpraševanje (angl. Traffic demand) je število vozil, ki prihajajo v območje opazovanega prereza ceste v specifičnem časovnem obdobju (prometne obremenitve cest so drugačne ob različnih obdobjih dneva in se ob neugodnih vremenskih pogojih še dodatno spreminjajo).



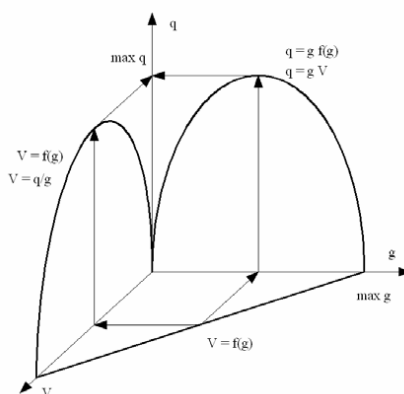
- Časovni razmak med vozili (angl. *gap*) je definiran kot časovni interval med prehodi sprednjega roba dveh zaporednih vozil preko namišljenega preseka na obravnavanem odseku ceste

- Zasedenost vozišča ali *occ* (angl. *occupancy*) je časovni interval v katerem je prometnica zasedena z vozili. To pomeni število sekund aktiviranosti znančnega detektorja ali drugačnega detektorja s katerim se opazuje prometni tok. Podatek o zasedenosti je lahko podan v odstotkih ali promilih sekund.

- Kapaciteta (*C*) je maksimalno število vozil, ki v dani časovni enoti (po navadi v eni uri) prevozi določeni cestni prerez pri prevladujočih cestnih in prometnih pogojih v obeh smereh pri dvo ali tro pasovni cesti ali v eni smeri večpasovne avtoceste. Podana je v enotah osebnih vozil (EOV) na časovno enoto. Jamal (2013) je določil kapaciteto dvopasovne, dvosmerne ceste na 2800 EO/h in večpasovne avtoceste na 2000 EO/h na pas. Smith in sod. (2004) pa definirajo kapaciteto avtoceste med 95 in 100 % maksimalnega pretoka, ki ga je še mogoče doseči pri idealnih vremenskih in prometnih pogojih.

- Prepustnost (*P*) je maksimalno število vozil oziroma maksimalni pretok, ki ga je še mogoče doseči na določenem cestnem profilu pri realnih cestnih, vremenskih ter prometnih pogojih.

Odvisnosti med osnovnimi parametri prometnega toka razumemo kot medsebojno povezanost osnovnih prometnih karakteristik za idealni in prosti prometni tok. Kot idealni prometni tok obravnavamo prometni tok vozil, ki se gibljejo v eni smeri. Sestavljajo ga le osebna vozila enakih tehničnih lastnosti (velikost, teža vozila, moč motorja, ...), ki jih upravljajo vozniki enakih psihofizičnih sposobnosti (starost, odzivnost, zmožnost predvidevanja, poznavanja poti, ...).

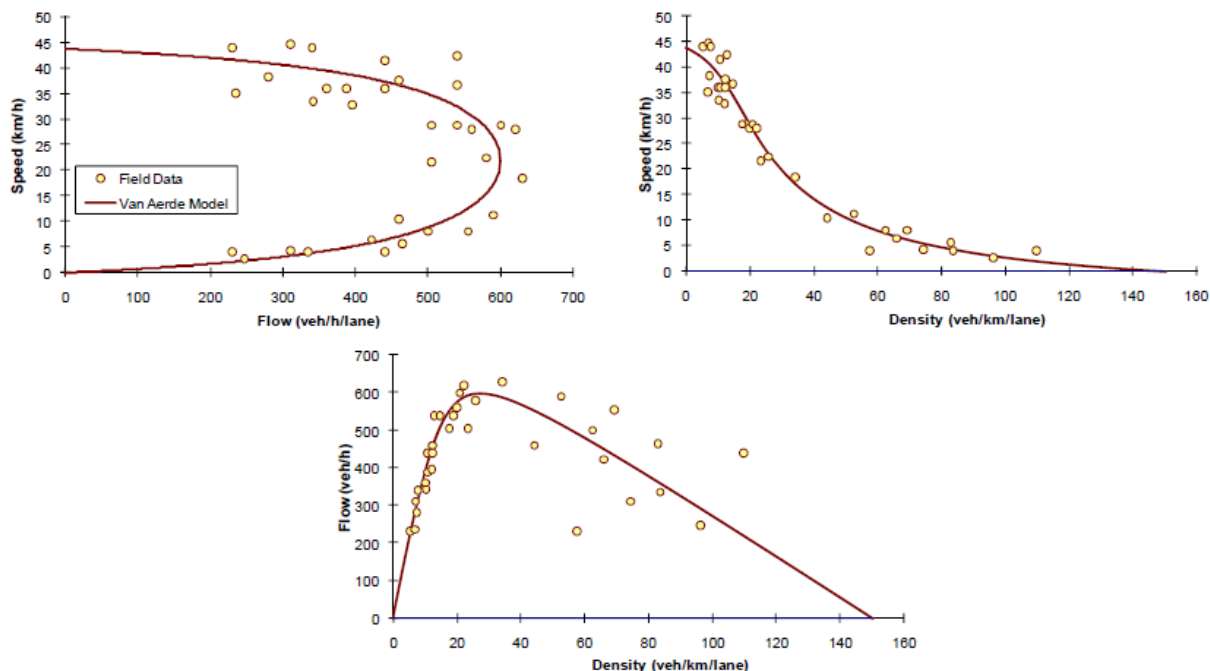


Slika 1: Teoretične odvisnosti med srednjo prostorsko hitrostjo, gostoto in pretokom prometnega toka (npr. Maher, 2007)

S slike 1 razberemo, da je maksimalni pretok vozil na prometnici mogoč samo pri določeni optimalnih vrednosti hitrosti gibanja vozil in optimalni vrednosti gostote prometnega toka. Ko je dosežena kritična gostota, začneta upadati tako hitrost kot tudi pretok. Ko gostota odstopa od optimalne proti

svojemu maksimumu ali minimumu, se sorazmerno znižuje tudi pretok vozil. Takih idealnih pogojev v realnosti ni mogoče doseči, zato lahko govorimo le o teoretičnih odvisnosti.

Mnogi raziskovalci so v preteklosti ugotovili, da linearne in kvadratne linije ne ponazarjajo realnega stanja. Zato so z empiričnimi poskusi in simulacijami poskušali opisati realne soodvisnosti med osnovnimi parametri prometnega toka. Na sliki 2 je prikazan na primer Van Aerdeov model (1995).



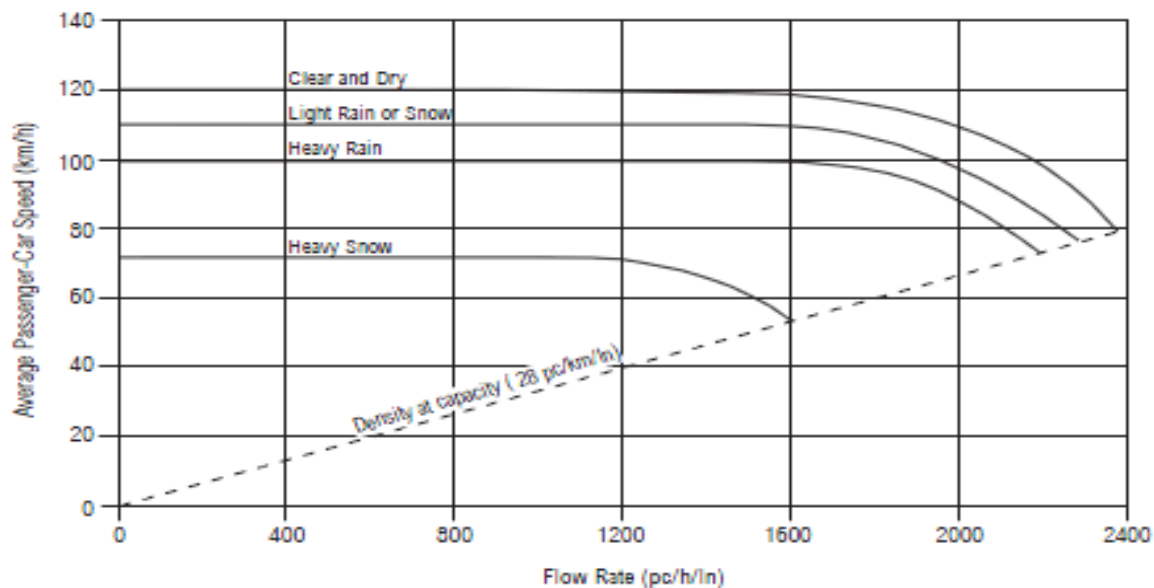
Slika 2: Primer realnih trendov obnašanja parametrov prometnega toka (Van Aerde, 1995)

Ker smo v nalogi analizirali realno stanje na izbranih odsekih cest, bodo naše grafično predstavljene odvisnosti med parametri prometnega toka predvidoma sovpadale s trendi empiričnih modelov.

### 1.5 Pregled preteklih raziskav vpliva vremena na prometni tok

Avtorji, ki so raziskovali prometni tok ob različnih vremenskih pogojih, so prišli do spoznanj, da nestabilno vreme zmanjšuje hitrost prostega prometnega toka. Torej vreme vpliva tudi na ostale spremenljivke prometnega toka.

To naravo upošteva tudi priročnik High Capacity Manual 2000 (2000) v poglavju 22-12, kjer predvideva redukcijo hitrosti prostega prometnega toka pri različnih vremenskih pogojih. Kot je razvidno na sliki 3 se hitrost prostega prometnega toka zmanjša iz 120 km/h na 100 km/h ob rahlem dežju, ob močnem deževju se hitrost reducira na 100 km/h. Ob močnih snežnih padavinah hitrost pade na 72 km/h.



Slika 3: Prikaz sprememb hitrosti pri različnem pretoku ob neugodnih vremenskih pogojih (HCM 2000, 2000)

Vpliv neugodnega vremena na prosti prometni tok na avtocestah sta raziskovala Ibrahim in Hall (1994). Izbrala sta odsek avtoceste v mestu Mississauga (Ontario, Kanada), na katerem ni prepletajočih se prometnih tokov, uvoznih in izvoznih ramp. Spremljala sta tri osnovne spremenljivke prometnega toka (pretok, zasedenost cestišča in hitrost). Operirala sta s 30 sekundnimi podatki merjenimi od 10 do 16 ure, torej izven prometnih konic. Vremenske podatke sta razdelila v šest razredov (brez padavin, rahlo deževje, močno deževje, rahlo sneženje, močno sneženje ter snežne nevihte). Razredi vremenskih podatkov niso bili določeni glede na meritve intenzivnosti padavin, samo obdobje spremljanja vremena je bilo relativno kratko. Skupaj sta zajela le 10 dni, od tega 6 z idealnim vremenom, 2 dneva z dežnimi padavinami ter 2 dneva s snežnimi padavinami.

Študija je pokazala, da vreme vpliva na zasedenost vozišča ter hitrost prometnega toka. Stopnja vpliva je odvisna od intenzivnosti padavin. Ob rahlem dežju se hitrosti zmanjšajo za 2 % (2 km/h), močan dež povzroči od 5 do 10 % (12 km/h) redukcijo. Ob rahlem sneženju vozniki upočasnijo za 3 – 4 % (3 km/h), ob močnem sneženju za 40 % (42 km/h).

Raziskovalno delo Hranac in sod (2006) kvantificira vpliv slabega vremena na obnašanje prometnega toka z določitvijo prilagoditvenih (redukcijskih) faktorjev. V treh različnih mestih v Združenih državah Amerike (Baltimore, TwinCities, Aggregate) so spremljali spremenljivke hitrosti prostega toka, hitrosti zasičenega toka (speed at capacity) in kapaciteto prometnega toka. Ob deževnih padavinah (~ 1,6 cm/h) so ugotovili za 6 – 9 % zmanjšanje hitrosti prostega toka, za 8 – 14 % zmanjšanje zasičenega toka in za 11 % nižjo kapaciteto prometnega toka. Ob močnem sneženju (~ 0,3 cm/h) se je hitrost prostega toka zmanjšala za 5 – 19 %, hitrost zasičenega toka za 8 – 14 %, kapaciteta pa pade za 20 %.

Na simpoziju v Stockholmu Darcin s sod. (2011) predstavi študijo prometnega toka mesta Carigrad (Turčija), s katero potrdijo osnovne zakonitosti prometnega toka. Povezava med posameznimi spremenljivkami prometnega toka (odvisnosti med hitrostjo, pretokom in gostoto) obstaja. Ugotovili so zmanjšanje povprečne hitrosti vozil ob dežju za 8 – 12 %, ob rahlem sneženju pa zmanjšanje pretoka za 65 – 66 %.

Weng in sod. (2013) so analizirali podatke iz zračnih detektorjev na hitrih cestah v mestu Peking (Kitajska) od novembra 2009 do januarja 2010. S primerjavo podatkov pridobljenih ob različnih vremenskih pogojih so ugotovili zmanjšanje spremenljivk prometnih tokov, na velikost redukcije vpliva intenziteta snežnih padavin. Rezultati so pokazali, da je povprečna hitrosti na hitrih cestah ob močnem sneženju 10 – 20 % manjša od povprečne hitrosti pri normalnih vremenskih pogojih. Razmak med vozili se ob sneženju poveča, kapaciteta prometnice pade za 33 %.

Prometni tok na vpadnicah in mestnih cestah mesta Washington D.C. (ZDA) so spremljali Stern in sod. (2004). Analizirali so podatke za obdobje med 6. 12. 1999 in 31. 5. 2001 pridobljene z baze mestnega prometnega informacijskega centra, s časovno omejitvijo od 6:30 do 18:30 ure. Prometno informacijski sistem spremlja 1150 km mestnih cest (2 ali večpasovnih cest), od tega 760 km hitrih cest, v realnem času. Obravnavani so bili odseki cest dolžin med 2,6 in 25 km.

Naloga se ne ozira na pravilnost pridobivanja podatkov za prosti prometni tok. V analiziranih podatkih so tako zajeta časovna obdobja s prometnimi konicami, zastoji zaradi nesreč, del na cesti in drugih prometnih nevšečnosti, ki povzročajo zastoje ter vplivi vremena na prometni tok. Pridobljeni podatki so skupek kvantitativnih in kvalitativnih informacij o stanju na cestah. Uporabljena podatkovna baza je mešanica informacij samih uporabnikov cest, očividcev, ki so sporočali realno stanje (tekstovna sporočila, telefonski klici, ...) ter podatkov, ki so jih posredovale indukcijske zanke. V analizi se ni upoštevalo neenakomernih frekvenc potovalnih časov. V prometnih konicah se je informacija o času potovanja osvežila bistveno manjkrat (tudi le enkrat v 3 – 4 urah) kot ob ne koničnih urah (3 – 4-krat v eni uri). Nadzorni center prometnega informacijskega sistema ne objavlja in niti ne beleži potovalnih časov, ki so manjši od v naprej določenih tako imenovanih baznih potovalnih časov. Pri določitvi in izračunih le-teh so upoštevani cestno prometni predpisi (omejitve hitrosti, enosmerne ceste, ...).

Vremenske podatke so pridobili iz ASOS baze (angl. Automated Surface Observing System) v eno urnih časovnih razmikih. Spremljali so vrsto in intenziteto padavin (nič padavin, šibke snežne-dežne padavine, močne snežne-dežne padavine), vidljivost ( $\geq 402$  m,  $< 402$  m).

Zaradi vseh omenjenih spremenljivk pri pridobitvi podatkov, ki so lahko vplivali na analizo, so dobljeni rezultati težko primerljivi z ostalimi raziskavami prostega prometnega toka v povezavi z vremenskimi razmerami.

Raziskovalno delo je pokazalo 11 – 25 % povečanje potovalnih časov zasičenega prometnega toka (v času urnih konic) ter 13 % povečanje potovalnih časov v prostem prometnem toku zaradi prisotnosti padavin. V povprečju je v lepem vremenu potovanje trajalo 15,7 min, ki se je podaljšalo za 2,2 min

zaradi padavin. V delu kjer so upoštevali le prisotnost padavin je zaradi njih dolžina potovanja v nekoničnih urah narasla za 3,5 %.

Tsapakis in sod. (2013) so ugotovili, da je vpliv dežja in snega na prometni tok funkcija njunih intenzitet. Intenzitete padavin so razdelili na tri razrede (rahle, zmerne in močne). Raziskovali so prometni tok mesta London (Anglija, Velika Britanija) in spremljali vremenske parametre od 1. 10. 2009 do 10. 12. 2009. V tem času so na delavne dni opravljali 2-urne prometne meritve dopoldan (7:00 – 9:00), opoldne (12:00 – 14:00) in popoldan (16:00 – 18:00).

Ugotovitve raziskovalnega dela so, da se potovalni časi večajo z naraščanjem intenzitete padavin. Ob rahlem, zmernem, močnem deževju potovalni časi naraščajo za 0,1 – 2,1 %, 1,5 – 3,8 %, 4,0 – 6,0 %. Ob rahlemu sneženju se časi potovanja povečajo za 5,5 – 7,6 %, hkrati se ob močnem sneženju časi povečajo za 7,5 % do 11,5 %. Ugotovitve so tudi, da temperatura ne vpliva na potovalni čas in da v samem centru mesta vreme ne vpliva drastično na prometni tok. Na primer redukcija potovalnih časov ob močnem sneženju v centru Londona znaša 7,5 %, v okolici Londona pa v enakih razmerah 11,5 %. Razlaga za to ugotovitev je, da so pregledana področja v centru mesta v glavnem krajših dolžin. Na teh odsekih so tudi operativne hitrosti manjše v primerjavi z opazovanimi odseki zunanjega predela mesta, kjer so omejitve prometnih hitrosti višje.

Billot in sod. (2009) so v raziskavi na vzhodnem delu obvoznice mestne avtoceste tretjega največjega mesta Lyon v Franciji v dolžini 5,5 km primerjali realno stanje na opazovanem odseku s simulacijo narejeno po metodi Monte Carla. Šest minutne podatke prometnih obremenitev indukcijskih zračnih detektorjev razvrščenih na odseku med rampama razcepa za Genovo in Chambéry v smeri sever – jug, je zagotovil francoski upravljavec avtocest Coraly. Meritve so izvajali marca 2007 ob torkih in četrtek. Na tem odseku so močne jutranje in popoldanske zgostitve prometa (jutranje in popoldanske konice).

Preglednica 1: Izvleček vpliva neželenih vremenskih pogojev na vznikovo obnašanje med vožnjo in na sam prometni tok (prevod po Billot in sod., 2009)

	<b>Posledice za p. tok</b>	<b>Ob slabih vremenskih pogojih:</b>
OBNAŠANJE VOZNIKOV	Vozne hitrosti in pospeški	↘
	Varnostne razdalje (časovni in prostorski razmak med vozili)	↗
	Spreminjanje prometnih pasov	Ne
	Sledenje (angl. Platooning)	Da
PROMETNI TOK	Hitrost	↘
	Prepustnost	↘
	Kapaciteta	↘
	Variacije hitrosti	↗
	Zastoji (pogostost)	↗

V raziskavi so poskušali določiti parametre za izdelavo simulacije, ki bi upoštevala neidealno vremensko stanje. Vremenske dogodke so sortirali v tri različne stopnje intenzivnosti dežja (brez dežja, rahel dež, srednji dež). Z analizo podatkov so dokazali zmanjšanje pretoka prometnega toka za 23 % ob srednjih deževnih padavinah. Hitrost prometnega toka ob rahlem dežju je padla za 9 %, ob srednje močnem dežju pa za 13 %. Vplivov močnega deževja, snežnih padavin, vetra ter vidljivosti niso obravnavali. V preglednici 1 je prikazan vpliv neželenih vremenskih pogojev na obnašanje voznika med vožnjo in na obnašanje samega prometnega toka pod vplivom neidealnih vremenskih pogojev, kar so v raziskovalnem delu predvidevali in s simulacijo potrdili.

Hablas (2007) je v svojem magistrskem delu raziskoval vpliv napak indukcijskih zank pri meritvi osnovnih spremenljivk prometnega toka na same podatke uporabljene pri simulaciji po metodi Monte Carlo. V drugem poglavju dela je ocenil vpliv slabega vremena na hitrost prostega prometnega toka. V analizi je uporabil podatke o prometnem toku mest Združenih držav Amerike: Baltimore (Maryland), Minneapolis–St. Paul oz. TwinCities (Minnesota) in Seattle (Washington). Ugotovil je, da ima na hitrost prostega prometnega toka vidljivost le malo vpliva, saj se zmanjša npr. za 1 – 3 % pri vidljivosti pod 1200 m. Večji vpliv je dokazal ob intenzivnih dežnih padavinah (15 mm dežja/h), ko hitrost pade za 2 – 5 % in ob snežnih padavinah primerljive intenzitete (3 mm snega/h), ko se hitrost zmanjša za 6 – 20 %. Ob pojavu žledu se je hitrost prostega prometnega tokav mestu Baltimore zmanjšala za 27 % in za kar 31 % v mestu Seattle. Ugotovi tudi, da so standardni odkloni pri snežnih padavinah in žledu veliko večji kot pri vidljivosti in dežnih padavinah. Vozniki v snežnih in ledenih pogojih vozijo bolj individualno, po svojih sposobnostih in izkušnjah pridobljenih z vožnjo ob neželenih pogojih.

Potovalne čase in hitrosti prometnega toka mestnih cest v gosto poseljenih območjih Nizozemske so raziskovali Sabir in sod. (2010). Podatke so pridobili iz nacionalne ankete, ki jo je Nizozemski institut za statistiko izvajal leta 1996, ko je anketiral preko 150 tisoč oseb. Kolesarji, ki predstavljajo več kot 25 % aktivnega prebivalstva Nizozemske, v raziskavo niso vključeni. V anketi so vozniki izključno motornih vozil odgovarjali na 77 vprašanj glede njihovih dnevnih voznih navad: vožnje na delovno mesto, vožnje po opravkih in glede drugih potovanj, ki jih opravijo preko dneva. Nabor podatkov vsebuje preko 628 tisoč poročil o individualnih potovanjih izmed katerih so raziskovalci kvantitativno ovrednotili urne podatke predvsem za jutranje in popoldanske prometne konice. V povprečju je vsak voznik opravil 2 potovanja na dan: vožnjo na delovno mesto (za to povprečno potrebuje 24,6 min) in nazaj ter vožnjo na popoldanski opravke.

V analizi Sabir in sod. niso operirali le z dejanskim stanjem prometnega toka na vozišču, ampak tudi s kvalitativnimi (voznikovo subjektivno oceno) podatki individualnih potovanj za jutranje in popoldanske prometne konice, za katere so upoštevali še samo stanje vremena. Urne vremenske podatke o temperaturah pod in nad lediščem (0 °C), hitrosti vetra, dežne in snežne padavine so za leto

1996 pridobili iz podatkovne baze Nizozemskega Kraljevskega Meteorološkega Instituta (angl. Royal Netherlands Meteorological Institute – RNMI), ki upravlja z 32 avtomatskimi vremenskimi postajami. Slednje so v povprečju 12 km oddaljene od obravnavanih odsekov cest po katerih so vozili anketirani vozniki motornih vozil.

Analiza kvalitativnih prometnih podatkih o hitrostih in časih potovanj (individualnih) vozil in kvantitativnih podatkov iz vremenske baze je pokazala, da dežne padavine na hitrost prometnega toka nimajo učinka, da ekstremni veter prispeva k zmanjšanju hitrosti za 2 % in snežne razmere za 7 %.

Raziskovalno delo avtorjev Argarwal in sod. (2005) raziskuje območje TwinCities (Minneapolis–Saint Paul, Minnesota, ZDA) podobno kot kasneje študiji Hranac in sod. (2006) in Hablas (2007). Ena izmed glavnih razlik raziskav Argarwala in sod. (2005) in Hranac in sod. (2006) je, da slednja obravnava krajše obdobje. Argarwal in sod. (2005) analizirajo nabor prometnih in vremenskih podatkov pridobljenih v 4 letih (od januarja 2000 do aprila 2004). Obravnavano cestno območje upravlja Center za vodenje prometa TwinCities. Okoli 4000 zračnih detektorjev je razporejenih po cestah zajetih v študijo. V 30 sekundnih intervalih detektorji posredujejo osnovne podatke o prometnem toku, ki se takoj preračunavajo v 10 minutne intervale.

Vremenske podatke so raziskovalci pridobili iz 5 avtomatskih vremenskih postaj, ki jih upravlja Ministrstvo za promet, Minnesota ter treh vremenskih postaj, ki so nameščene na lokalnih letališčih in jih upravlja Nacionalni klimatski podatkovni center. Analizirani 10 minutni podatki so kategorizirani glede na intenzivnost padavin in vsebujejo podatke o različnih površinskih pogojih na vozišču, hitrosti vetra in temperature.

Razredi dežnih padavin so glede na intenziteto razdeljeni na 0 mm/h, manj kot 0,25 mm/h, 0,25 – 6,3 mm/h in več kot 6,3 mm/h. Snežne padavine so razdeljene na razrede z 0 mm/h, manj kot 1,3 mm/h, 1,3 – 2,5 mm/h, 2,5 – 12 mm/h in več kot 12 mm/h. Vidljivost so razdelili na 4 razrede (več kot 1610 m, 1610 – 805 m, 805 – 403 m ter manj kot 403 m).

Raziskava ugotovi redukcijo kapacitete zaradi dežja po razredih intenzivnosti: 1 – 3 %, 5 – 10 %, 10 – 17 %. Hitrost pade v primeru dežja: 1 – 3 %, 3 – 5 %, 5 – 7 %.

V snežnih razmerah je raziskava pokazala redukcijo kapacitete glede na intenzivnost sneženja: 3 – 6 %, 6 – 12 %, 12 – 14 %, 14 – 28 %. Hitrost pade: 3 – 5 %, 5 – 9 %, 9–11 %, 11 – 16 %.

Zaradi zmanjšanja vidljivosti se hitrost (ob upoštevanju zgoraj omenjene razdelitve v razrede) zmanjša za 6,6 %, 7,1 % in pri vidljivosti manj kot 403 m za 11,8 %.

Spremembe temperature na prometni tok nimajo vpliva, z izjemo ekstremno nizkih temperatur ( $T < -20$  °C), kjer je opazen padec kapacitete za 10 %. Padec kapacitete nakazuje na to, da vozniki v tako težkih razmerah ne potujejo. Na hitrost temperatura ni vplivala.

Raziskovalci ugotovijo, da veter le minimalno vpliva na hitrosti prometnega toka. Izkazalo se je, da pride do 2 % redukcije hitrosti prometnega toka v najvišjem vetrovnem razredu z vetrom močnejšem od 32 km/h.

Brilon in Ponzlet (1996) sta analizirala prometni tok na nemških avtocestah (4 in 6 pasovnicah). Podatke o povprečnih hitrostih pridobljenih iz petnajstih postaj za obdobje iz leta 1991 do leta 1993 sta primerjala s podatki pridobljenimi iz treh meteoroloških postaj. Pomanjkljivost raziskave je oddaljenost lokacij meteoroloških postaj (5 – 50 km) od obravnavanih avtocestnih odsekov. Vseeno sta vremensko stanje razdelila v 5 kategorij (suho, vlažno, mokro, plundra, zasneženo-ledeno). Veliko pozornosti nista polagala na to ali so uporabljeni podatki zasičenega ali prostega prometnega toka. Vseeno sta prišla do zaključkov, ki so jih upoštevali in potrjevali drugi raziskovalci. Ugotovila sta zmanjšanje hitrosti za 10 km/h zaradi mokrega cestišča na 4 pasovnicah ter 12 km/h na 6 pasovnicah. Redukcija hitrosti v nočnem času je znašala dodatnih 5 km/h.

Tudi v Sloveniji lahko zasledimo podobne raziskave prometnega toka. Kompan (2010) je v svojem diplomskem delu raziskoval vpliv dežnih padavin na hitrost vozil na avtocesti A1 med priključkoma Kozina in Kastelec. Obravnaval je prometni tok v obdobju med novembrom 2009 in junijem 2010. Primerjal je dežno vremensko stanje (mokro cestišče z različnimi intenzitetami dežnih padavin) s suhim vremenskim stanjem (suho cestišče, brez padavin). Ugotovil je, da stopnja redukcije hitrosti sovpada s stopnjo intenzitete padavin. Pri padavinah z intenziteto 0 mm/h ob mokrem vozišču pade hitrost za 4 %, zaradi šibkih padavin za 5 %, v močnih padavinah pade za 8 % ter v zelo močnih padavinah znaša redukcija hitrosti 16 %. V svojem delu obravnava tudi vidljivost (manjša od 500 m), veter (več kot 40 km/h) ter temperaturo (manj od 2 °C) v deževnem obdobju. Hitrost se zmanjša v deževnem obdobju s slabo vidljivostjo za 15 %, z močnim vetrom za 9 % ter z nizko temperaturo za 15 %.

### 1.5.1 Pregled zaključkov nekaterih preteklih raziskav

Preglednica 2: Zbrani zaključki nekaterih preteklih raziskovalnih del

Raziskovalno delo	Leto	Država	Prometni tok	Spremenljivke prometnega toka	Sprememba
HCM 2000	2000	ZDA	Prosti prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:	Deževje: 8 % Močno deževje: 17 % Močno sneženje: 40 %
Ibrahim in Hall	1994	Kanada Mississaunga, Ontario	Prosti prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:	Deževje: 2 % Močno deževje: 5 – 10 % Sneženje: 3 – 4 % Močno sneženje: 40 %
Horanac in sod.	2006	ZDA Baltimore, Twin Cities, Aggregate	Prosti prometni tok	Zmanjšanje kapacitete: Zmanjšanje hitrosti:	Deževje: 11 % Sneženje: 20 % Deževje: 6 % Močno deževje: 9 % Sneženje: 5 % Močno sneženje: 20 %



Raziskovalno delo	Leto	Država	Prometni tok	Spremenljivke prometnega toka	Sprememba
Darcin	2011	Turčija Carigrad	Zasičen prometni tok	Zmanjšanje pretoka: Zmanjšanje hitrosti:	Močno deževje: 65 % Deževje: 8 % Močno deževje: 12 %
Weng in sod.	2013	Kitajska Peking	Prosti prometni tok	Zmanjšanje kapacitete: Zmanjšanje hitrosti: Povečanje razmakov med vozili:	Močno sneženje: 33 % Močno sneženje: 10 – 20 % Močno sneženje: 30 %
Stern in sod.	2004	ZDA Washington D.C.	Zasičen prometni tok	Povečanje potovalnih časov v koničnih urah: Naraščanje potovalnih časov v nekoničnih urah:	Padavine: 25 % Suho stanje: 13 %
Tsapakis in sod.	2013	Anglija London	Prosti prometni tok	Potovalni časi se povečujejo: Zmanjšanje hitrosti:	Rahle padavine: 2,1 % Zmerne padavine: 3,8 % Močne padavine: 6 % Zmerno sneženje v centru: 5,5 % Zmerno sneženje v okolici: 7,6 % Močno sneženje v centru: 7,5 % Močno sneženje v okolici: 11,5 %
Billot in sod.	2009	Francija Lyon	Prosti prometni tok	Zmanjšanje pretoka: Zmanjšanje hitrosti:	Zmerne padavine: 23% Rahlo deževje: 9 % Zmerno deževje: 13 %
Hablas	2007	ZDA Baltimore, Minneapolis, Seattle	Prosti prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:	Vidljivost: 1 – 3 % Močne dežne padavine: 5 % Močno sneženje: 20 % Žled: 27 – 31 %
Sabir in sod.	2010	Nizozemska	Zasičen prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:	Dežne padavine: 2 % Snežne padavine: 7 %
Agarval in sod.	2005	ZDA Twin City	Prosti prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:  Zmanjšanje kapacitete:	Dežne padavine: 10 % Snežne padavine: 16 % Vidljivost: 6 – 11 % Dežne padavine: 18 % Snežne padavine: 19 – 28 % Vidljivost: 10 – 12 %
Brilon in sod.	1996	Nemčija	Prosti prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:	Mokro stanje: 10 – 12 km/h (7–10 %) Noč: 4 km/h (3 %)
Kompan	2010	Slovenija	Prosti prometni tok	Zmanjšanje hitrosti:	Šibek dež: 5 % Močan dež: 8 % Zelo močan dež: 16 % Vidljivost in dež: 15 % Veter in dež: 9 % Temperatura in dež: 15 %

## 2 METODOLOGIJA DELA IN OBMOČJE OBDELAVE

V nalogi smo obravnavali dve kategoriji cest (avtocesto in odsek regionalne ceste R2) za obdobje oktober 2012 – februar 2013. Potrebne prometne (DRSC – Sistem za ..., 2013) in vremenske podatke (CVIS – Cestno ..., 2013) za analizo prometnega toka smo dobili iz državnih podatkovnih baz ter z meritvami na terenu.

Podatki o prometnih obremenitvah so pridobljeni s pomočjo znančnih detektorjev, ki merijo srednjo časovno ( $\bar{V}_t$ ) hitrost. Zato smo naše pridobljene podatke o hitrostih preračunali v srednjo prostorsko hitrost ( $\bar{V}_s$ ). Uporabili smo linearno enačbo, ki jo je določil Drake s sod. (1967) z empiričnim modelom.

$$\bar{V}_s = 1,026 \times \bar{V}_t - 3,042$$

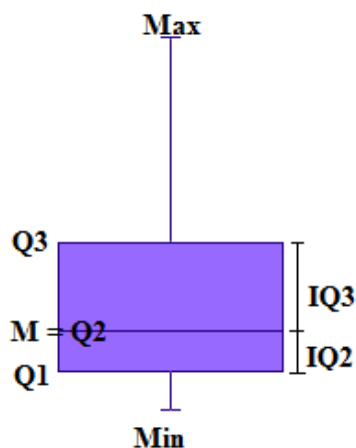
Na ta način korigirano hitrost smo uporabili za prikaz medsebojnih odvisnosti osnovnih spremenljivk (pretok / gostota, hitrost / gostota, hitrost / pretok) ob različnih vremenskih stanjih. Za prikaz slik razpršene vrednosti hitrosti v odvisnosti od vremena, smo uporabili nekorrigirano izmerjeno (srednjo časovno) hitrost.

Podatek o gostoti prometnega toka je računsko določen s pomočjo enostavnega razmerja med pretokom ( $q$ ) in srednjo prostorsko hitrostjo.

$$g = \frac{q}{\bar{V}_s} \left[ \frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

Pridobljen nabor podatkov iz dveh obsežnih baz (prometna in vremenska baza) smo za potrebe naše naloge uskladili na primerljive časovne intervale in jih združili. Pri prejetih podatkih nismo upoštevali vpliva napak, netočnosti algoritmov in potencialnih numeričnih simulacij merilnih instrumentov prometa. S tem problemom se je ukvarjal Hablas (2007), ki se je predvsem poglobil v točnost izmerjenih podatkov za velike vrednosti zasedenosti vozišča ( $occ$ ) s pretokom nad 17 voz/20 s. Analiza tudi ne upošteva potencialne netočnosti vremenskih podatkov in pogreškov merilnih instrumentov avtomatskih vremenskih postaj, s katerimi se je ukvarjala Bajc (2010).

Za združitev in sortiranje nove združene baze smo uporabili Microsoft Access program. S programom Microsoft Excel smo po statistični obdelavi podatkov prikazali slike odvisnosti osnovnih spremenljivk ter razpršene vrednosti (angl. BoxPlot) za izbrane spremenljivke prometnega toka v odvisnosti od različnih vremenskih stanj. Na sliki 4 so prikazana območja vrednosti kvartilov, ki razdelijo številске podatke v ranžirni vrsti v štiri intervale. Prvi kvartil Q1 označi vrednost od katere je 25 % podatkov manjših. Črta v območju intervalov kvartilov označuje mediano (M) od katere je 50 % podatkov manjših in 50 % večjih. Območje med vrednostma Q1 in M je interval drugega kvartila (IQ2). Tretji kvartil Q3 je vrednost od katere je 75 % podatkov manjših. Območje med M in Q3 je interval tretjega kvartila. Z Max in Min označujemo najmanjše in največje vrednosti naših podatkov. Interval območja drugega in tretjega kvartila zajemata 50 % vseh podatkov. S pomočjo prikaza s kvartili lahko nadzorno pokažemo razpršenost vrednosti naših podatkov.



Slika 4: Razlaga razpršene vrednosti (angl. BoxPlot)

## 2.1 Pridobitev in obdelava podatkov

V prvem delu smo raziskovali prometne lastnosti v prostem prometnem toku na avtocestnem vozlišču in regionalni cesti R2. Analizirali smo podatke pridobljene s samodejne cestno vremenske postaje locirane na avtocestnem razcepu Kozarje ter iz avtomatskih števecv prometnega toka, razporejenih po ljubljanskem avtocestnem vozlišču.

Za regionalno cesto R2 smo operirali s 15 minutnimi podatki spremenljivk prometnega toka ter s 5 minutnimi vremenskimi podatki preoblikovanimi v 15 minutne. Podatke z isto urno označbo smo združili po časovnem ključu in tako dobili 15 minutno bazo podatkov obravnavanega obdobja. Za lažji prikaz medsebojnih odvisnosti pretoka, gostote in hitrosti od vremena, smo pretok in gostoto prometnega toka iz 15 minutnih preračunali v urne podatke. Za avtocestne podatke nam je časovna kompatibilnost osnovnih 5 minutnih prometnih in vremenskih podatkov omogočila združitvev po časovnem ključu v enotno bazo, ki smo jo za predstavitev rezultatov ravno tako preoblikovali v urno.

Na spremenljivke prometnega toka vplivajo vremenski pojavi kot so dežne in snežne padavine, pojav megle ali pojav drugih motilnih faktorjev, ki manjšajo vidljivost, spremembe temperatur ter vpliv vetra. Od stanja vremena so odvisni pogoji na cestišču, kar neposredno vpliva na spremenljivke prometnega toka. Vplivov vetra v diplomskem delu nismo obravnavali, saj izbrani odseki prometnic v ljubljanski kotlini niso vetrovno izpostavljeni. Od možnih vplivov temperature smo se osredotočili na nastanek različnih neugodnih stanj na površini vozišča (zasneženo in zaledenelo vozišče, plundra, ...), ki se pojavljajo ob temperaturnih spremembah.

Združene vremenske in prometne podatkovne baze smo za podrobnejšo analizo prometnega toka na regionalni cesti in avtocesti razdelili na več vremensko odvisnih razredov. Ločili smo suho stanje, deževno stanje, stanje s slabo vidljivostjo ter snežno stanje. V suhem razredu so podatki meritev pridobljeni v obdobju idealnih vremenskih pogojev kot jih definira KYTE s sod. (2001), torej v stanju suhega vozišča, brez padavin in z dobro vidljivostjo. Ostale vremensko odvisne razrede smo določili po priporočilu iz elaborata Smernice za sistem nadzora in vodenja prometa na avtocestah v RS (2004).

Elaborat predvideva tri različne stopnje, ki se ločijo glede na intenzivnost dežnih padavin (preglednica 3). Pri filtraciji združene podatkovne baze smo za dežno stanje upoštevali tako stopnjo intenzivnosti padavin kot samo stanje vozišča (vlažno, mokro, mokro in soljeno). Pri slikah relacij pretoka, hitrosti in gostote smo podrazrede dežnih vremenskih pogojev združili v en razred zaradi lažje preglednosti.

Preglednica 3: Mejne vrednosti količine padavin za posamezno intenzivnostno stopnjo (Smernice za sistem ... RS, 2003)

Stopnja intenzivnosti padavin	Količina padavin [mm/h]
Šibke padavine	0,8 – 6
Močne padavine	6 – 15
Zelo močne padavine	> 15

Za določitev stopnje vidljivosti elaborat Smernice ... v RS (2004) predvideva 4 različne stopnje. Za potrebe diplomskega dela smo obravnavali le stopnjo z vidljivostjo manjšo od 250 m. Pri filtraciji podatkovne baze glede vidljivosti se nismo ozirali na stanje vozne površine. Tako je v tem razredu vpliva vremena na zmanjšanje vidljivosti zajet tako pojav megle kot tudi vpliv padavin (dežnih kapljic in snežink). Na avtocesti se ob deževju zaradi mokre vozne površine dvigne vodna (parna) zavesa za gibajočim se vozilom. Vodne zavesa senzor na avtomatski vremenski postaji ne zaznava v polni vrednosti, kot jo zaznava sam voznik, ki se pelje v vozilu v koloni.

Pri filtriranju podatkovne baze glede vpliva snežnih razmer na prometni tok smo upoštevali tako vrsto padavin (rahlo, zmerno in močno sneženje), kot vpliv površine vozišča (plundrasto, zasneženo, poledenelo).

Z upoštevanjem tako vrste padavin kot stanja vozišča za določena obravnavana vremenska stanja (suho, deževno, snežno in stanje vidljivosti) smo si pripravili nabor podatkov spremenljivk prometnega toka merjenih le v točno definiranih vremenskih stanjih. Torej predstavljeni rezultati ne vsebujejo vmesnih vremenskih stanj, kot na primer stanje sušičnega se vozišča (brez padavin z vlažnim voziščem), stanje sneženja s suhim voziščem, ...

Za prikaz razpršenosti vrednosti obravnavanih spremenljivk smo združene podatke razvrščene v vremenske razrede »očistili« obdobj zastojev in ekstremnih vrednosti posameznih meritev. Vpliv količine prometa smo limitirali z omejitvijo intervalov obravnavanih spremenljivk. Velikosti intervala smo določili na podlagi pregleda celotnega nabora podatkov, tako da smo dobili reprezentativne podatke. Na avtocestah smo omejili hitrost od 60 do 160 km/h, razmak med vozili med 1 in 30 sekundami ter zasedenost vozišča med 30 in 500 promili sekund. Za R2 smo si izbrali intervale vrednosti za hitrost med 45 km/h in 60 km/h, za razmak med vozili med 1 in 15 sekundami ter za zasedenost vozišča med 30 in 500 promili sekund. Razred z zelo močnimi padavinami in razred s snežnimi padavinami smo obravnavali ločeno za vsak primer posebej.

Za drugi del diplomskega dela smo podatke pridobili s štirimesečnimi meritvami na terenu. Med vsakodnevno vožnjo po obravnavanem odseku regionalne ceste smo z osebnim vozilom v času jutranje in popoldanske konice delavnih dni merili potovalne čase in povprečne hitrosti potovanja. Sámo stanje vremena smo beležili in ocenjevali med vožnjo. V sklopu raziskovalnega dela smo operirali s kvalitativnimi in kvantitativnimi podatki. Pri raziskovanju prometnega toka na odseku regionalne ceste (R2 – Tržaška cesta) od semaforiziranega križišča s Podpeško cesto na Brezovici, do semaforiziranega križišča z Bleiweisovo cesto (pri Tobačni) v Ljubljani, smo uporabili tako podatke iz lastne baze podatkov kot tudi podatke iz baz v upravljanju DARS-a in DRSC-ja, z internetne strani Prometno informacijskega centra za državne ceste (PIC).

V obdobju od oktobra 2012 do februarja 2013 smo v delovnih dneh ob vsakodnevni vožnji po odseku beležili čas potovanja, povprečno potovalno hitrost in vremenske razmere. Meritve smo izvajali v času jutranjih prometnih konic s pričetkom vožnje skozi križišče na Brezovici ob 7:00 v smeri proti Ljubljani. V popoldanskih prometnih konicah smo pričeli z vožnjo na križišču pri Tobačni ob 15:15 v smeri Brezovica. Podatke o trajanju potovanja in o povprečni potovalni hitrosti smo spremljali z avtomobilskim potovalnim računalnikom. Vremenske podatke smo razdelili na 4 razrede (suho sončno, suho oblačno megleno, deževno in zasneženo) z upoštevanjem tako vremenskega stanje kot tudi dejanskega stanja na vozišču. V zasnežen vremenski razred smo vključili meritve, ki smo jih izvedli v času sneženja, zasneženega ter plundrastega vozišča. V deževen razred smo razporedili meritve, med katerimi je deževalo ali je bilo sámo cestišče mokro. Meritve v suhem vremenu a ob slabši vidljivosti zaradi oblačnosti ali megle, smo zabeležili v suho oblačno meglen razred. V suho sončen razred smo šteli le meritve ob sončnem vremenu in suhem vozišču.

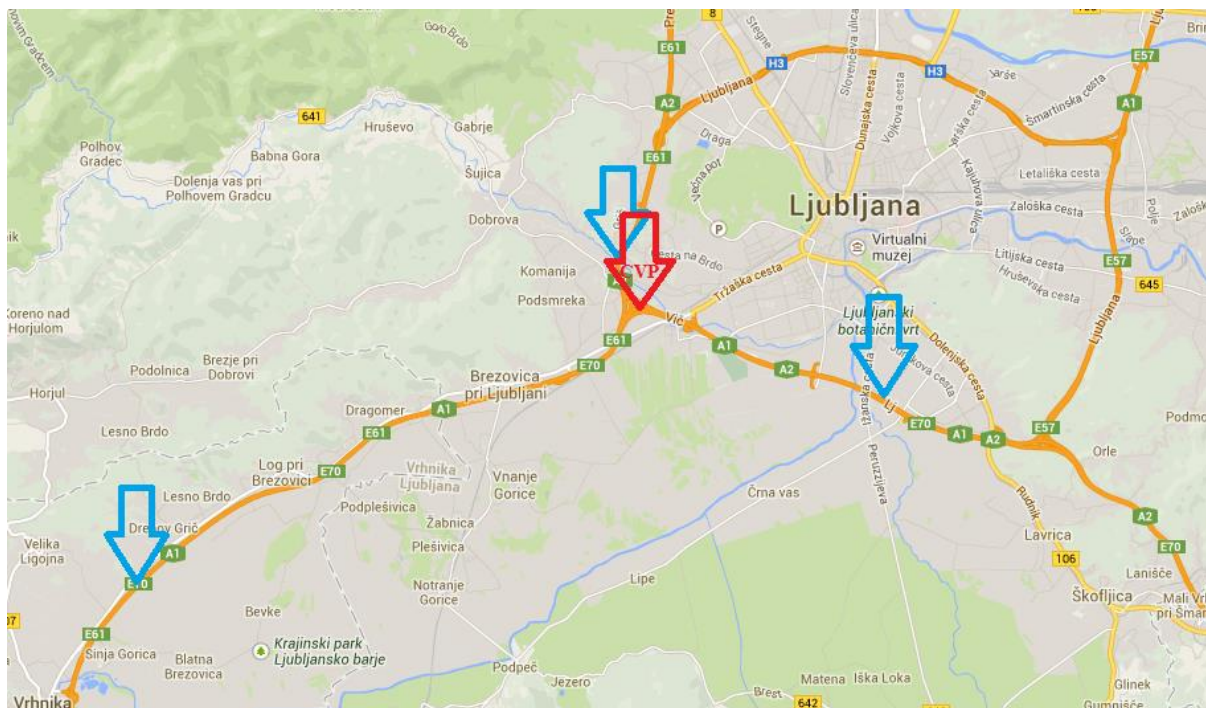
Kvantitativni podatki o hitrosti vozil, pretoku in razmaku med vozili v času izvajanja vsakodnevnih mobilnih meritev na regionalni cesti R2 so pridobljeni iz števca prometa lociranega na Brezovici. Lasten nabor podatkov smo sproti dopolnjevali s podatki o trenutnih razmerah na cestah, ki jih Prometno informacijski center za državne ceste (PIC) redno objavlja na svojih internetnih straneh. Objavljeni so podatki o prometnem pretoku, hitrosti, razmaku med vozili in razmerah na cesti (stanje prometa oz. prometni zastoji) v 5 minutnih intervalih. Stanje prometa določijo s pomočjo sistema Traffic Agent, ki upošteva zgoraj omenjene osnovne podatke prometnega toka. Trenutno stanje prometnih razmer na odsekih razdelijo na normalen, povečan, zgoščen, gost in gost promet z zastoji. Po pregledu in prečiščevanju baze podatkov nam je ostalo 86 uporabnih meritev. Izložili smo meritve v času gostega prometa z zastoji. V suho sončnih pogojih smo opravili 10 meritev, v suho oblačno meglenih pogojih imamo podatke za 43 meritev. Za deževne pogoje smo pridobili podatke 14 meritev in 8 meritev za zasnežene pogoje.

Vplivov vetra v diplomskem delu nismo upoštevali, saj izbrani odseki prometnic v ljubljanski kotlini niso vetrovno izpostavljeni. Od možnih vplivov temperature smo se osredotočili na nastanek različnih neugodnih stanj na površini vozišča (zasneženo, zaledenelo vozišče, plundra, ...), ki se pojavljajo ob temperaturnih spremembah.

## 2.2 Ljubljansko avtocestno vozlišče

Ljubljansko vozlišče je sistem avtocest in hitre ceste okoli mesta Ljubljana in predstavlja najpomembnejše križanje slovenskega avtocestnega omrežja oziroma njegovih glavnih smeri Koper – Šentilj (AC – A1) in Karavanke – Obrežje (AC – A2) oziroma primorsko štajerskega in gorenjsko dolenskega kraka. Ljubljansko vozlišče ali obroč dolžine skoraj 29 km je sestavljen iz dveh različnih kategorij cest. Na severnem delu je štiripasovnica kategorizirana kot hitra cesta (H3). Na vzhodnem, južnem in zahodnem delu so štiripasovnice kategorizirane kot avtoceste (A1 in A2). Ljubljanski avtocestni obroč je najbolj obremenjen avtocestni odsek v Sloveniji. Povprečni dnevni letni promet (PLDP) je leta 2012 znašal med 50 in 68 tisoč vozil. Odsek Brdo – Kozarje je z 68 tisoč vozili leta 2012 najbolj obremenjen avtocestni odsek v Sloveniji (Prometne obremenitve 2012, 2013).

Za analizo prometnega toka na ljubljanskem avtocestnem križu smo uporabili 5 minutne vremenske podatke, podobno kot pri zgoraj omenjeni analizi spremenljivk prometnega toka regionalne ceste R2. Pet minutne podatke o prometnem toku za obdobje med oktobrom 2012 in februarjem 2013 smo pridobili iz znančnih detektorjev razporejenih po ljubljanskem ringu in znančnega detektorja pri Vrhniki. Lokacija avtomatske cestno vremenske postaje na avtocestnem razcepu Kozarje ter lokacije znančnih detektorjev na Bokalcih, na južni obvoznici ter na Drenovem Griču so označeni na sliki 5.



Slika 5: Lokacija CVP Kozarje in lokacije znančnih detektorjev na avtocesti (Google Maps, 2013)

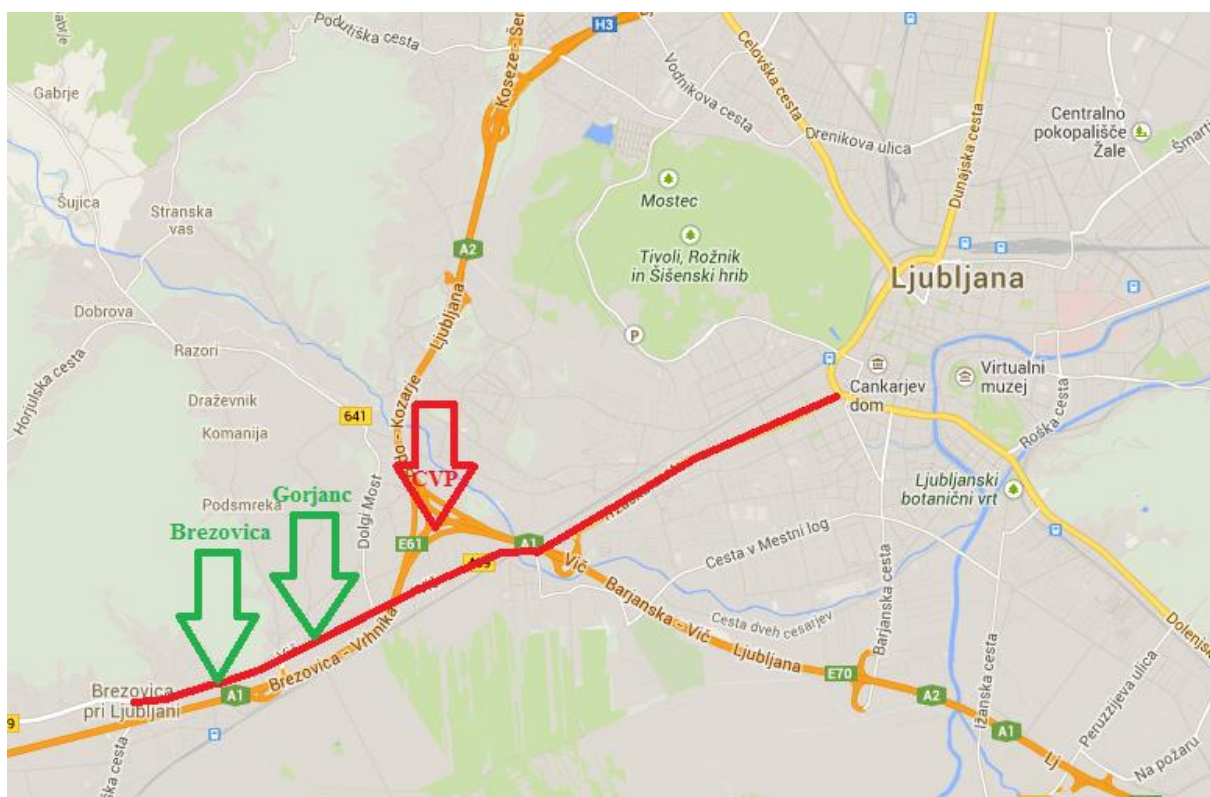
Na obravnavanih odsekih avtocest A1 in A2 je hitrost omejena na 130 km/h. V mokrih razmerah je na zahodni obvoznici (Bokalci v smeri Kozarje – Brdo) hitrost omejena na 100 km/h. Znančni detektorji so locirani na odsekih avtocest, kjer prometni tok ni oviran zaradi prepletanja prometnih tokov ne glede na spreminjanje velikosti avtocestnih konstrukcijskih elementov. Znančni detektor na Bokalcih je 880

m oddaljen od razcepa Kozarje in 1000 m od avtocestnega uvoza Lj – Brdo. Odsek je v rahlem ovinku in vzdolžnem naklonu. Ostala dva obravnavana odseka sta v premi in z minimalnim vzdolžnim naklonom. Preglednost odsekov je idealna. Števec prometa na Drenovem Griču je od najbližjega avtocestnega uvoza Vrhnika oddaljen več kot 2 km, v smeri proti Ljubljani je za več kot 2 km oddaljena cestninska postaja Log. Števec na južni obvoznici A1 stoji na odseku med avtocestnima uvozoma Lj – Center (900 m) in Lj – Rudnik (850 m).

### 2.3 Regionalna cesta Brezovica – Ljubljana

Obravnavan odsek regionalne ceste R2 (Tržaška cesta) Brezovica – Ljubljana je eden izmed 4 glavnih vpadnic v mesto Ljubljana. Vpadnica je bila leta 2012 na delu Vič – Brezovica obremenjena z 21 tisoč vozili (PLDP) (Prometne obremenitve 2012, 2013). Na delu Brezovica – Dolgi most je vpadnica dvopasovna, preostali del je 4 pasoven.

Pri analizi prostega prometnega toka odvisnega od vremenskih pogojev smo za regionalno cesto R2 uporabili prometne podatke s števca prometa Brezovica in števca Gorjanc (slika 6), informacije o stanju vremena pa iz iste avtomatske cestno vremenske postaje Kozarje kot za analizo prometa na avtocesti. Od števca prometa na Brezovici je oddaljena za 2,3 km in števca pri Gorjancu za 1,3 km (označeno na sliki 6).



Slika 6: Obravnavan odsek regionalne ceste z označenimi lokacijami začnih detektorjev na Brezovici in pri Gorjancu ter lokacija cestno vremenske postaje na avtocestnem razcepu Kozarje (Google Maps, 2013)

Na obravnavanem delu Tržaške ceste se odvija občasno prekinjen prometni tok. V bližini števnih mest sta semaforizirana križišča. Najbližje semaforizirano križišče zanjčnemu detektorju pri Gorjancu je križišče z avtocestnim uvozom Brezovica na oddaljenosti 400 m. Najbližje križišče zanjčnemu detektorju na Brezovici je semaforizirano križišče za avtocestni priključek Brezovica, ki je oddaljeno 600 m. Na delu obravnavanih števnih mest je prometni tok dodatno oviran z obojestransko kolesarsko stezo, ki je na nivoju vozišča in medsebojno ločena z rumeno ločilno črto.

Iz omenjenih merilnikov prometa in vremena smo pridobili podatke o karakteristikah prometa v času koničnih ur in prostega prometnega toka.

## **2.4 Odsek R2 Brezovica – Ljubljana (Vič)**

Za ta del regionalne ceste smo uporabili kvalitativne in kvantitativne podatke merjene v času koničnih ur delavnih dni. Obravnavali smo odsek (slika 6) v dolžini 6580 m na regionalni cesti R2 (Tržaška cesta) od semaforiziranega križišča s Podpeško cesto na Brezovici do semaforiziranega križišča Tržaške ceste s Tivolsko cesto (Tobačna) v Ljubljani. Na odseku ceste je 8 semaforiziranih križišč in 2 avtocestna priključka. Na delu Brezovica – Dolgi most je odsek 2 pasoven. Pri Gorjancu je semaforizirano križišče z avtocestnim priključkom Brezovica. Od Dolgega mosta (AC priključek Ljubljana – zahod) proti Centru je odsek 4 pasoven. Na 4 pasovnem delu odseka je hitrost omejena na 60 km/h, na ostalem delu je hitrost omejena na 50 km/h. Torej je prometni tok v obravnavanem odseku moten, občasno prekinjen s strani semaforiziranih križišč, cestnih priključkov ter dveh avtocestnih priključkov (priključek Ljubljana – zahod in priključek Brezovica).

## **3 VPLIV VREMENA TER UPORABLJENA SNVP TEHNOLOGIJA**

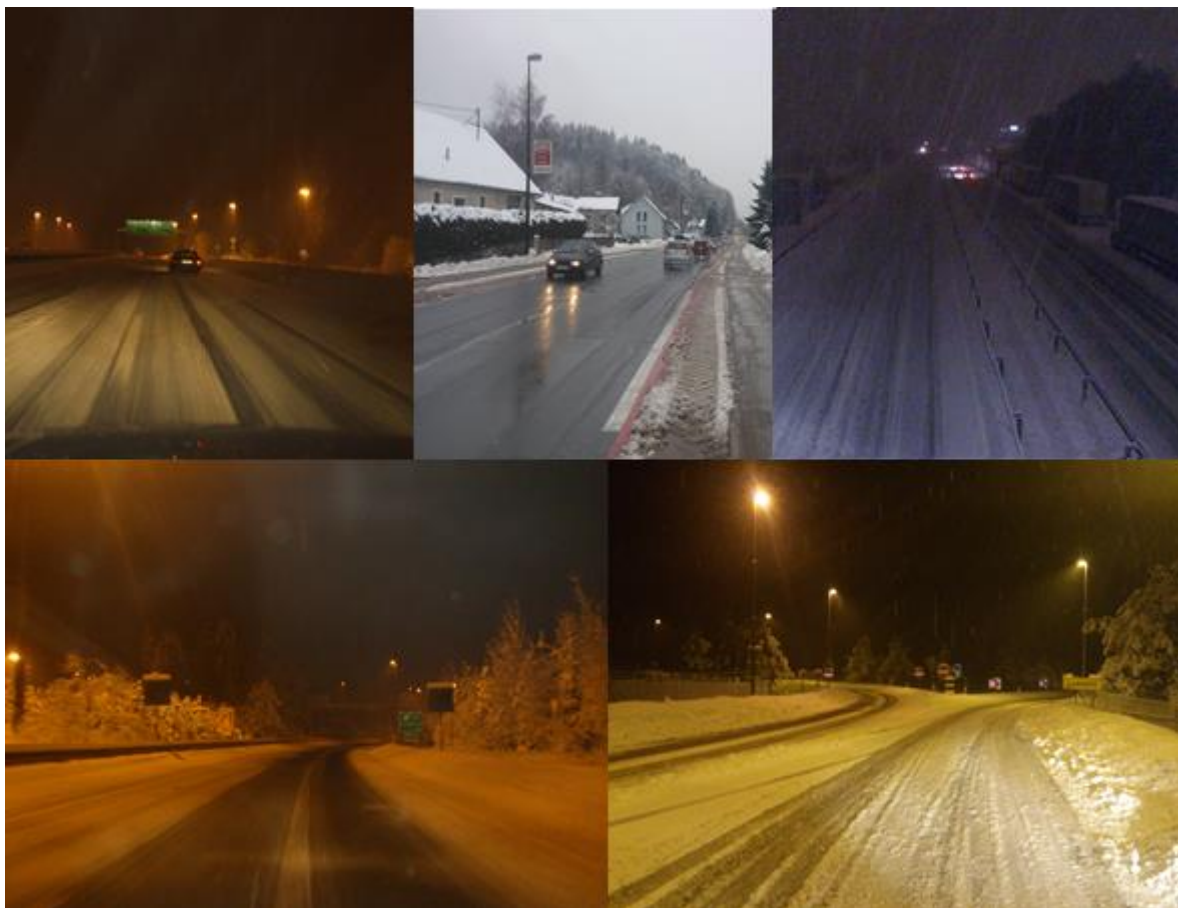
Za diplomsko nalogo smo uporabili podatke s podatkovnih baz DARS-a in DRSC-ja ter sklop podatkov pridobljen z zbiranjem na terenu. Omenjene podatkovne baze o prometu in vremenskem stanju na slovenskem cestnem omrežju se redno dopolnjujejo s pomočjo sistema za nadzor in vodenje prometa (SNVP).

### **3.1 Vpliv vremena na promet**

Vreme ima izjemno velik vpliv na promet. Vpliva tako na same vozne razmere na cestišču kot na obnašanje voznikov. Vozniki se prilagajajo spremenljivim vremenskim razmeram na cestišču s povečevanjem varnostnih razdalj in nižanjem hitrosti. Ob slabih vremenskih napovedih (sneženje, poledica, burja, poplavljeni odseki cest, ...) se vozniki odločajo o izbiri prometnega sredstva za potrebno potovanje ali z izbiro same poti. Del voznikov se odloči potovati z javnimi prevoznimi sredstvi, nekaj se jih odpravi na pot prej ali pozneje kot bi se odpravili v normalnih vremenskih pogojih. Nekateri potovanje preložijo (počakajo na ugodnejše razmere) ali se mu celo odpovejo. Prometna obremenjenost cest se zato zmanjša in časovno razporedi (samoizločitev in izločitev



tovornih vozil iz prometa). Vozniki, ki se vseeno odločijo za potovanje v slabih vremenskih razmerah, se prilagodijo z uporabo letnemu času primernih in brezhibnih pnevmatik (zimska oprema), ki je v RS zakonsko predpisana za vsa vozila. Iz predpisa so izvzeta le vozila priobalnega pasu, ki se morajo po potrebi prilagoditi danim vremenskim razmeram z uporabo snežnih verig.



Slika 7: Mokra, plundrasta in zasnežena vozišča (Lasten vir, 2013)

Vremenski pojavi, ki vplivajo na stanje vozišča in način vožnje so dež, sneg, poledenitve, megla in veter. Vsak vremenski pojav povzroči posledice, ki jih je potrebno limitirati tako s preventivnimi kot s kurativnimi ukrepi. V spodnji preglednici 4 so navedene posledice vremenskih pojavov in nekateri ukrepi.

Preventivno lahko vpliv vremena zmanjšamo že pri samem umeščanju in projektiranju prometnice. Pri umeščanju ceste v prostor se je željeno izogniti predelom v senčni legi in zaprtih dolinah, kjer je velika verjetnost pojava zmrzali, poledic ali goste megle. Pri izbiri konstrukcijskih elementov ceste je potrebno upoštevati zadostno velike vzdolžne in prečne naklone vozišča z optimalno izvedbo vijačenja, da ne pride do pojava stoječe ali tekoče vode na vozišču – nevarnost akvaplaninga. Za izpostavljena mesta je priporočena uporaba drenažnih asfaltov in žlebičenje obrabne plasti vozišča. Na območjih, kjer se pogosto pojavi močan veter ali sunki vetra, je potrebno zavarovati cestišče z vetrno zaščito. Da sistem za nadzor in vodenje prometa (SNVP) lahko obvešča voznike in vzdrževalno službo

o realnih vremenskih stanjih, potrebuje na teh kritičnih odsekih cestno vremenske postaje (CVP). Podrobnejša razlaga o SNVP in CVP je podana v poglavju 4.3 (npr. Rijavec, 2013).

Najbolj nevaren vremenski pojav, ki se lahko pojavi na površini vozišča je poledica. Zato se pri postavitvi SNVP veliko pozornosti posveča napovedovanju poledice. Najpomembnejša naloga sistema je, da osebu v cestnih bazah (vzdrževalnih centrih, nadzornih centrih prometa) nudi objektivne informacije, da lahko z vidika varnosti in optimalne ekonomičnosti organizirajo delovanje zimske službe in ostalih služb, ki so potrebne za nemoten potek prometa.

Zanesljivost napovedi nastanka poledice je v veliki meri odvisna od napovedi meteoroloških prametrov, ki vplivajo na ohlajanje tal (sončno sevanje, temperature, oblačnost, megla, padavine, ...). Največji vpliv na pojav poledice imajo prisotnost temperature pod lediščem in prisotnost vlage, rose ali padavin.

V procesu napovedovanja vremenska prognostična služba uporablja numerične modele, meteorološki radar za sledenje trenutnih padavinskih območij in satelitske podatke o gibanju ujm (Markošek, 2005).

Preglednica 4: Posledice vremenskih pojavov in nekateri ukrepi (npr. Rijavec, 2013)

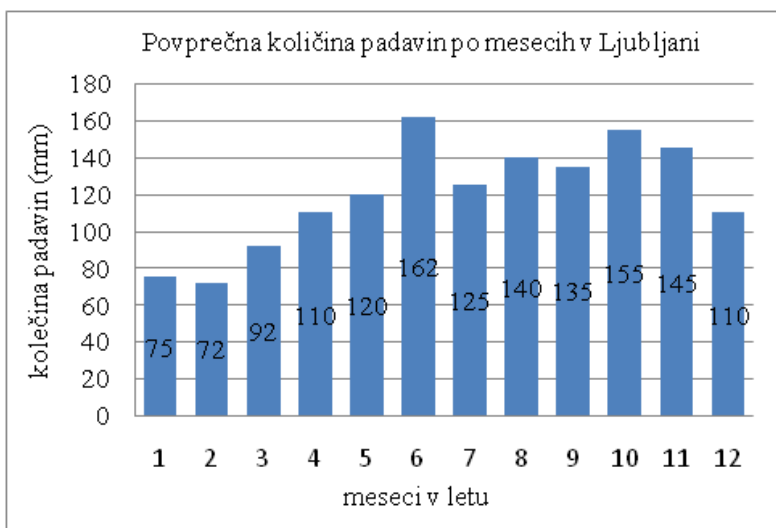
Vremenski pojav	Posledice	Ukrepi
Dež	Mokro vozišče Stoječa ali tekoča voda na vozišču Slabša vidljivost ob padavinah Odboj svetlobe od mokre površine (nočni čas)	Brezhibne pnevmatike Odvodnavanje Žlebičenje Drenažni asfalt "Zaščitne zavesice" na vozilih
Sneg	Spolzko, drseče vozišče Neprevoznost ceste Zmanjšana vidljivost ob sneženju Slaba vidljivost talnih označb Moteča svetloba (odboj) snežne beline	Zimske pnevmatike Snežne verige Posipanje s CaCl <sub>2</sub> , posipanje z NaCl in z mešanico z drobirjem Pluženje Zapora ceste
Led in poledenitve	Spolzko vozišče Poledica	Posipanje raztopine CaCl <sub>2</sub> Gradnja cest na ne izpostavljenem prostoru CVP
Megla	Slaba vidljivost	Meglenke in dodatna svetila Obveščanje preko medijev Omejitev hitrosti CVP
Veter	Spreminjanje in obračanje smeri	Omejitev hitrosti Obveščanje preko medijev Obveščanje preko SPIS in ostalih portalov Protivetrna zaščita – ograja

### 3.2 Podnebje Slovenije in mesta Ljubljane

Slovenija ima kljub svoji majhnosti zelo raznoliko podnebje, ki ga lahko razdelimo v tri prevladujoče tipe: zmerno celinsko (hladne zime, vroča poletja z viškom padavin), subalpsko oziroma alpsko v gorskem svetu (nižje temperature z obilico padavin, pozimi snežnih) in submediteransko (mile zime, največ sončnih dni). Na posameznih delih se njihovi vplivi močno prepletajo. Na podnebje vpliva geografska lega Slovenije, njen relief, nadmorska višina, usmerjenost gorskih grebenov, smer vetrov

in bližina morja. Povprečne julijske temperature v državi znašajo nekaj več kot 20 °C, povprečne januarske okrog 0 °C. Ker se vsakih 100 m višinske razlike temperatura zmanjša za 0,6 °C so v goratih delih le-te pričakovano nižje kot v nižinskem svetu. Količina dežnih padavin, ki se zmanjšuje od hribovitega zahoda (2500 mm) proti nižinskemu vzhodu (900 mm), občasno zelo niha in povzroča poplave (jeseni in spomladi) ali močne suše. Velik del Slovenije zavzemajo dna ravnin, kotlin, dolin in kraških polj. Na njih se pojavlja t.i. temperaturni obrat ter megla. Oba pojava sta pogostejša v hladni polovici leta (pozno jesenskem, zimskem ter v zgodnje spomladanskem obdobju) in trajata od nekaj dni do enega tedna, le redko dlje (Podnebne razmere ..., 2006).

Temperaturni obrat je značilen pojav tudi v ljubljanski kotlini, ki jo obkrožata predalpski in kraški svet. V mestu je zabeleženih približno 121 meglenih dni v letu. Pogost je jutranji pojav megle v pasovih ob rekah (Sava, Ljubljanica, Iščica, Gradaščica, Glinščica, Gruberjev kanal, ...) in na močvirnatih, vlažnih travnikih Ljubljanskega barja. V Ljubljani je v povprečju 111 dni z vsaj 1 mm padavin ter 22 dni z več kot 20 mm padavin (Cegnar, 2005). Sicer ima glavno mesto Slovenije celinsko podnebje z značilnimi toplimi poletji (od 25 – 30 °C v juliju in avgustu) in zmerno mrzlimi zimami (okoli 0 °C). Ljubljana velja za eno od bolj namočenih evropskih prestolnic, saj ima okoli 1400 mm deževnih padavin, ki so razmeroma enakomerno porazdeljene tekom celega leta (slika 8). Sneg je značilen v času med decembrom in februarjem, mesto je z njim prekrito v povprečju za 65 dni na leto (Podnebje v Ljubljani, 2013).



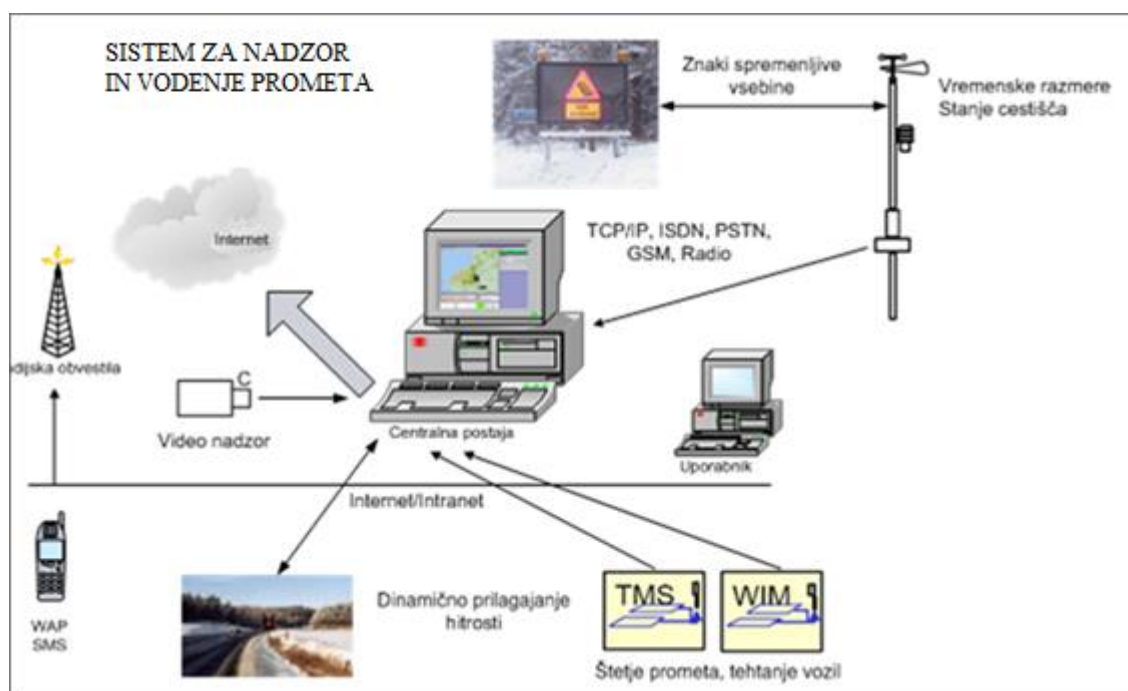
Slika 8: Povprečna količina padavin po mesecih v Ljubljani (ARSO, 2012)

### 3.3 Sistem za nadzor in vodenje prometa (SNVP)

Za čim bolj optimiziran promet so v cestnem omrežju postavljeni sistemi za nadzor in vodenje prometa (»pametna cesta«), s katerimi lahko dosežemo večjo varnost in ekonomičnost za vse uporabnike cestnega omrežja. Da lahko SNVP izpolnjujejo svoje poslanstvo, potrebujejo več med

seboj povezanih komponent, ki jih usklajujejo nadzorni centri z bazami podatkov o vremenu in prometu, pridobljenih s terena. Naprave »pametne ceste« so: merilniki za zbiranje prometnih podatkov (zančni, laserski, ...), avtomatske cestno vremenske postaje, video nadzor, naprave za vodenje prometa (spremenljiva prometno informacijska signalizacija – SPIS, prometni LED znaki, ...) in ostali zunanji podsistemi javnega obveščanja (PIC, internet, radio, ...).

Prometni tok se spremlja s pomočjo merilnikov prometa in video nadzornega sistema v realnem času (v živo). Prometne pogoje, ki jih senzorji, kamere in ostale detektorske tehnologije zaznajo na prometnicah se v nadzornih centrih analizirajo in določijo ukrepi ter shranjujejo v podatkovnih bazah. Operaterji in računalniški programi v idealnih pogojih še isti trenutek izvedejo ukrepe na prometnicah, ki so potrebni za dane prometne in vremenske pogoje na cestišču (Inteligentni ..., 2012).



Slika 9: Shema sistema za nadzor in vodenje prometa (SNVP) (Vremenske ..., 2010)

Baze podatkov, ki smo jih uporabili v diplomskem delu so plod naprav SNVP, kot so prometni merilniki in avtomatske vremenske postaje (okoljski merilniki).

### 3.3.1 Merilniki prometa QLTC-8C in QLTC-10C

Programirani števec vozil in klasifikator vozil QLTC-8C/10C uporablja preverjeno tehnologijo detekcije vozil z indukcijskimi zankami vgrajenimi v površinsko – obrabno plast vozišča. Glavna razlika med detektorjema je, da QLTC-10C za svoje delovanje potrebuje bistveno manj električne energije kot QLTC-8C. To pomeni, da za napajanje ni potrebe po električnem omrežju, temveč je dovolj lasten fotovoltaični element.

Tehnologija detekcije vozila z indukcijskimi zankami spada med intruzivne (vsiljive) metode detekcije vozila. Kar pomeni, da je en del ali cela merilna naprava, vgrajena v samo vozišče. Poznamo tudi

neintruzivne (nevsiljive) metode detekcije vozil. Te naprave zaznavajo vozila z »opazovanjem«, to je z laserji, IR valovi, video kamerami ali mikrovalovi.



Slika 10: Indukcijske zanke v obrabni plasti vozišča in zaščitna omara v kateri je nameščena krmilna enota (Lasten vir, 2013)

Napravi QLTC-8C/10C imata visoko števno natančnost (99,9 %) in visoko sposobnost klasifikacije vozil na razrede in podrazrede (97 %), saj zaznata in prepoznata 10 + 1 razredov in podrazredov vozil. S takšno natančnostjo delujeta v hitrostnih intervalih prometnega toka od 5 km/h do 250 km/h. Detektorja QLTC-8C/10C merita in računata vse pomembne prometne parametre, kot so pretok, hitrost (povprečno hitrost vseh vozil v 10 minutnih intervalih, povprečno hitrost osebnih vozil, minimalno in maksimalno hitrost v 10 minutnih intervalih), povprečni časovni razmak med vozili, zasedenost vozišča, temperaturo.

V QLTC-8C in QLTC-10C vgrajeni GSM/GPRS modul omogoča pretok podatkov, nadzor in upravljanje z napravo na daljavo, kar je potrebno za nemoteno delovanje aplikacije Sistem Traffic Agent. Aplikacija omogoča avtomatsko spremljanje prometa in obveščanje o stanju prometa v realnem času tudi na svetovnem spletu (PIC) s pomočjo samodejnih števec in klasifikacijo prometa tipa QLTC-8C in QLTC-10C ter sodobne telekomunikacijske in informacijske tehnologije. Določitev stanja prometa za vsak vozni pas posebej temelji na izmerjenih vrednostih v izbranem časovnem intervalu glede na povprečno hitrost vozil, povprečni čas med vozečimi vozili in zasedenost vozišča, izraženo v promilih (razmerje med časom zasedbe merilnih senzorjev in časovnega intervala opazovanja). Pri izračunu stanja prometa se upoštevajo tudi vrednosti vnaprej določenih karakteristik, ki so za vsako števno mesto posebej določeni s pomočjo empiričnih opazovanj mejnih vrednosti (nizka, srednja, visoka) hitrosti vozil, zasedenosti vozišča in časovnega razmaka med vozili. Napravi na osnovi opazovanja v nastavljivih časovnih intervalih izračunata stanje prometa in ga posreduje zbirnemu centru (PIC) (Mikrobit, 2013). Sistem loči stanje prometa na:

- normalen promet (zeleno),

delež vozil v koloni je majhen ali kolone ni. Hitrosti vozil so v območju povprečne ali višje vrednosti značilne za merilno mesto.

- Povečan promet (modro),

ker v prometnem toku prihaja do posameznih zgostitev, vendar je povprečna razdalja med vozili velika. Hitrosti vozil so v območju povprečne ali višje hitrosti značilne za merilno mesto.

- Zgoščen promet (rumeno),

ker večina vozil vozi v koloni, vendar se hitrosti gibljejo v območju povprečne ali višje hitrosti, ki je značilna za števno mesto.

- Gost promet (oranžno),

ker vozila vozijo v strjeni koloni s hitrostjo nekaj nižjo od povprečne hitrosti za števno mesto.

- Gost promet z zastoji (rdeče),

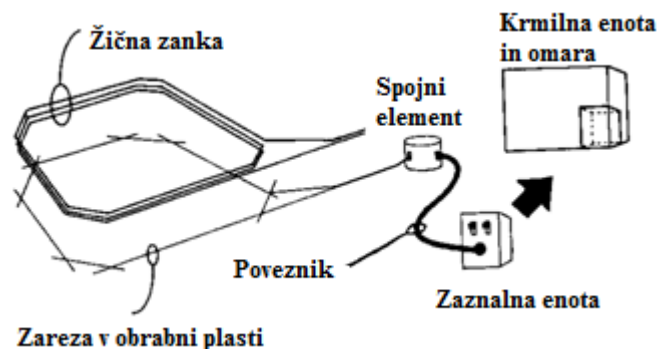
ker vozila vozijo z veliko nižjo povprečno hitrostjo v strjeni koloni oziroma pride do občasne zaustavitve vozil.

- Ni prometa (črno),

ker ni podatka – napaka ali v izbranem intervalu (5 min) merilno mesto ne prevozi nobeno vozilo.

### 3.3.2 Delovanje detektorja z indukcijsko zanko

Ko vozilo prevozi indukcijsko zanko vgrajeno v zgornjo plast ceste, se magnetno polje v zanki spremeni zaradi kovinske osnove vozila. Vsak razred vozila (osebna vozila, tovorna vozila, avtobusi) povzroči drugačen časoven in intenzivnostno specifični indukcijski signal (odtis), kar je karakteristični signal (odtis) vozila. Karakteristični induktivni odtis vozila omogoča natančnejše razvrščanje vozil ne le v razrede temveč tudi podrazrede. Sprememba jakosti magnetnega polja v induktivni zanki je odvisna od oddaljenosti podvozja vozil od zanke, zato je sprememba induktivnosti pri osebnih vozilih drugačna kot na primer pri tovornih vozilih. Zajeti signal se analizira s pripravljenimi algoritmi (Mikrobit, 2013).



Slika 11: Shema detektorja z indukcijsko zanko (Lep in Jazbec, 2012)

Tehnologija in programska oprema detektorja z indukcijsko zanko omogočata veliko zanesljivost, varnost in zelo natančne podatke o prometnem toku. Pravilno vgrajene indukcijske zanke skoraj ne

potrebujejo vzdrževanja in imajo dolgo življenjsko dobo uporabnosti (10 let in več) (Lep in Jazbec, 2012).

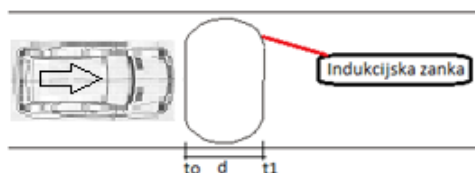
### 3.3.3 Račun hitrosti vozil ter principi klasificiranja vozil z indukcijskimi zankami

- Račun hitrosti vozil z eno in dvozančnim detektorjem

Hitrost je razdalja, ki jo prevozi vozilo v enoti časa. Hitrost je mogoče izmeriti z eno zračnim detektorjem ali z dvo zračnim detektorjem, ki poda natančnejše meritve. Z uporabo ene zanke, je hitrost definirana:

$$V = \frac{3600*d}{(t_1-t_0)} \left[ \frac{km}{h} \right]$$

$d$  – efektivna dolžina zanke [m],  $t_0$  – čas, ko vozilo zapelje na zanko [ms],  $t_1$  – čas, ko vozilo zapusti zanko [ms]



Slika 12 Eno zračni detektor (Kastelic in Maher, 2010)

Pri dvo zračnem detektorju je hitrost definirana podobno:

$$V = \frac{3600*d}{(t_2-t_1)} \left[ \frac{km}{h} \right]$$

$d$  – efektivna dolžina med zankama [m],  $t_1$  – čas, ko vozilo zapelje na prvo zanko [ms],  $t_2$  – čas, ko vozilo zapelje na drugo zanko [ms]

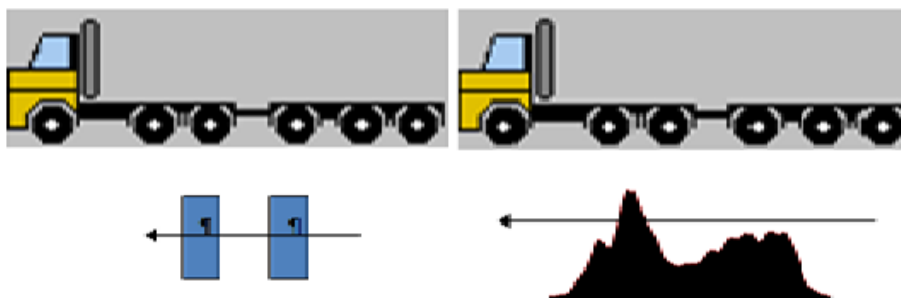


Slika 13: Dvo zračni detektor (Kastelic in Maher, 2010).

Enačbi za izračun hitrosti vozila s pomočjo podatkov eno zračnega in dvo zračnega detektorja veljata samo za enakomerno gibajoče se vozilo. S tema enačbama ne moremo določati hitrosti pri drugačnih prometnih pogojih. Zato so detektorji in klasifikatorji običajno nameščeni na “odprtih” odsekih, kjer se ob normalnih pogojih odvija enakomeren promet (Kastelic in Maher, 2010).

- Principi klasificiranja vozil z indukcijskimi zankami

V osnovi poznamo dva različna načina določitve razreda vozila s pomočjo detektorjev z indukcijskimi zankami. Prvi način klasificiranja temelji na osnovi dolžine vozila, drugi način temelji na prepoznavanju karakterističnega induktivnega odtisa vozila (Mikrobit, 2008).



Slika 14: Klasifikacija na osnovi dolžine vozila in induktivnega odtisa (Mikrobit, 2008)

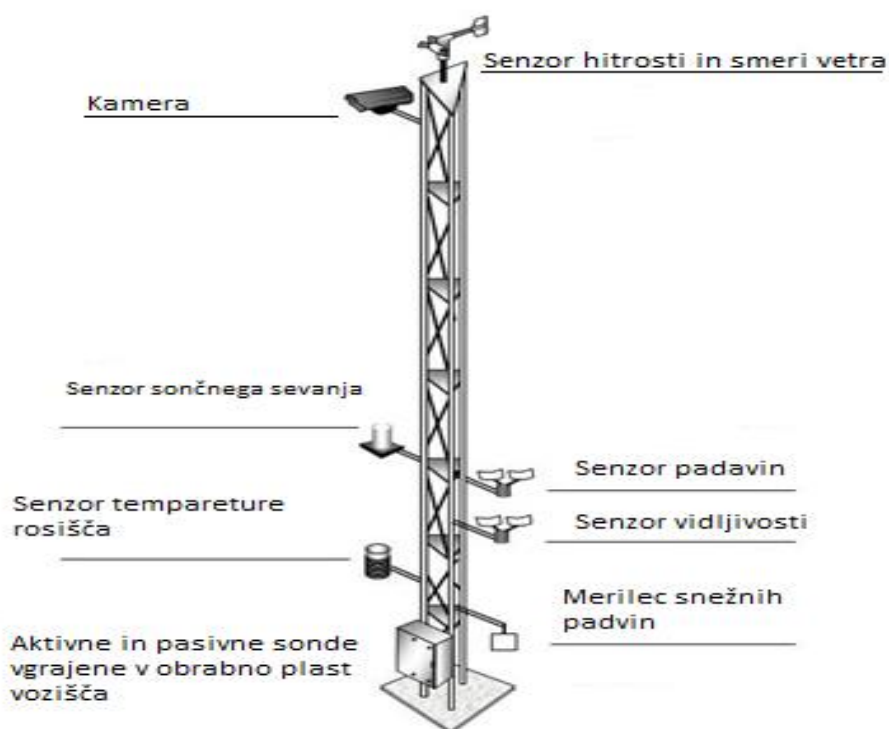
### 3.3.4 Cestno vremenske postaje

Cestno vremenska postaja (CVP) je samostojna osnovna enota s senzorji ter potrebno elektronsko podporo. V njej se avtomatsko zbirajo vremenski podatki. Lokacije postaj so skrbno izbrane. Postavljene so na izpostavljenih odsekih prometnic kot so mostovi in viadukti. Beležijo številne meteorološke parametre kot so temperatura zraka [°C], vidljivost [m], relativna vlažnost zraka [%], smer vetra [°], hitrost vetra [km/h], zračni pritisk [hPa], količina padavin [mm], vrsta padavin [dež, sneg, toča, sodra, ...] in intenzivnost padavin [mm/h] (Boschung, 2013).



Slika 15: Cestno vremenski postaji (Boschung, 2013)





Slika 16: Shema cestno vremenske postaje (Road weather ..., 2013)

Poleg merilcev standardnih vremenskih parametrov imajo CVP tudi patentirane aktivne ter pasivne talne sonde. Sonde so vgrajene v obrabno plast vozišča.



Slika 17: Talne sonde vgrajene v obrabno plast cestišča (Boschung, 2013)

Aktivna sonda v enakomernih časovnih intervalih izvaja simulacije umetne ohlaiditve (do 15 °C nižje od trenutne temperature vozišča) in segrevanja mešanice tekočine s samega vozišča, z namenom simulacije procesa tvorjenja ledu. Simulacija zagotavlja napreden vpogled v bližnjo prihodnost ob padanju temperature vozišča. Aktivna sonda uporabi dejansko tekočino s cestišča. V njej so ostanki soli, delci gume ter ostale kemikalije in primesi, ki vplivajo na samo tvorjenje ledu – poledice. Ko sonda zazna tvorjenje ledu, izda opozorilo o pojavu poledice na vozišču ob nadaljnjem nižanju temperature.

Pasivna sonda izpelje simulacijo točke zmrzišča ter napovedi treh stopenj alarma s pomočjo matematičnih algoritmov.

Sonde beležijo in simulirajo naslednje parametre:

- temperatura vozišča [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- stanje vozišča z razlikovanjem treh različnih nivojev v odvisnosti od količine vode na cestišču [suho, vlažno, mokro – tri stopnje],
- debelina vodnega filtra [mm],
- faktor slanosti [%],
- različne pogoje zaledenitve vozišča [led v ploskvah, poledica, slana, zmrznjen sneg],
- napovedujejo 3 alarmne statuse (pasivna sonda statuse določi s pomočjo izračuna, aktivna sonda določi različne alarmne statuse na podlagi meritve) in
- simulirajo – napovedujejo temperaturno točko zmrzišča.

Talna sonda na podlagi izmerjenih spremenljivk in matematičnih algoritmov določa alarme za opozarjanje pred sledečimi nevarnostmi na vozišču (stanje vozišča):

- nevarnost nastajanja ledu na vozišču,
- točka zamrznitve mešanice tekočine,
- prisotnost ledu na cestišču (povzeto po Boschung, 2013).

## **4 PREDSTAVITEV REZULTATOV IN DISKUSIJA**

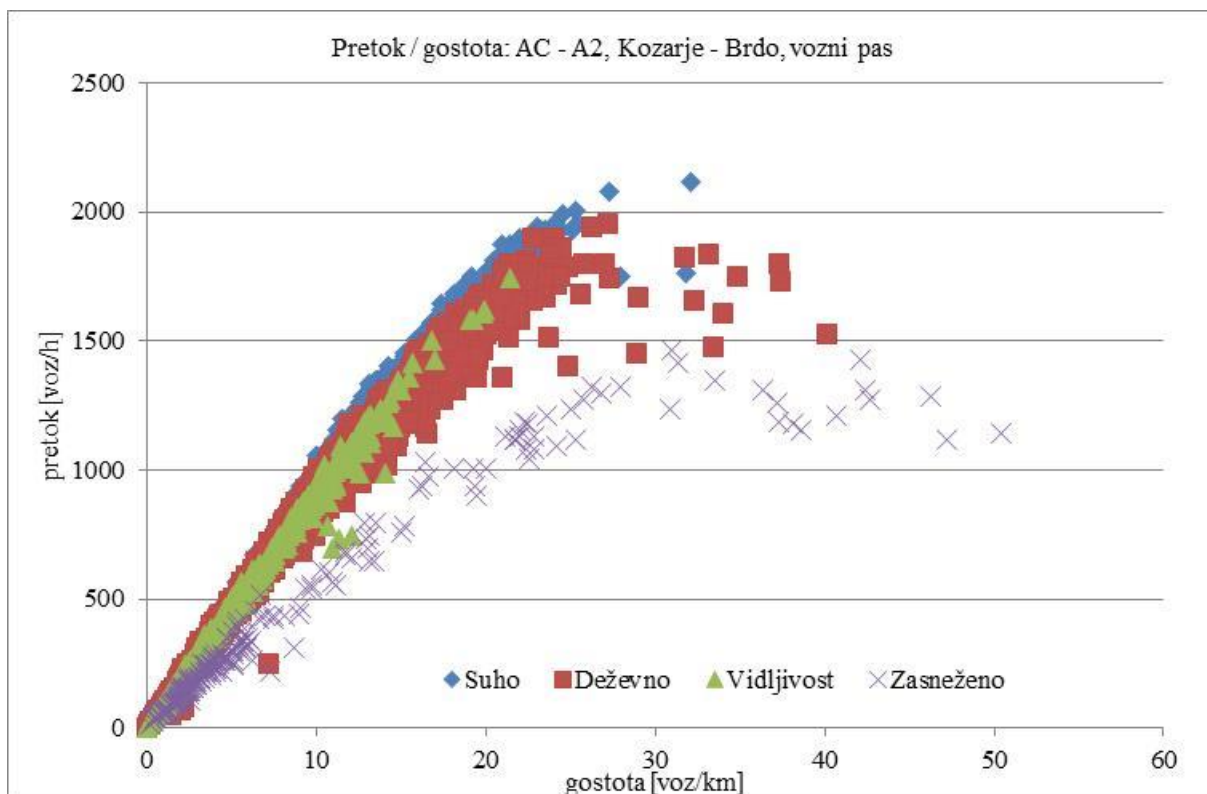
Opazovane osnovne karakteristike prometnega toka se ob različnih vremenskih stanjih pričakovano spreminjajo. Njihove soodvisnosti skušamo prikazati na spodnjih slikah. Opazimo, da odvisnosti med pretokom, hitrostjo in gostoto prometnega toka sledijo paraboličnim zakonitostim, kot veleva splošna teorija in empirični modeli o prometnem toku (npr. Van Aerde, 1995, Maher, 2007). Pretok je izmerjena variabilna spremenljivka, srednja prostorska hitrost je izračunana iz izmerjene srednje časovne hitrosti po Draku in sod. (1967). Vrednosti gostote je računsko določen iz pretoka in srednje prostorske hitrosti. Za prikaz rezultatov analize posameznih osnovnih spremenljivk prometnega toka v odvisnosti od vremena smo uporabili sliko razpršene vrednosti (angl. BoxPlot), katere podrobnejša razlaga je v poglavju 2.

### **4.1 Pregled rezultatov obdelave števecv na AC in R2**

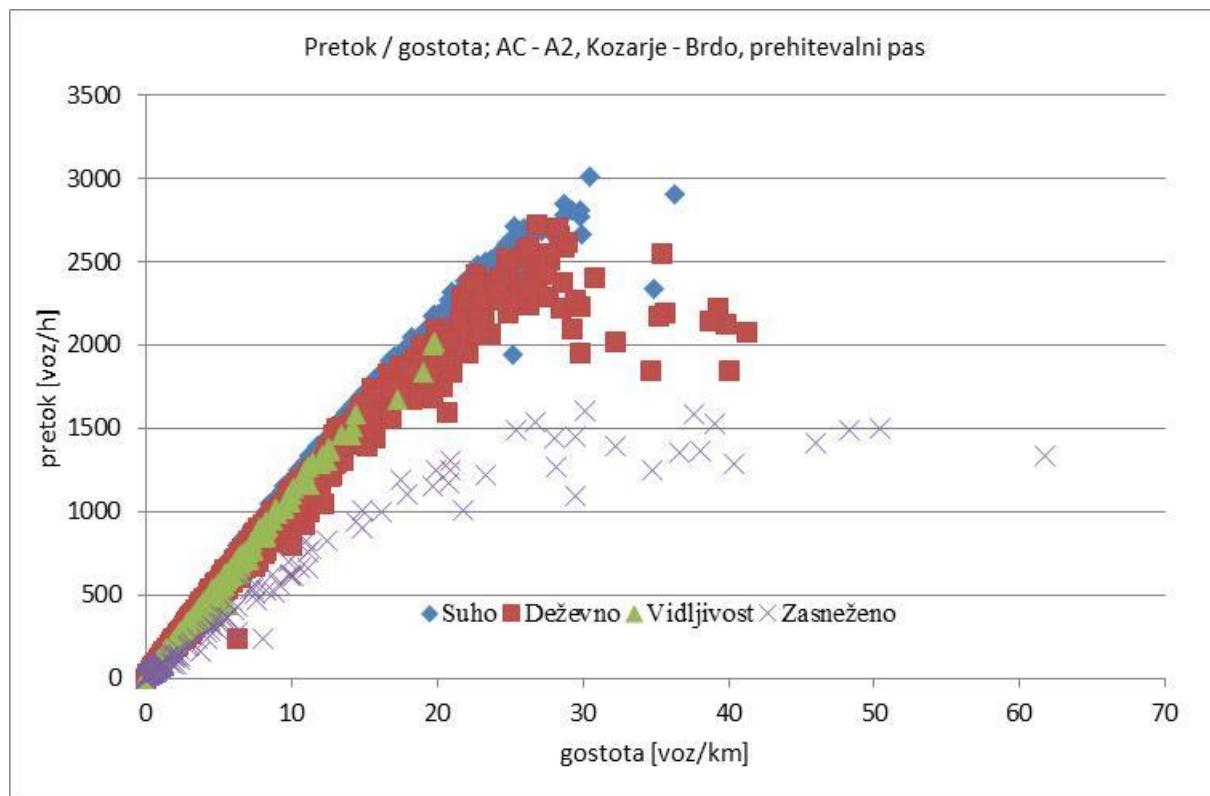
Naši rezultati relativno dobro sledijo tudi s prakso potrjenim empiričnim zakonitostim (npr. Van Aerde, 1995). Ugotovimo lahko, da se naše trendne linije različnih vremenskih stanj obnašajo v skladu s praktičnimi zakonitostmi prometnega toka.

#### 4.1.1 Odvisnost pretoka od gostote

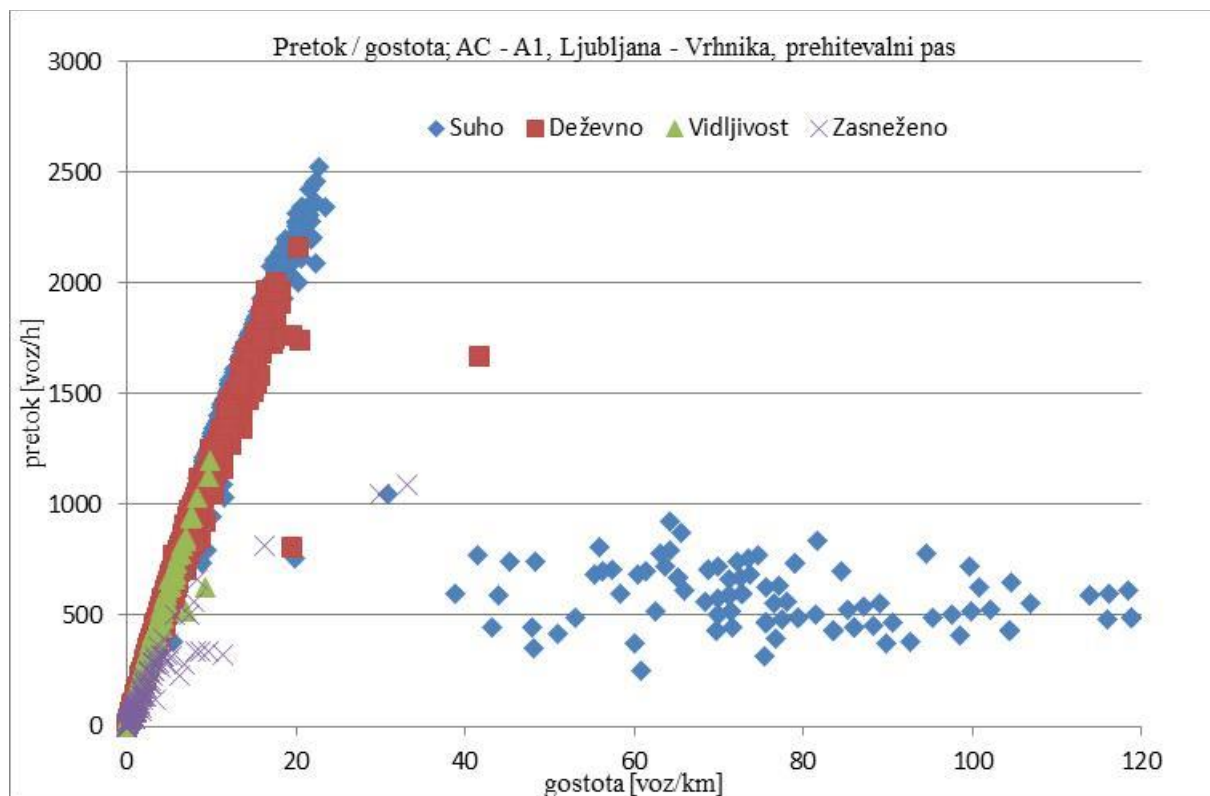
S povečevanjem gostote narašča tudi pretok vozil, vendar le do optimalne gostote. Takrat je prometni tok dosegel kapaciteto ceste. Ko se gostota vozil odmika od optimalne proti svojemu maksimumu ali minimumu, se parabolično sorazmerno znižuje tudi pretok vozil.



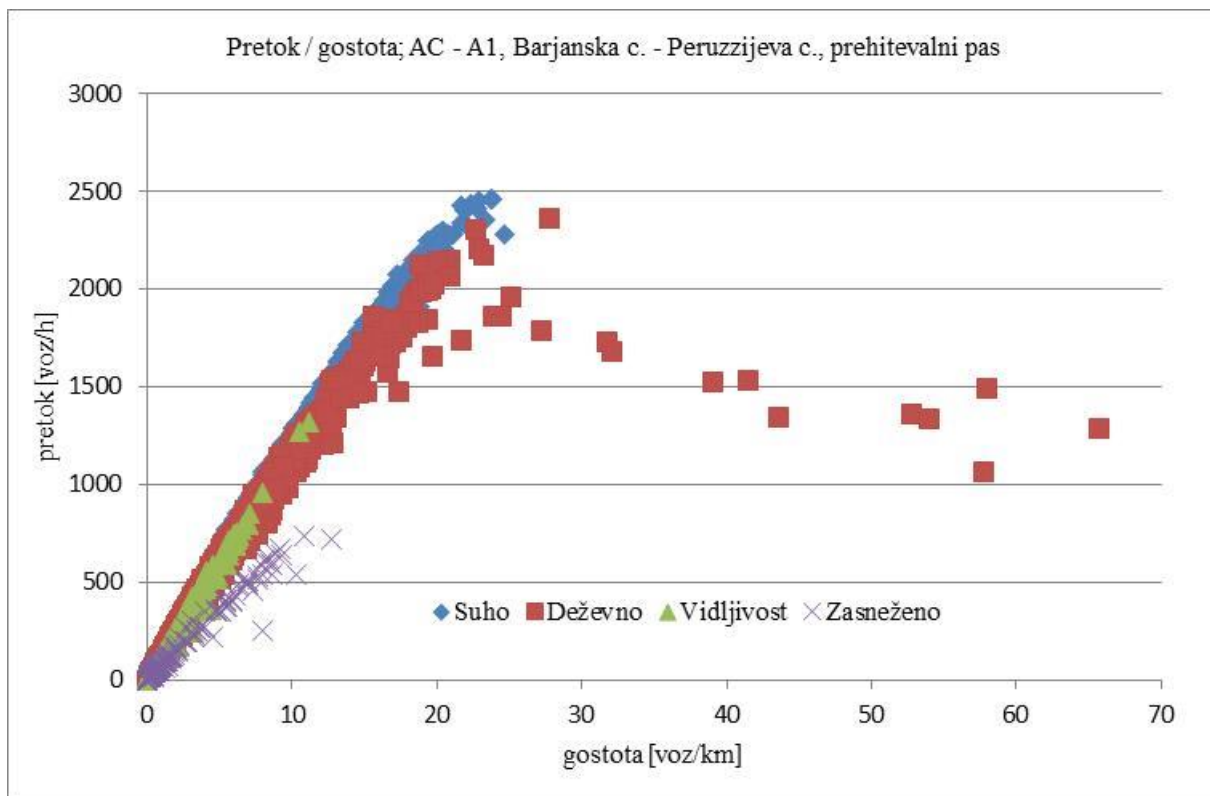
Slika 18: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice



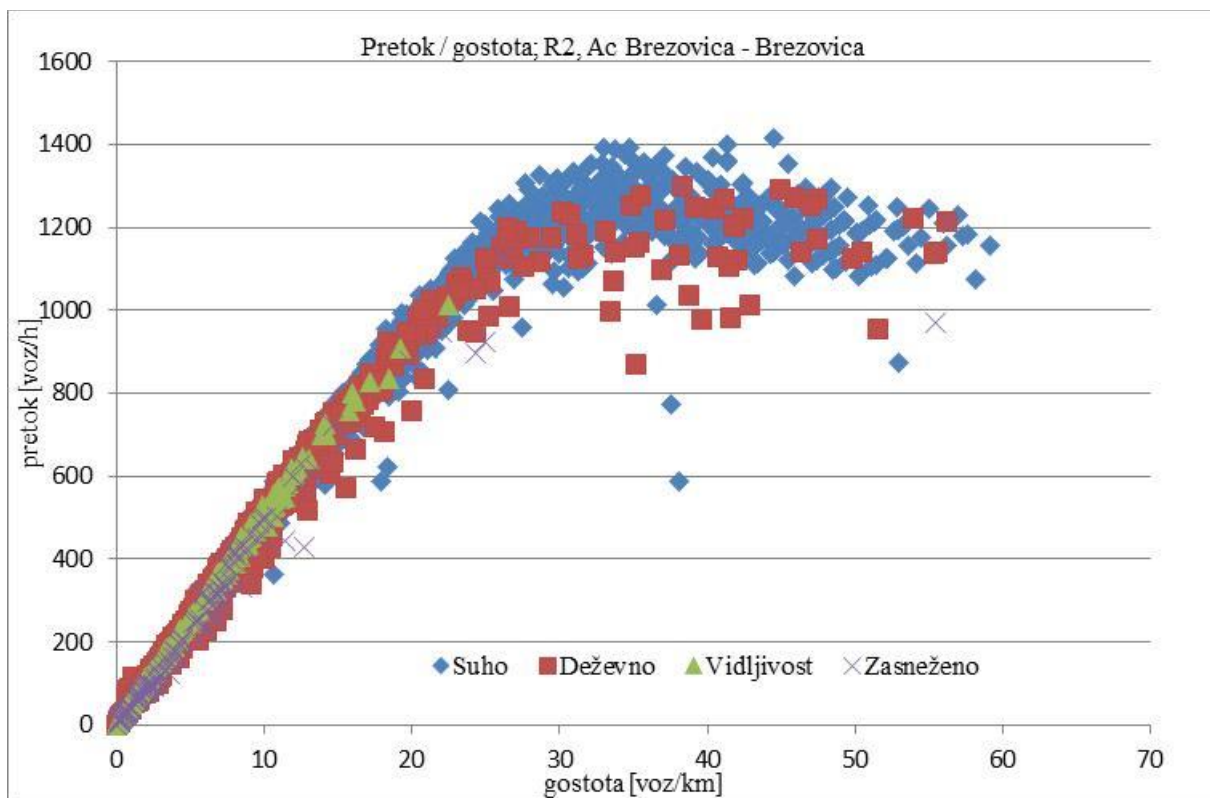
Slika 19: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice



Slika 20: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtoceste Ljubljana – Vrhnika



Slika 21: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka južne ljubljanske obvoznice.



Slika 22: Relacija pretok / gostota v odvisnosti od vremena na R2 števnega mesta Brezovica

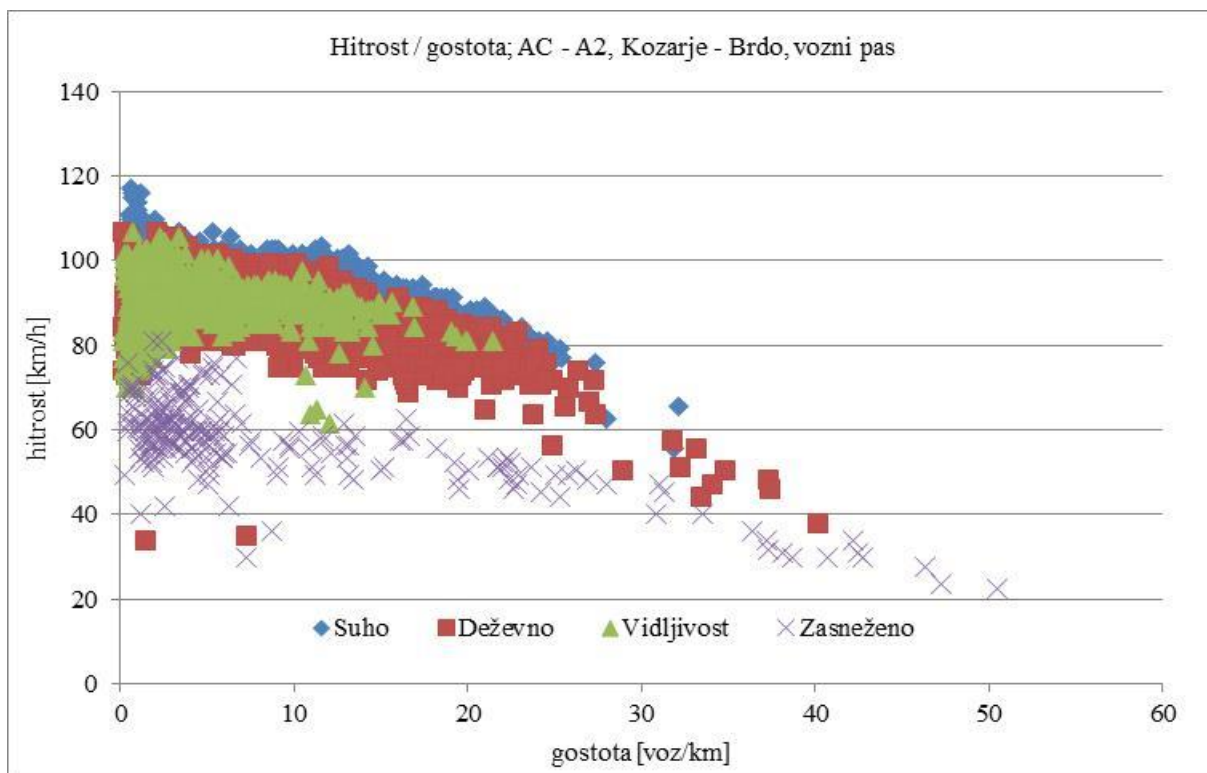
Iz slik odvisnosti pretoka in gostote je razvidno, da v idealnih (suhih) vremenskih pogojih na obravnavanih avtocestah na prehitevalnih pasovih in voznih pasovih pride do padca pretoka pri gostotah okoli 25 voz/km s pretoki nad 2000 voz/h. O podobno visokih vrednosti pretoka govori tudi Jamal (2013). Na primorski avtocesti (slika 20) se pogosto pojavijo velike zgostitve prometa (do 120 voz/km) pri pretoku 500 – 700 vozil na uro. Na regionalni cesti (Brezovica) je v suhih vremenskih pogojih optimalna gostota med 30 in 40 voz/km pri pretoku 1400 voz/h pogosto presežena. Gostota doseže svoj maksimum 55 voz/km pri pretoku 1200 voz/h.

V dežnih vremenskih pogojih je optimalna gostota na avtocestah (okoli 25 voz/h) presežena, vsaj za 10 voz/h. Pretoki pa so glede na suho vremensko stanje nižji okvirno za 10 %. Optimalna gostota (28 voz/h) števnege mesta na zahodni obvoznici na prehitevalnem pasu je dosežena pri pretoku 2800 voz/h (slika 19). Idealna gostota voznega pasu istega števnege mesta je nekaj nižja, 28 voz/km pri pretoku 2000 voz/km. Zanimiv trend razpršenosti podatkov smo opazili na južni obvoznici. Pri pretoku 1600 voz/h opazimo razcepitev pričakovane linije parabole. Pri podobni gostoti (cca 25 voz/km) lahko odčitamo dva različna maksimalna pretoka (1800 ali 2200 voz/h). Domnevamo da je nižji pretok odraz zelo močnih deževnih padavin (nalivov).

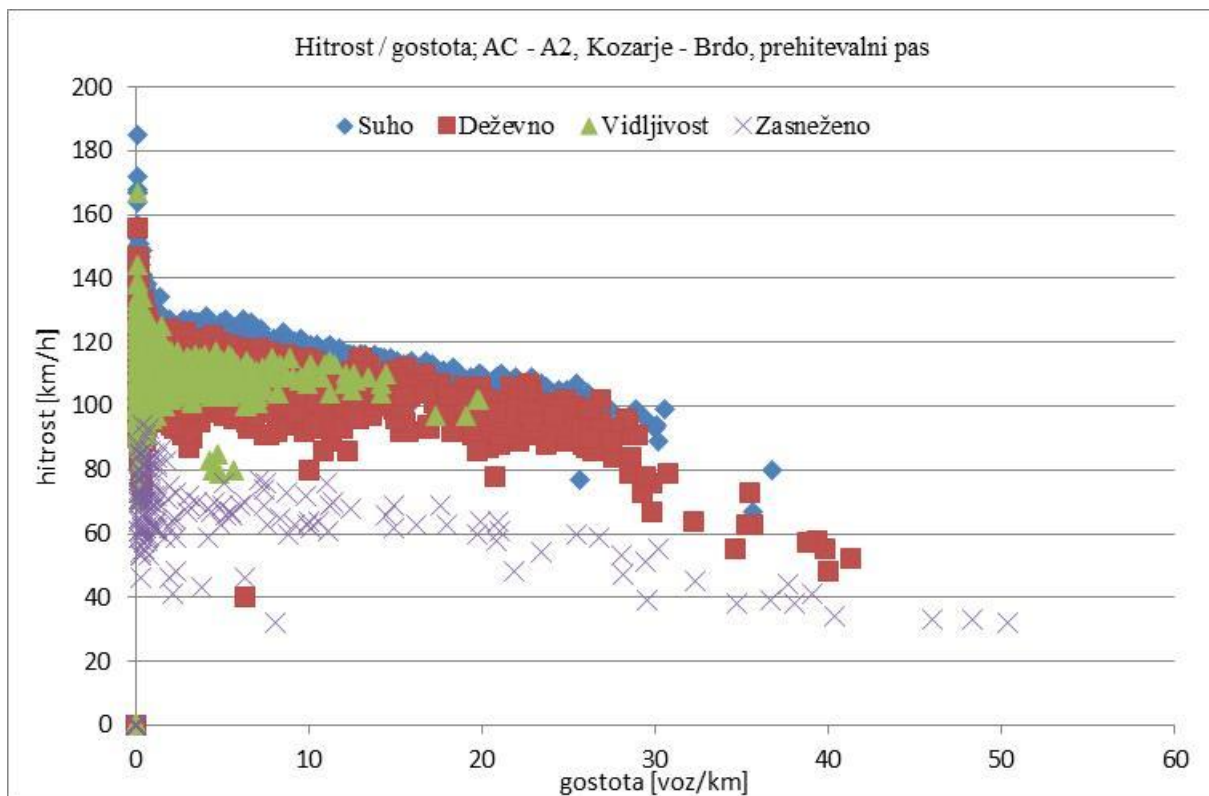
Iz primerjave odvisnosti pretoka in hitrosti je razvidno, da v obdobjih s slabo vidljivostjo (manjšo kot 250 m) na prometnicah ni prišlo do tako velikih prometnih obremenitev, da bi se pojavil trend padanja pretoka zaradi prekoračene optimalne gostote. Dejstvo je, da pride do pojava megle kot bistvenega redukcijskega faktorja vidljivosti v nočnem času, ko je obremenitev prometnic nizka.

V snežnih razmerah, ko se na pot odpravi manjše število voznikov, je na vseh števnih mestih opazno veliko zmanjšanje pretoka pri določeni (konstantni) gostoti v primerjavi z ostalimi vremenskimi stanji (sončno, deževno, ...). Samoumevno je, da ljudje avtomatsko prilagodijo hitrost vožnje stanju na cestišču (plundra, sneg, led, ...). Opazen je trend širokega intervala vrednosti optimalne gostote (od 25 – 40 voz/km) pri podobnem pretoku (na AC okoli 1300 voz/h, na R2 1000 voz/h) ne glede na kategorijo ceste in voznega ali prehitevalnega pasu. Za merno mesto zahodne ljubljanske obvoznice je razvidno, da se v snežnih razmerah tako na voznem kot prehitevalnem pasu pojavi optimalna gostota 30 – 35 voz/km pri pretoku na prehitevalnem pasu okoli 1500 voz/h in 1300 voz/h na voznem pasu. Sprememba maksimalnih pretokov pri optimalni gostoti je na voznem pasu AC v primerjavi s suhim vremenom manjša za 35 %, medtem ko se na prehitevalnih pasovih pretok zmanjša tudi do 50 % (sliki 18 in 19).

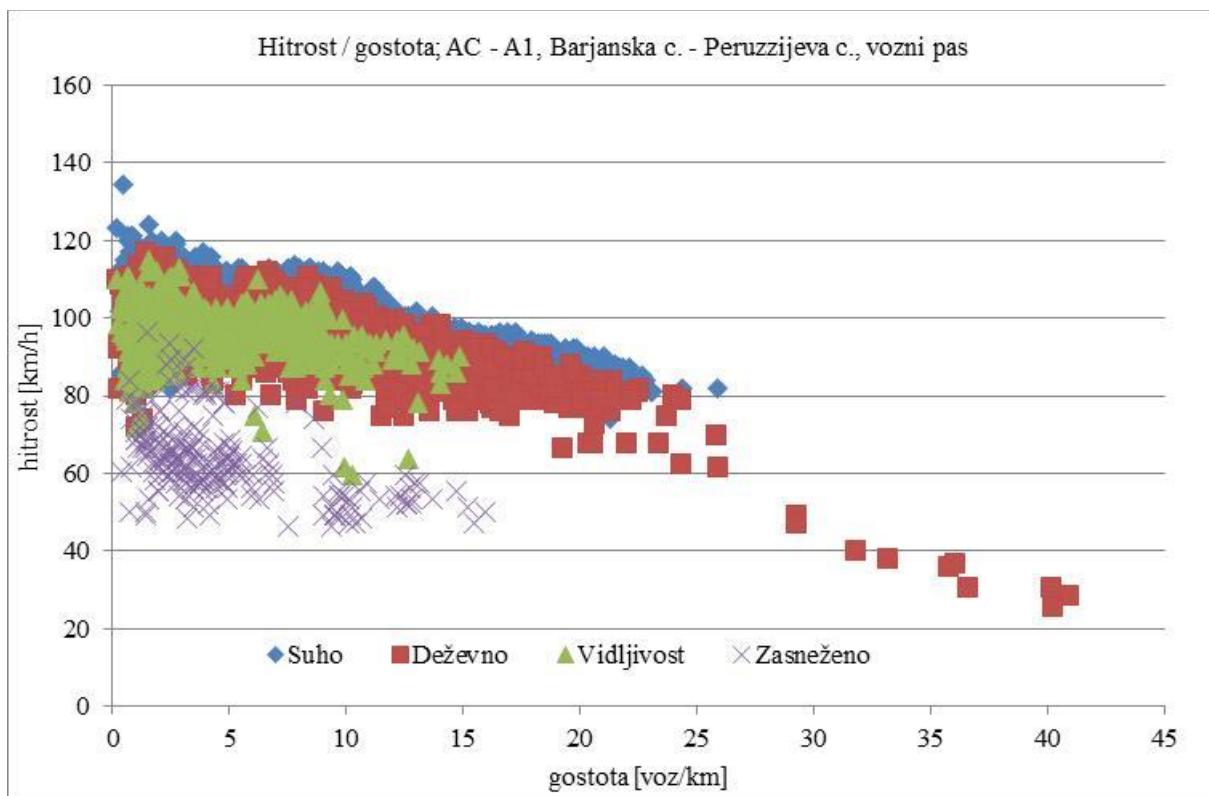
#### 4.1.2 Odvisnost hitrosti od gostote



Slika 23: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice

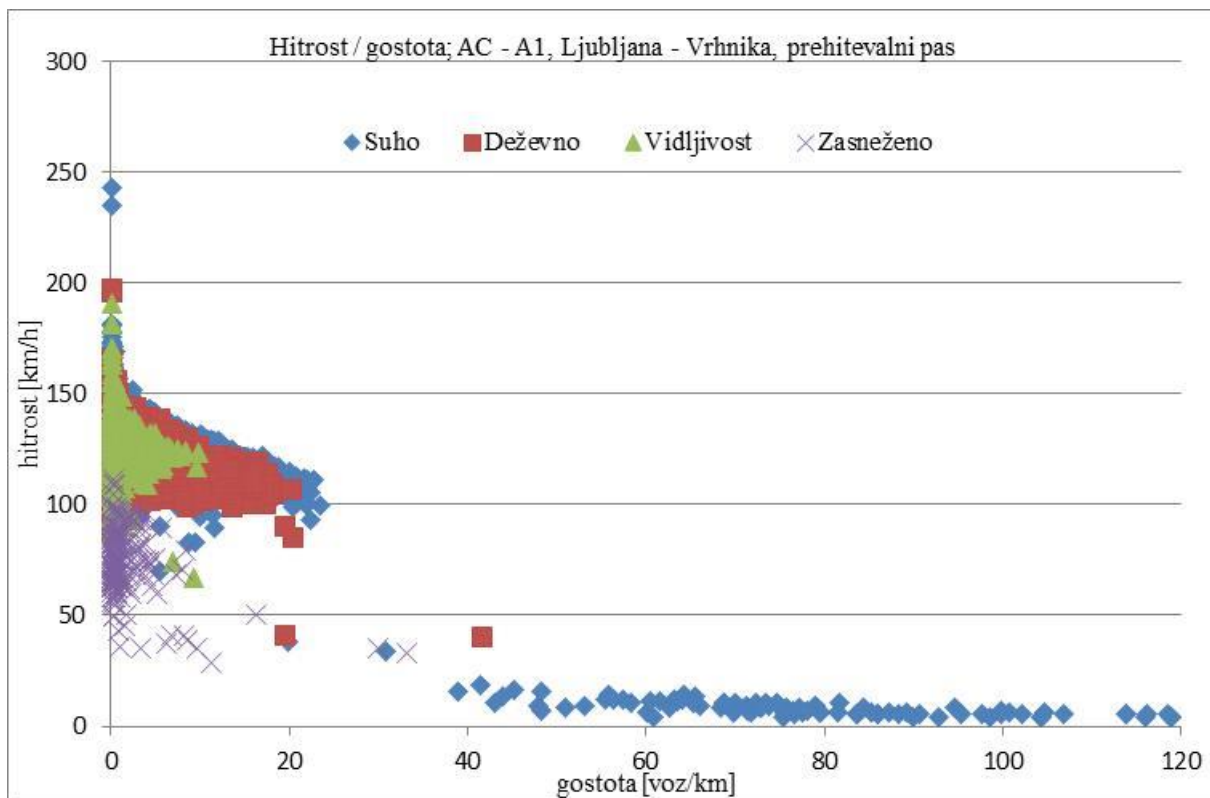


Slika 24: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice

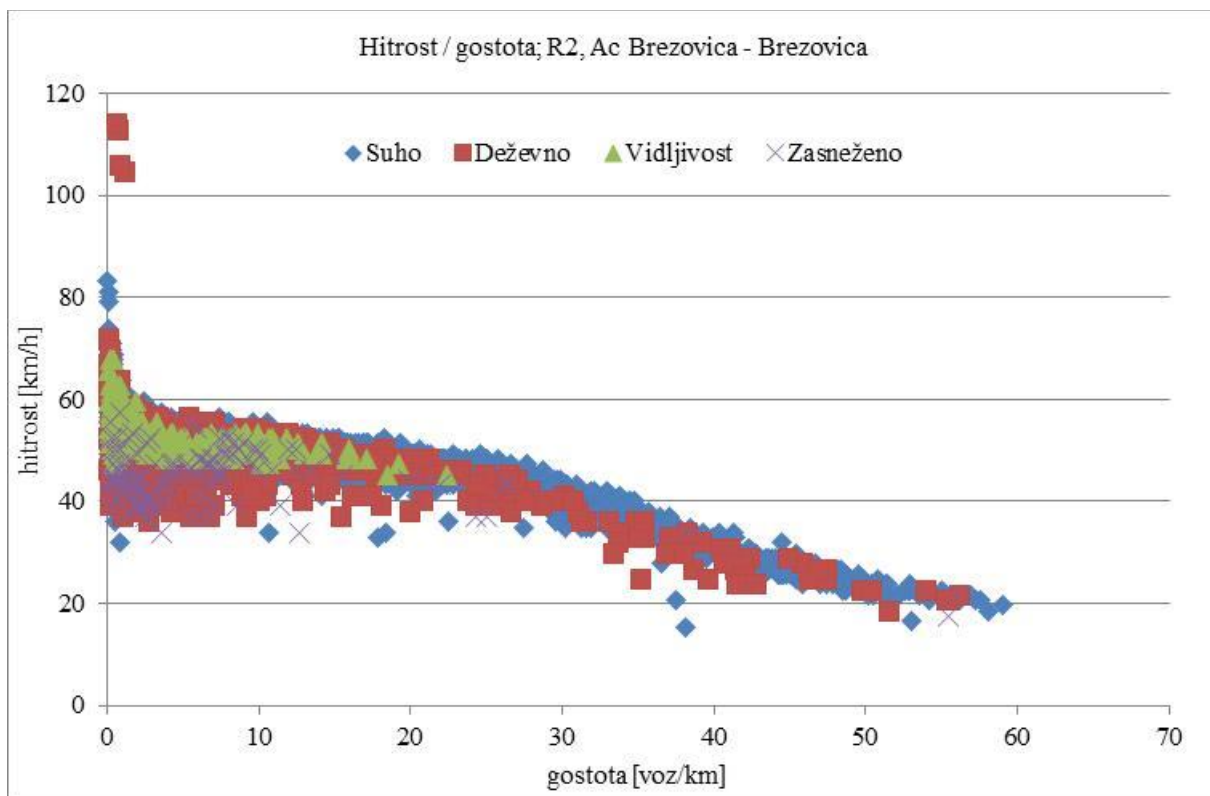


Slika 25: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na vozni pasu avtocestnega odseka južne ljubljanske obvoznice





Slika 26: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka primorske avtoceste



Slika 27: Relacija med hitrostjo in gostoto v odvisnosti od vremena na R2 števnega mesta Brezovica

Iz odvisnosti hitrosti in gostote pri različnih vremenskih pogojih opazimo trend padanja razpršenih vrednosti hitrosti in posledično povečanje gostote. Krivulje, ki jih lahko okvirno predpišemo našim rezultatom, se relativno dobro skladajo z empirično določenimi pričakovanimi trendi (npr. Van Aerde, 1995).

V suhih vremenskih pogojih so hitrosti na prehitevalnih pasih avtoceste za cca 20 km/h višje kot na voznih pasovih. Izhodiščna hitrost (pri nizkih gostotah) je na zahodni obvoznici prehitevalnega pasu 120 km/h ter 100 km/h na voznem pasu. Na primorski avtocesti opazimo pogost pojav zastojev, ko pri gostoti nad 40 voz/km pride do drastičnega padca hitrosti (slika 26). Na regionalni cesti so hitrosti pri nizkih gostotah blizu predpisani hitrostni omejitvi. Pri gostoti večji od 28 vozil/km opazimo povečan upad hitrosti. Predvidevamo, da je takrat dosežen oz. presežen optimalen pretok za to vrsto ceste, zato se pojavi zasičen tok in posledično se zmanjšajo hitrosti vozil (slika 27).

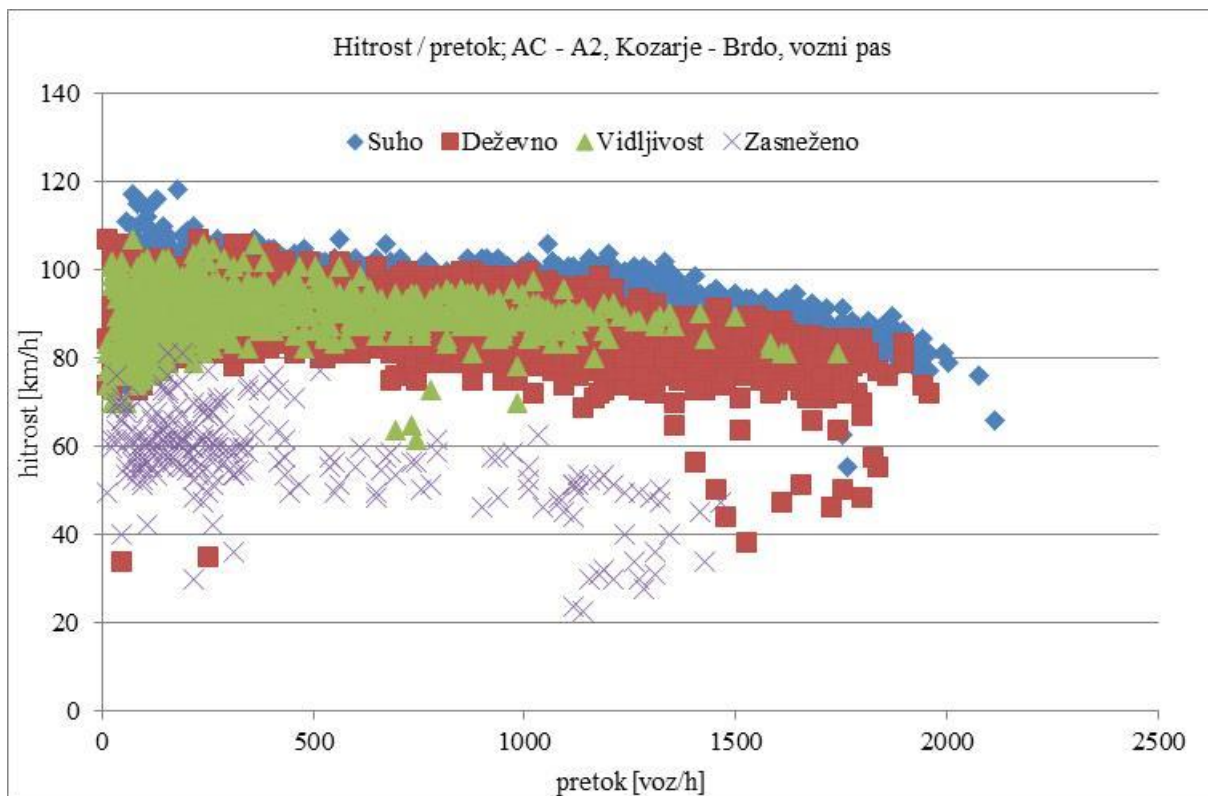
V deževnih pogojih zaznamo na avtocestah redukcijo hitrosti v primerjavi s suhim stanjem pri opazovani gostoti. Na prehitevalnih pasovih je padec hitrosti nekaj nižji (20 – 30 km/h) kot na voznem pasu (20 – 40 km/h) ob optimalnih gostotah okoli 25 – 30 voz/km. Na regionalnih cestah, kjer je predpisana omejitev hitrosti veliko nižja kot na AC, deževne padavine na nimajo velikega vpliva. Na odseku števnege mesta Brezovica opazimo, da pri gostoti nad 28 voz/km pride do upada hitrosti (slika 27), podobno je opazno tudi v suhem obdobju (zasičen tok).

Iz slik 23, 24, 25 in 26 je razvidno, da imamo podatke o pogojih z zmanjšano vidljivostjo na avtocestah le za nizke vrednosti gostote (prosti prometni tok). Opazimo lahko, da je linearni trend padanja hitrosti neizrazit. Lahko celo rečemo, da je z naraščanjem gostote hitrost skoraj konstantna. Najverjetneje je to odraz nastanke slabe vidljivosti (megla) v nočnih oz. zgodnjih jutranjih urah, ko je prometna obremenitev majhna. Podobno lahko zaključimo tudi za regionalno cesto.

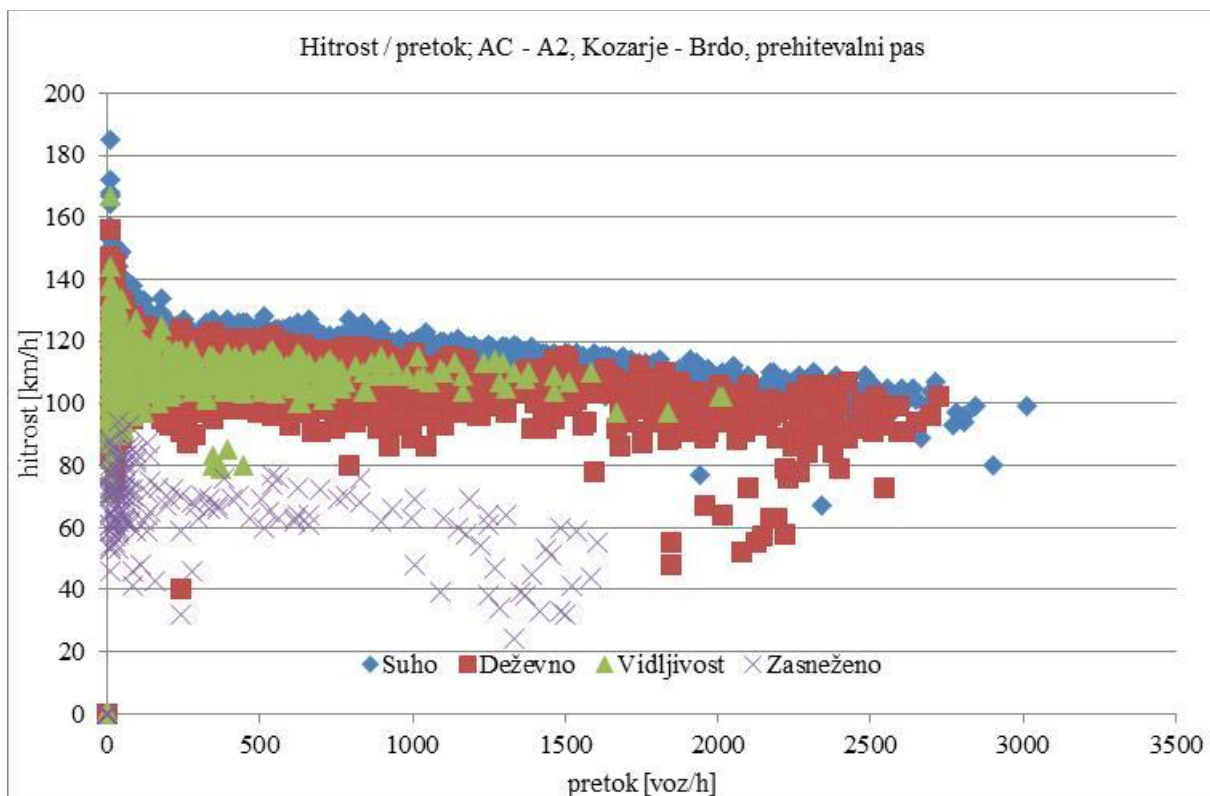
V snežnih razmerah je trend linearnega padanja hitrosti glede na gostoto podoben kot pri suhih in deževnih pogojih. Na avtocestah opazimo 40 % redukcijo hitrosti pri vseh zajetih gostotah glede na suho stanje. Na prehitevalnem pasu zahodne ljubljanske obvoznice zaznamo 50 km/h manjše hitrosti in za 40 km/h manjše hitrosti na voznem pasu glede na suho stanje. Na regionalni cesti je trend padanja hitrosti v snežnih razmerah podoben kot v razmerah s slabšo vidljivostjo. Hitrost se pri nizkih gostotah zniža za približno 5 km/h (8 %).

#### **4.1.3 Odvisnost hitrosti od pretoka**

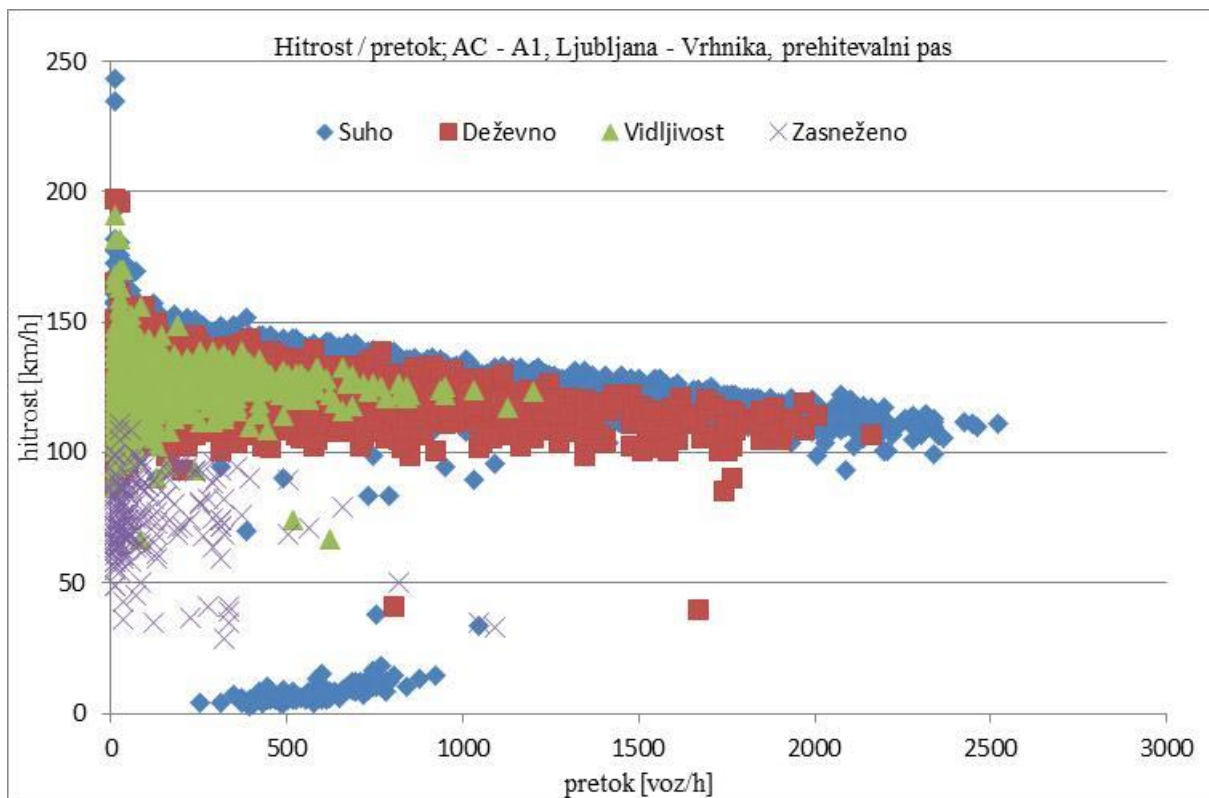
Osnovna zveza med hitrostjo in pretokom v prometnem toku je, da z naraščanjem pretoka hitrost upada. Ko je dosežena optimalna gostota, začneta upadati tako hitrost kot tudi pretok.



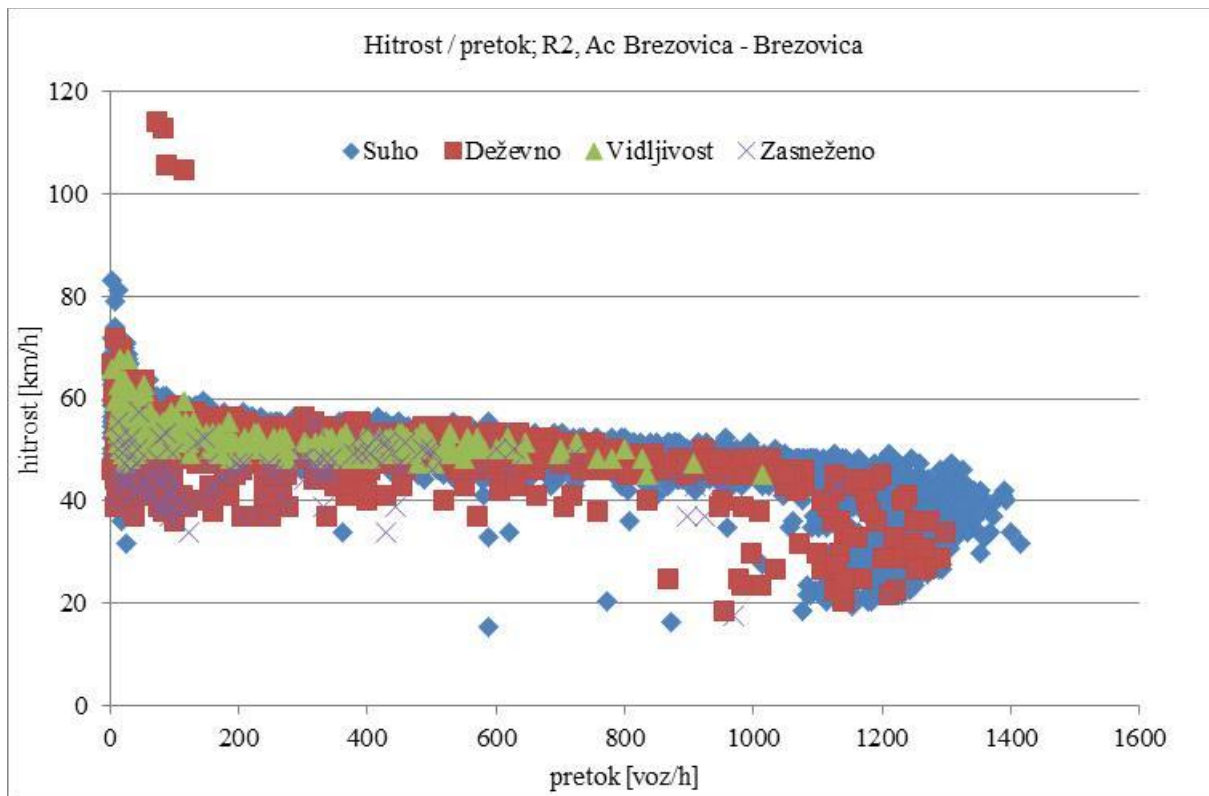
Slika 28: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na voznem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice



Slika 29: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka zahodne ljubljanske obvoznice



Slika 30: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na prehitevalnem pasu avtocestnega odseka primorske avtoceste



Slika 31: Relacija med hitrostjo in pretokom v odvisnosti od vremena na R2 števnega mesta Brezovica

V suhih vremenskih pogojih so optimalne hitrosti na prehitevalnih pasovih med 100 in 120 km/h pri maksimalnem pretoku 2800 oz. 2500 voz/h. Na voznih pasovih, kjer je maksimalni pretok nižji (2000 voz/h), so optimalne hitrosti cca 80 km/h. Ker prometne obremenitve na opazovanih odsekih ne dosežejo kapacitet AC, se nam na predstavljenih slikah 28, 29 in 30 ne pojavi pričakovana oblika parabole. Slednja je lepo prikazana na sliki 31, kjer velja za regionalno cesto R2 v suhih pogojih trend manjšanja hitrosti glede na pretok. Ob maksimalnem pretoku (1400 voz/h) in optimalni hitrosti (40 km/h) je dosežena kritična gostota (slika 31). Posledično opazimo upadanje pretoka, kar pomeni da je kapaciteta ceste presežena.

Za dežne pogoje opazimo na voznih pasovih avtoceste pri optimalnih hitrostih (nekaj nižje glede na suho stanje) manjše maksimalne pretoke glede na suho stanje. Na prehitevalnih pasovih se maksimalen pretok zmanjša za cca 300 – 400 voz/h, na voznem pasu za 200 voz/h. Pri obdelavi naših podatkov nismo dobili za teorijo značilne parabolične oblike, zato smo se oprli na trditve Jamala (2013). Za regionalno cesto nam dobljeni rezultati lepo sovpadajo z zakonitostmi, ki jih velevajo empirični modeli. Iz slike 31 lahko razberemo kritično gostoto, pri kateri so maksimalni pretoki 1300 voz/h in hitrosti okoli 30 km/h.

Z nabora naših podatkov za vreme s slabo vidljivostjo ni viden pričakovan trend odvisnosti med hitrostjo in pretokom, saj nam primanjkuje podatkov ob velikih pretokih. To je posledica pojava tega vremenskega stanja v času manjše prometne obremenitve.

Za snežne razmere na zahodni obvoznici vidimo, da je tako za prehitevalni kot za vozni pas maksimalen pretok dosežen pri 1500 voz/h, nakar se trend odvisnosti spremeni in pretoki začno padati. Za oba pasova na AC je razvidna lepa slika parabole (sliki 28 in 29). Optimalna hitrost na voznem pasu je dosežena pri 45 km/h ter 50 km/h na prehitevalnem pasu. Da je razlika med optimalno hitrostjo voznega pasu in prehitevalnega pasu manjša lahko pripišemo prisotnosti (večjega števila) tovornih vozil na voznem pasu. Njih prisotnost neželenih (surovih) vremenskih pogojev na cestišču ne moti v tako velikem obsegu, kot osebna vozila. Seveda to velja le do neke stopnje (zasneženo vozišče, ... ), nakar pride do popolne zaustavitve (izločanje iz prometa) tovornih vozil.

#### **4.1.4 Vpliv vremena na kapaciteto in na hitrost pri kapaciteti**

V prejšnjih treh poglavjih o odvisnostih spremenljivk prometnega toka smo govorili o maksimalnem pretoku, optimalni hitrosti in optimalni gostoti za vsako vremensko stanje posebej. Z maksimalnim pretokom in optimalno hitrostjo lahko na primer po Smithu in sod. (2004) ocenimo kapaciteto in hitrost pri kapaciteti obravnavanega odseka ceste. V preglednici spodaj smo zbrali podatke o kapaciteti in hitrosti pri kapaciteti za suho, deževno ter zasneženo vremensko stanje. Za vremensko stanje s slabo vidljivostjo teh podatkov nismo uspeli pridobiti, o vzrokih za to smo govorili že v poglavjih 4.1.1 – 3.

Preglednica 5: Kapaciteta in hitrost pri kapaciteti s pripadajočimi deleži sprememb za opazovane odseke cest

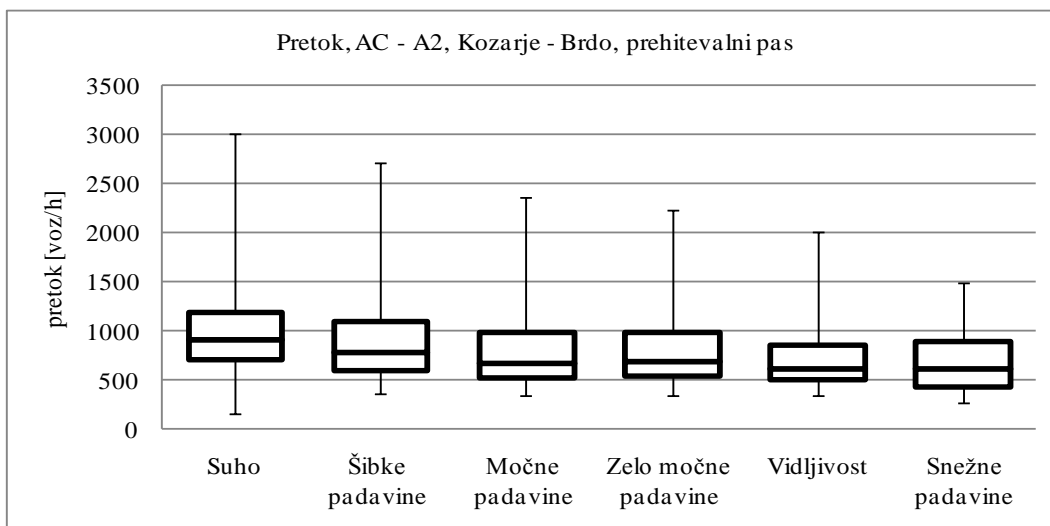
	Kapaciteta [voz/h/pas]			Hitrost pri kapaciteti [km/h]		
	Suho	Deževno	Zasneženo	Suho	Deževno	Zasneženo
AC - A2; Kozarje - Brdo, VP	2100	1900	1500	76	73	47
AC - A2; Kozarje - Brdo, PP	2900	2700	1600	99	96	55
AC - A1; Barjanska c. - Peruzzijeva c., VP	2100	1900		82	80	
AC - A1; Barjanska c. - Peruzzijeva c., PP	2500	2300		104	100	
R2; Ac Brezovica - Brezovica	1400	1300	1000	40	34	30
Sprememba [%]	Kapaciteta			Hitrost pri kapaciteti		
	Suho	Deževno	Zasneženo	Suho	Deževno	Zasneženo
AC - A2; Kozarje - Brdo, VP	0	- 10	- 29	0	- 4	- 38
AC - A2; Kozarje - Brdo, PP	0	- 7	- 45	0	- 3	- 44
AC - A1; Barjanska c. - Peruzzijeva c., VP	0	- 10		0	- 2	
AC - A1; Barjanska c. - Peruzzijeva c., PP	0	- 8		0	- 4	
R2; Ac Brezovica - Brezovica	0	- 7	- 29	0	- 15	- 25

S preglednice 5 opazimo, da je v deževnem vremenu redukcija kapacitete večja na voznem pasu (10 %) kot na prehitevalnem pasu (7 – 8 %). Za zasneženo vremensko stanje velja ravno obratno. Redukcija kapacitete na voznem pasu je 29 %, na prehitevalnem pa kar 45 %, kar je ob prisotnosti snežne odeje na vozišču verjetno posledica preusmeritve voznikov na vozni pas, kjer je boljše, »lepše« stanje na vozišču. Podobne redukcijske faktorje kapacitete na avtocestah so dobili tudi Weng s sod. (2013), Agarval s sod. (2005), Ibrahim in Hall (1994). Na regionalni cesti opazimo padeč kapacitete v dežju za 7 %. V snežnih razmerah se zaradi prilagoditve hitrosti danim razmeram kapaciteta zmanjša za 29 %, delno je kapaciteta manjša tudi zaradi zmanjšanega prometnega povpraševanja.

Za optimalno hitrost pri kapaciteti opazimo s slabšanjem vremena podobno obnašanje padanja vrednosti kot za kapaciteto. Opazimo, da je na zahodni obvoznici ob deževnem vremenu redukcija hitrosti pri kapaciteti na voznem pasu (4 %) malo večja kot na prehitevalnem pasu (3 %). V zasneženih vremenskih pogojih hitrost pade na voznem pasu za 38 % na prehitevalnem pasu za 44 %. Na voznem pasu južne obvoznice se ob dežju hitrost pri kapaciteti manj spremeni (2 %) kot na prehitevalnem pasu (4 %). To je posledica nižjih izhodiščnih hitrosti ter prisotnosti velikega deleža tovornih vozil na voznem pasu, saj na poklicne voznike vremenske razmere ne vplivajo v tako velikem obsegu kot na voznike osebnih vozil. Na regionalni cesti je padeč hitrosti ob deževnem stanju 15 %, ob snežnem stanju pa 25 %.

#### 4.1.5 Vpliv vremena na prepustnost

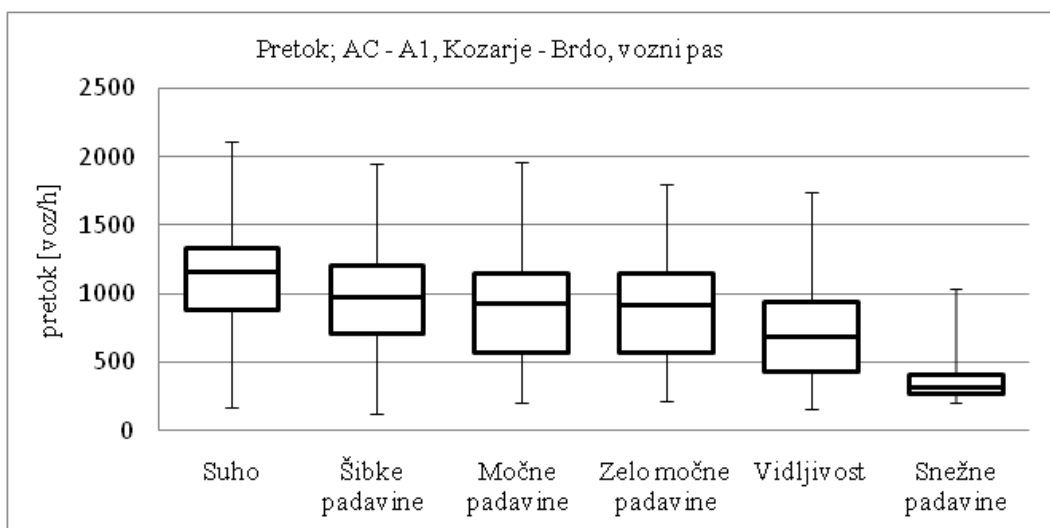
Prometna obremenitev na cestah je v neugodnih vremenskih razmerah (sneg na vozišču, ...) nižja kot ob normalnih, saj vozniki izbirajo druga prevozna sredstva (javni promet, ...), odpovejo pot ali jo prestavijo na zgodnejšo / kasnejšo uro. Vendar vse to vpliva le na velikost vzorca prometnega toka, katerega karakteristike smo opazovali in analizirali.



Slika 32: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu zahodne obvoznice

Preglednica 6: Enostranski T test pretoka na prehitevalnem pasu na zahodni obvoznici

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$3,1 \times 10^{-11}$	$5,9 \times 10^{-9}$	$2,1 \times 10^{-8}$	$2,2 \times 10^{-8}$	$9,6 \times 10^{-8}$
Pretok se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev

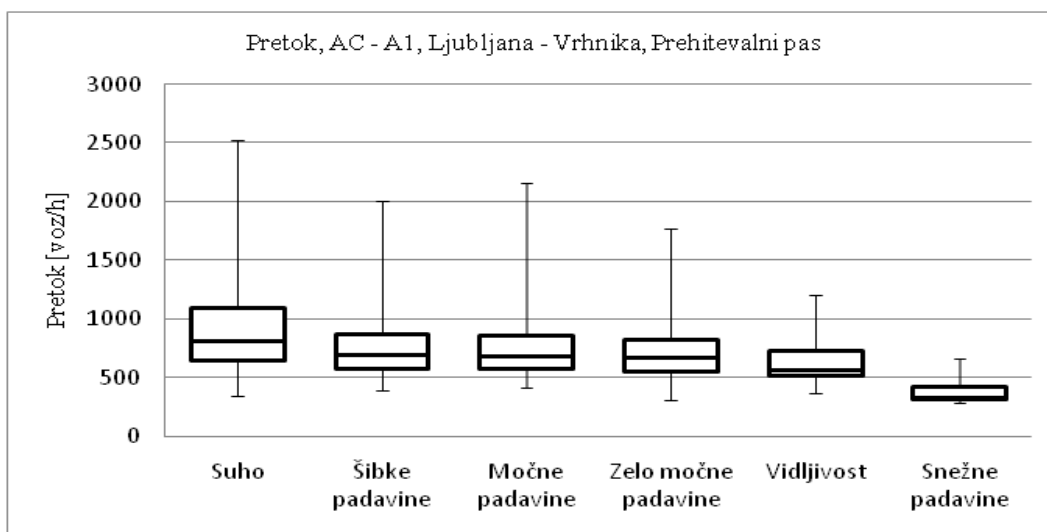


Slika 33: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena voznega pasu zahodne obvoznice

Preglednica 7: Enostranski T test pretoka voznega pasu na zahodni obvoznici

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$3,96 \times 10^{-19}$	$3,85 \times 10^{-9}$	$1,20 \times 10^{-6}$	$1,13 \times 10^{-16}$	$1,52 \times 10^{-30}$
Pretok se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev

Sliki razpršene vrednosti pretoka v odvisnosti od različnih vremenskih razmer na zahodni obvoznici kažeta trend pričakovanega padanja vrednosti pretoka. Padanje vrednosti pretoka od vremena smo dokazali tudi s Studentovim t testom (preglednici 6 in 7). Na sliki 32 opazimo, da sta območja intervala 2 in 3 kvartila vrednosti pretoka za vsako posamezno vremensko stanje podobnega velikostnega ranga 500 voz/h. Na voznem in prehitevalnem pasu opazimo trend padanja maksimalnih pretokov v odvisnosti od vremena. Na prehitevalnem pasu v suhem stanju maksimalen pretok doseže 3000 voz/h, v sneženih razmerah pade največji pretok na 1500 voz/h. Maksimalen pretok dežnih razredov premo sorazmerno pada s stopnjo intenzitete padavin, med šibkimi in zelo močnimi padavinami vidimo razliko 500 voz/h (slika 32). Na voznem pasu pa opazimo večjo neenakomernost velikosti območij intervala 2 in 3 kvartila kot na prehitevalnem pasu (slika 33).

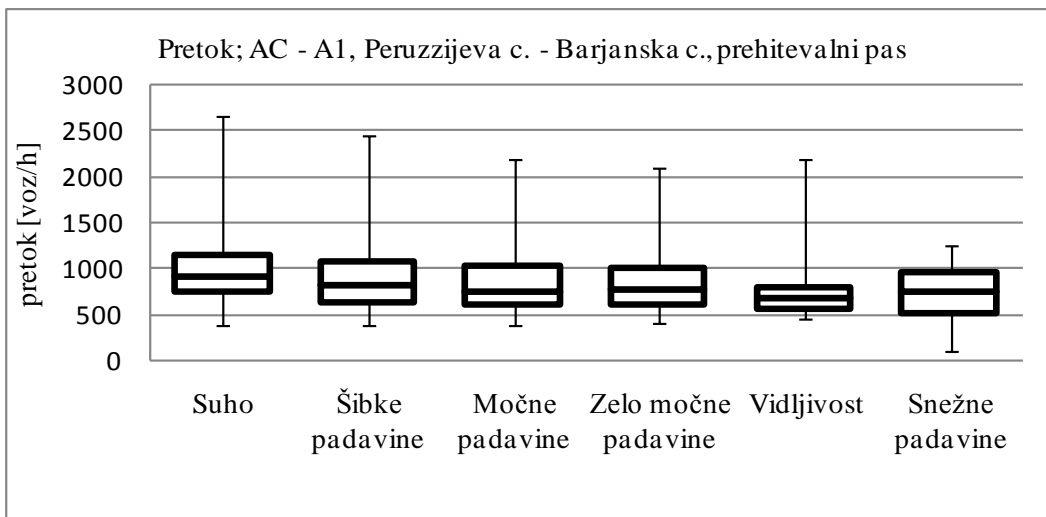


Slika 34: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu primorske avtoceste

Preglednica 8: Enostranski T test pretoka prehitevalnega pasu na primorski avtocesti

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test		$1,7 \times 10^{-17}$	$7,8 \times 10^{-15}$	$2,5 \times 10^{-17}$	$5,7 \times 10^{-28}$	$1,9 \times 10^{-8}$
Pretok se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev

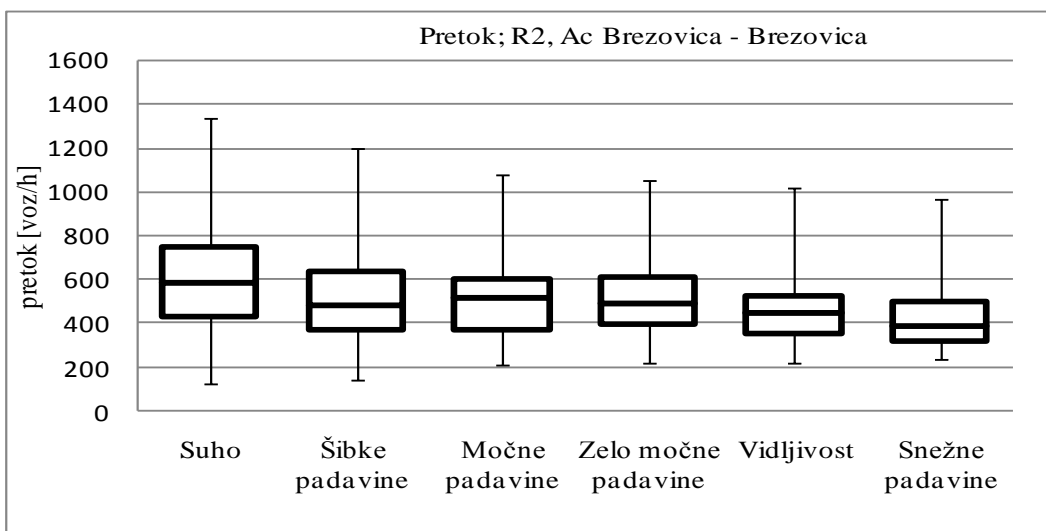




Slika 35: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu južne obvoznice

Preglednica 9: Enostranski T test pretoka prehitevalnega pasu na južni obvoznici

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$7,35 \times 10^{-8}$	$1,38 \times 10^{-7}$	$6,47 \times 10^{-9}$	$9,48 \times 10^{-14}$	$2,48 \times 10^{-5}$
Pretok se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev



Slika 36: Razpršena vrednost pretoka v odvisnosti od vremena regionalne ceste na Brezovici

Preglednica 10: Enostranski T test pretoka regionalne ceste na Brezovici

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
T test	0,5	$2,0 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-9}$	$1,8 \times 10^{-15}$	$6,7 \times 10^{-45}$	$6,6 \times 10^{-63}$
Pretok se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev

Tudi na regionalni cesti števnege mesta Brezovica vidimo trend padanja pretoka v odvisnosti od različnih vremenskih pogojev, kar smo potrdili s t Testom. Območje intervala drugega in tretjega kvartila pretoka v korelaciji od vremena so podobnih velikosti od 200 do 300 voz/h. V dežnih razmerah opazimo vpliv različnih intenzitet padavin. Območje intervala 2 in 3 kvartila je v razredu zelo močnih padavin najožji (200 voz/h). Ravno tako padajo maksimalni pretoki. V suhem obdobju se pretok povzpne na cca 1350 voz/h, najmanjši maksimalni pretoki so v snežnih razmerah z vrednostmi malenkost pod 1000 voz/h.

Preglednica 11: Pretok in spremembe pretoka v odvisnosti od vremena na opazovanih avtocestnih odsekih

Pretok [voz/h]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	1159	833	778	748	811	558
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	972	906	867	849	723	726
A2, Brdo - Kozarje, PP	1113	913	870	807	696	631
A2, Kozarje - Brdo, PP	1005	943	949	853	724	690
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	928	791	760	751	637	384
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	974	865	759	754	586	338
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	879	793	758	773	545	504
A2, Brdo - Kozarje, VP	1043	887	838	858	621	385
A2, Kozarje - Brdo, VP	1085	951	883	885	695	375
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	677	603	587	580	417	318
Povprečje	984	848	805	786	646	491
Standardna deviacija	137	103	100	88	111	152
Povprečje PP	1035	877	845	801	718	598
Povprečje VP	932	820	765	770	573	384
Sprememba pretoka [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	0,0	-28,1	-32,9	-35,5	-30,1	-51,9
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	0,0	-6,9	-10,8	-12,7	-25,6	-25,3
A2, Brdo - Kozarje, PP	0,0	-18,0	-21,9	-27,5	-37,5	-43,3
A2, Kozarje - Brdo, PP	0,0	-6,1	-5,6	-15,1	-28,0	-31,4
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	0,0	-14,7	-18,0	-19,0	-31,3	-58,6
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	0,0	-11,2	-22,1	-22,5	-39,8	-65,3
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	0,0	-9,7	-13,7	-12,0	-38,0	-42,7
A2, Brdo - Kozarje, VP	0,0	-15,0	-19,7	-17,8	-40,5	-63,1
A2, Kozarje - Brdo, VP	0,0	-12,4	-18,6	-18,4	-35,9	-65,4
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	0,0	-11,0	-13,3	-14,4	-38,4	-53,1
Povprečje	0,0	-13,3	-17,7	-19,5	-34,5	-50,0
Povprečje PP	0,0	-14,8	-17,8	-22,0	-30,5	-42,1
Povprečje VP	0,0	-11,9	-17,5	-17,0	-38,5	-57,9

V suhem vremenu je na ljubljanskem obroču povprečen urni pretok 985 voz/h. V zelo močnih padavinah se prepustnost zmanjša za 22 % na prehitevalnem pasu in za 17 % na voznem pasu. Za razred s slabo vidljivostjo je zmanjšanje pretoka na voznem pasu 38 % ter na prehitevalnem pasu 30 %. V snežnih razmerah pretok pade za 50 %. Opazimo lahko veliko razliko v redukciji prepustnosti v snežnih razmerah glede na sam pas avtoceste, kjer se zmanjša na voznem pasu za 57 % ter za 42 % na prehitevalnem pasu. Podobno velja tudi za stanje s slabšo vidljivostjo. Za ostala vremenska razreda redukcijska razlika na posameznih pasovih ni tako očitna. Največja redukcija zaradi snega je na zahodni ljubljanski obvoznici obeh voznih pasov, kjer se pojavi kar 65 % zmanjšanje prepustnosti, enako kot na voznem pasu južne obvoznice za smer Barjanska cesta proti Peruzzijski cesti.

Preglednica 12: Pretok in spremembe pretoka v odvisnosti od vremena na regionalni cesti

<b>Pretok [voz/h]</b>	<b>Suho</b>	<b>Šibke p.</b>	<b>Močne p.</b>	<b>Zelo močne p.</b>	<b>Vidljivost</b>	<b>Snežne p.</b>
R2, Ac Brezovica - Brezovica	605	521	505	521	461	450
R2, Brezovica - Ac Brezovica	648	555	546	497	453	451
R2, Ac Brezovica - Vič	386	379	353	355	296	345
R2, Vič - Ac Brezovica	388	358	340	324	302	332
Povprečje	507	453	436	424	378	395
Standardna deviacija	139	99	105	99	91	65
<b>Sprememba pretoka [%]</b>	<b>Suho</b>	<b>Šibke p.</b>	<b>Močne p.</b>	<b>Zelo močne p.</b>	<b>Vidljivost</b>	<b>Snežne p.</b>
R2, Ac Brezovica - Brezovica	0	-13,8	-16,6	-14,0	-23,9	-25,6
R2, Brezovica - Ac Brezovica	0	-14,3	-15,7	-23,3	-30,0	-30,3
R2, Ac Brezovica - Vič	0	-1,9	-8,7	-8,0	-23,3	-10,7
R2, Vič - Ac Brezovica	0	-7,8	-12,4	-16,5	-22,3	-14,5
Povprečje	0	-9,5	-13,4	-15,4	-24,9	-20,3

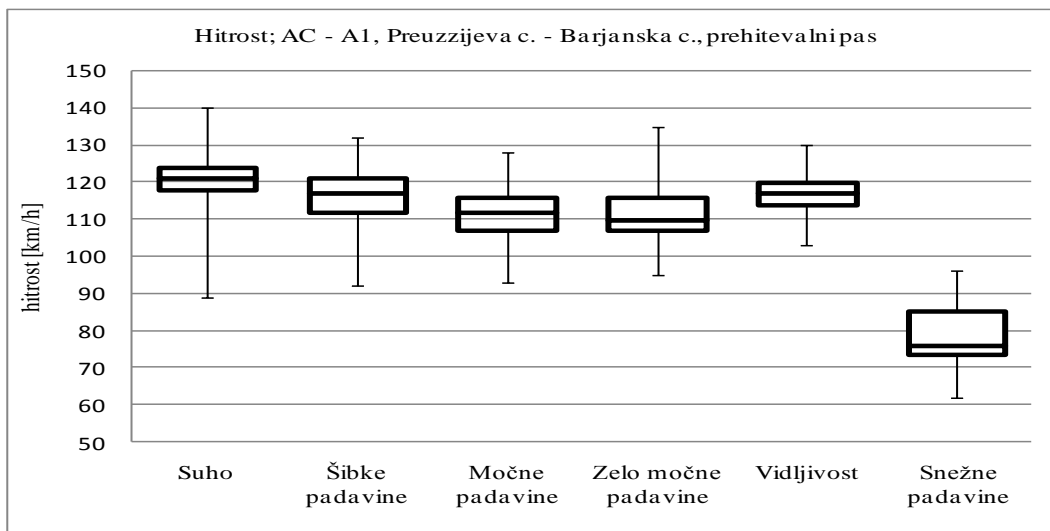
Analiza je pokazala, da je del obravnavanega odseka R2 med križiščem z avtocestnim uvozom Brezovica in Dolgim mostom manj prometno obremenjen. Na tem delu so opazne tudi manjše redukcije vseh obravnavanih spremenljivk.

V suhem stanju je na regionalni cesti povprečni urni pretok 507 voz/h. Bolj obremenjen je del obravnavanega odseka R2 na Brezovici z maksimalnim pretokom 648 voz/h. V deževnih pogojih pretok pada sorazmerno z intenziteto dežnih padavin, za 9,5 % s šibkimi padavinami, za 13,4 % z močnimi padavinami ter za 15,4 % ob zelo močnih padavinah. Redukcija pretoka zaradi slabe vidljivosti v povprečju znaša 25 %. V snežnih razmerah je na Brezovici 25 – 30 % redukcija pretoka, na odseku pri Gorjancu se pretok zmanjša za 11 – 15 %.

#### 4.1.6 Vpliv vremena na hitrost

Na vseh BoxPlot slikah vidimo pričakovane redukcije hitrosti zaradi vremena, kar smo preverili s Studentovim t Testom. Opazimo trend večje redukcije hitrosti, tako maksimalnih kot tudi hitrosti v okolici mediane, za prehitevalni pas v primerjavi z voznim pasom AC. Pri opazovanju maksimalnih hitrosti voznega pasu v odvisnosti od vremena ne opazimo tako velikih skokov, kot so vidni na prehitevalnem pasu. V suhem vremenu 50 % vozil na prehitevalnem pasu vozi s hitrostmi med 115 in 120 km/h, na voznem pasu so hitrosti nižje, med 98 in 105 km/h. V dežnih razmerah trend padanja sovpada z naraščanjem intenzivnosti padavin. Obdobja s slabo vidljivostjo na hitrost vozil ne vplivajo močno, saj sta območja intervala 2 in 3 kvartila v podobnih okvirih kot v suhih vremenskih pogojih. V snežnih pogojih je opazen velik padec tako maksimalnih hitrosti kot hitrosti v okolici mediane. Območje intervala 2 in 3 kvartila se poveča. Podobno opazimo tudi pri zelo močnih padavinah (sliki 37 in 38).

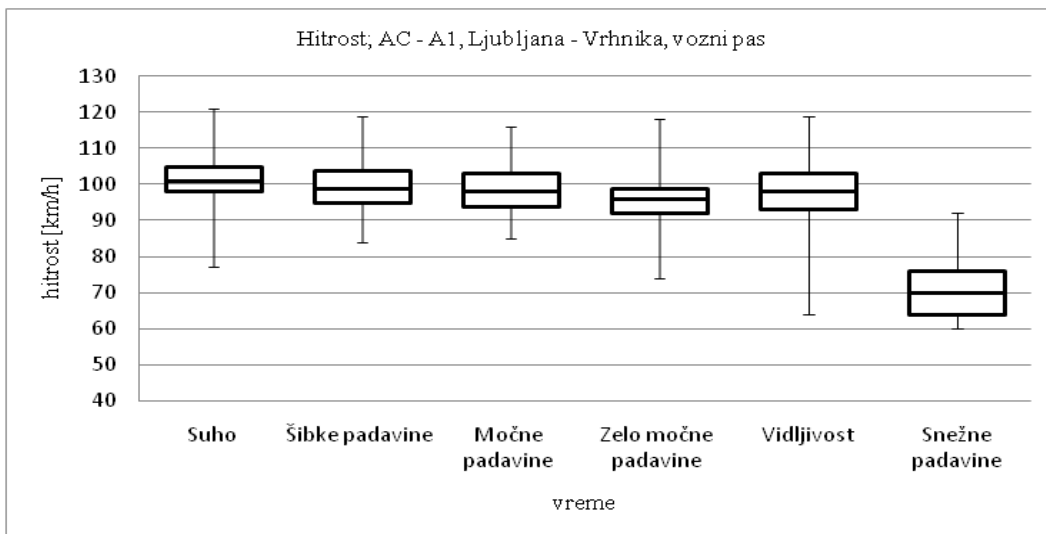
Iz slike 39 vidimo, da na regionalni cesti R2 50 % vseh voznikov vozi več od predpisane hitrostne omejitve (razen ob snežnih in zelo močnih dežnih padavinah). Opazimo pričakovan trend padanja hitrosti v odvisnosti od vremena v okolici mediane kot tudi padec maksimalnih hitrosti v odvisnosti od vremenskih pogojev. Velikosti območja 2 in 3 kvartila (s hitrostjo med 3 – 4 km/h) so si za vsa vremenska stanja podobna, z izjemo snežnih razmer, kjer je vrednost podvojena (8 km/h).



Slika 37: Razpršena vrednost hitrosti v odvisnosti vremena prehitevalnega pasu južne obvoznice

Preglednica 13: Enostranski T test hitrosti na prehitevalnem pasu avtoceste

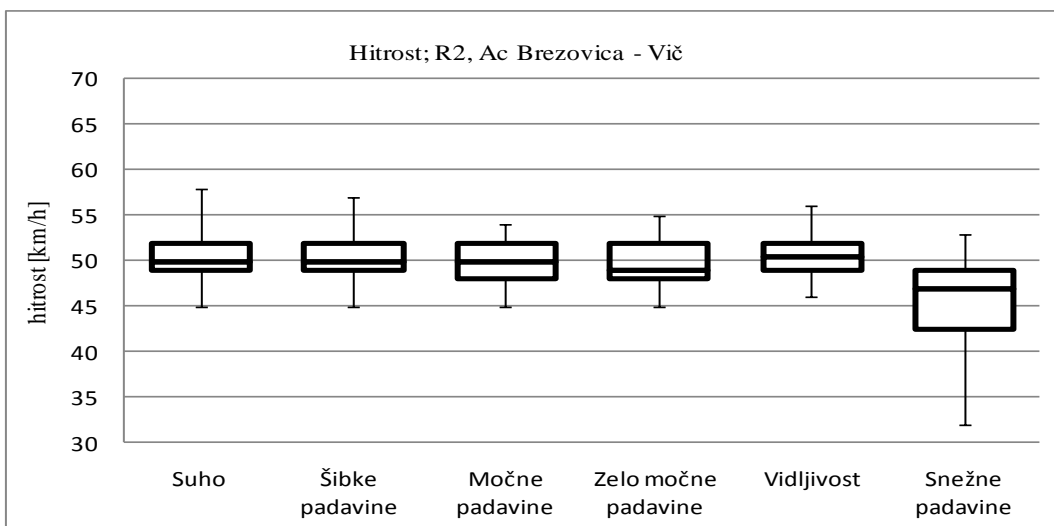
	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$2,7 \times 10^{-91}$	$1,1 \times 10^{-50}$	$1,7 \times 10^{-108}$	$2,7 \times 10^{-2}$	$6,4 \times 10^{-95}$
Hitrost se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev



Slika 38: Razpršena vrednost hitrosti v odvisnosti vremena voznega pasu primorske avtoceste

Preglednica 14: Enostranski T test hitrosti voznem pasu avtoceste

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-3}$	$6,9 \times 10^{-10}$	$9,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-80}$
Hitrost se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno



Slika 39: Razpršena vrednost hitrosti v odvisnosti od vremena na R2

Preglednica 15: Enostranski T testa hitrosti na R2

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$4,3 \times 10^{-9}$	$4,9 \times 10^{-15}$	$2,8 \times 10^{-12}$	$4,1 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-28}$
Hitrost se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno

Preglednica 16: Hitrosti in spremembe hitrosti v odvisnosti od vremena na avtocestah

Srednja časovna hitrost [km/h]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	121,2	117,9	117,0	113,7	116,8	68,6
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	120,8	116,0	111,7	111,2	116,8	79,0
A2, Brdo - Kozarje, PP	115,8	110,5	103,7	102,6	114,1	68,0
A2, Kozarje - Brdo, PP	114,1	108,0	106,2	102,2	108,2	66,9
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	125,3	121,6	120,3	116,4	122,4	76,6
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	97,2	95,0	92,5	91,8	95,5	68,8
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	95,9	93,8	91,1	90,4	93,9	69,2
A2, Brdo - Kozarje, VP	96,5	93,2	88,9	86,9	96,0	67,6
A2, Kozarje - Brdo, VP	93,0	88,7	85,6	84,4	90,5	65,9
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	101,5	99,7	98,7	95,8	98,1	70,9
Povprečje	108,1	104,4	101,6	99,5	105,2	70,1
Standardna deviacija	12,5	11,8	12,2	11,5	11,7	4,3
Povprečje PP	119,4	114,8	111,8	109,2	115,6	71,8
Povprečje VP	96,8	94,1	91,4	89,9	94,8	68,5
Sprememba hitrosti [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	0,0	-2,8	-3,4	-6,2	-3,6	-43,4
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	0,0	-3,9	-7,6	-7,9	-3,3	-34,6
A2, Brdo - Kozarje, PP	0,0	-4,6	-10,5	-11,5	-1,5	-41,3
A2, Kozarje - Brdo, PP	0,0	-5,3	-7,0	-10,4	-5,1	-41,4
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	0,0	-3,0	-4,0	-7,1	-2,4	-38,9
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	0,0	-2,3	-4,9	-5,5	-1,7	-29,2
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	0,0	-2,2	-5,0	-5,7	-2,0	-27,8
A2, Brdo - Kozarje, VP	0,0	-3,4	-7,8	-10,0	-0,5	-30,0
A2, Kozarje - Brdo, VP	0,0	-4,6	-8,0	-9,2	-2,6	-29,1
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	0,0	-1,8	-2,8	-5,7	-3,3	-30,2
Povprečje	0	-3,4	-6,1	-7,9	-2,6	-34,6
Povprečje PP	0	-3,9	-6,5	-8,6	-3,2	-39,9
Povprečje VP	0	-2,9	-5,7	-7,2	-2,1	-29,3

Iz preglednice 16 vidimo, da na ljubljanskem avtocestnem obroču vozijo s povprečno hitrostjo 119 km/h na prehitevalnih pasovih in s 97 km/h na voznih pasovih. Razlika med povprečnimi hitrostmi v odvisnosti od vremena na voznih in prehitevalnih pasovih je za vse vremenske razrede (razen za snežni razred) cca 20 km/h, v snežnih pogojih pa je le 4 km/h višja na prehitevalnem pasu. V dežnih razmerah opazimo trend redukcije hitrosti z naraščanjem intenzitete padavin, ob zelo močnih padavinah hitrost pade za 7 – 9 %. Za ostale razrede padec ni večji kot 6 % (močne padavine). Za snežne razmere opazimo redukcije hitrosti med 29 – 39 %,

Preglednica 17: Pregled hitrosti in sprememb hitrosti v odvisnosti od vremena na R2

Srednja časovna hitrost [km/h]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
R2, Ac Brezovica - Brezovica	51,4	51,7	51,8	50,9	52,3	47,8
R2, Brezovica - Ac Brezovica	51,5	51,6	51,9	50,8	52,6	46,0
R2, Ac Brezovica - Vič	50,4	50,2	49,9	49,8	50,5	45,3
R2, Vič - Ac Brezovica	51,2	51,3	50,7	48,9	51,0	47,3
Povprečje	51,1	51,2	51,1	50,1	51,6	46,6
Standardna deviacija	0,5	0,7	1,0	1,0	1,0	1,2
Sprememba hitrosti [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
R2, Ac Brezovica - Brezovica	0	0,6	0,7	-1,0	1,8	-7,0
R2, Brezovica - Ac Brezovica	0	0,1	0,6	-1,5	2,1	-10,8
R2, Ac Brezovica - Vič	0	-0,5	-1,1	-1,2	0,2	-10,3
R2, Vič - Ac Brezovica	0	0,2	-0,9	-4,5	-0,3	-7,6
Povprečje	0	0,1	-0,2	-2,1	1,0	-9,1

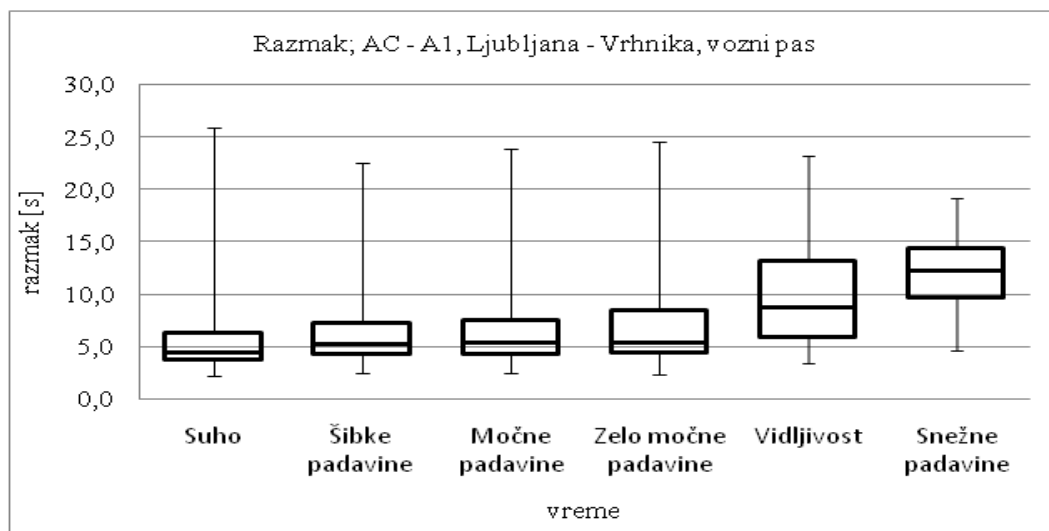
Iz preglednice 17 opazimo, da je povprečna hitrost (50 – 52 km/h) na regionalni cesti podobna predpisani hitrosti (50 km/h) na tem obravnavanem odseku pri vseh vremenskih pogojih. Opazimo le redukcijo hitrosti za zelo močne padavine (2 – 4,5 %) ter za snežne pogoje (7 – 11 %).

#### 4.1.7 Vpliv vremena na razmak med vozili

Iz slik razpršene vrednosti razmaka med vozili opazimo pričakovan trend naraščanja v odvisnosti od vremena. Na avtocestah ima ob suhem vremenu 50 % vseh vozil razmake med 3 in 5 sekundami. Z naraščanjem intenzitete deževnih padavin se pričakovano podaljšujejo razmaki med vozili. Hkrati se povečujejo tudi velikosti območja intervalov 2 in 3 kvartila, kar smo opazili tako za prehitevalni kot za vozni pas avtoceste. Vozniki se odzovejo na dežne razmere z ozirom na lastne izkušnje in prilagodijo razmake (varnostno razdaljo), kar je razvidno iz zelo ozkega intervala druge kvartile. Ob slabi vidljivosti se razmaki med vozili ravno tako povečujejo. Za specifično lokacijo števnega mesta pri Vrhniki, kjer se pogosto pojavi gosta megla zaradi bližine Ljubljanskega barja, opazimo velik skok mediane in velike razpršenosti vrednosti razmakov med vozili. S podatkov za AC odsek Ljubljana – Vrhnika lahko za snežne razmere odčitamo velikost območja intervalov srednjih dveh kvartilov med 10 in 14 sekundami, z mediano pri 12 s. Tako drastično povečanje razmaka na primorski avtocesti lahko pripišemo majhni obremenitvi prometnice (slika 34) (nočni čas, v času sneženja je manj potovanj, izločanje tovornega prometa, ...). Na zahodni ljubljanski obvoznici so razvidni krajši razmaki med vozili, saj lahko odčitamo velikost intervala srednjih dveh kvartilov med 2 in 8 sekundami z mediano pri 5 s (slika 41). Izpostaviti bi želeli dejstvo, da je varnostna razdalja 2 sekund v snežnih razmerah na avtocestah premajhna.

Tudi na R2 je viden trend naraščanja razmaka v odvisnosti od vremena. V suhem stanju je razpon območja intervala srednjih kvartilov 3 s z mediano pri 6 s. Razpon intervala srednjih kvartilov se v dežnih razmerah poveča na 4 s. Podobeno velik je razpon intervala območja srednjih kvartilov z

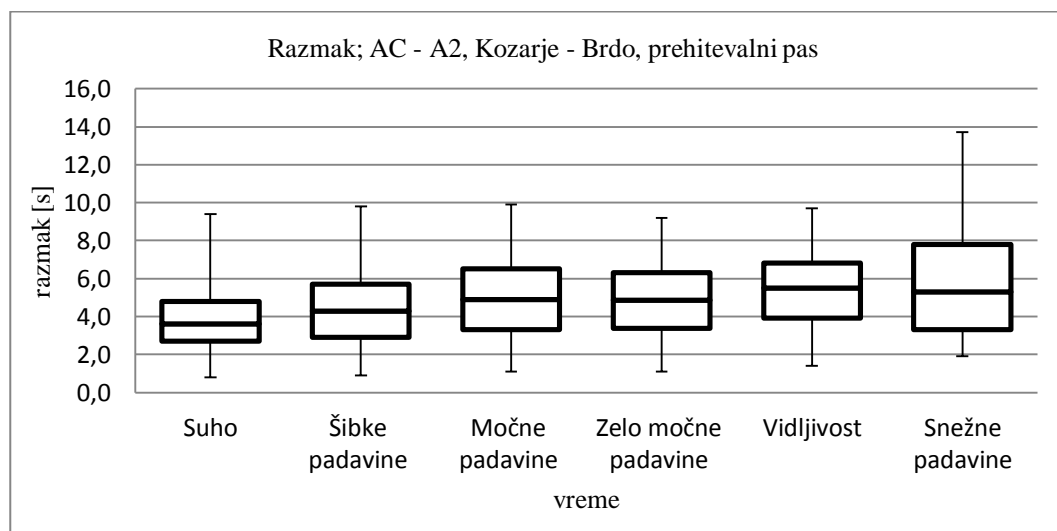
mediano pri 7,8 s pri obdobjih s slabo vidljivostjo. Največji interval 2 in 3 kvartila znaša pri snežnih razmerah 5 sekund, z mediano pri 8,2 s.



Slika 40: Razpršena vrednost razmaka v odvisnosti od vremena voznega pasu primorske avtoceste

Preglednica 18: Enostranski t Test razmaka med vozili na voznem pasu primorske avtoceste

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$3,8 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-13}$	$4,9 \times 10^{-17}$	$4,5 \times 10^{-47}$	$1,2 \times 10^{-52}$
Razmak se večja zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno

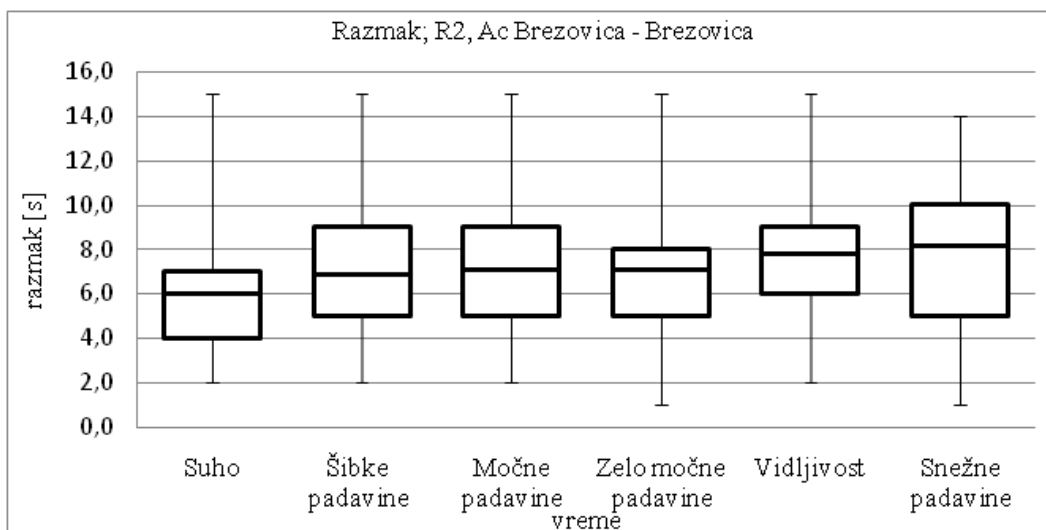


Slika 41: Razpršena vrednost razmaka v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu zahodne obvoznice



Preglednica 19: Enostranski t Test razmaka med vozili na prehitevalnem pasu avtoceste

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$1,5 \times 10^{-25}$	$3,6 \times 10^{-26}$	$1,6 \times 10^{-15}$	$7,8 \times 10^{-38}$	$1,9 \times 10^{-40}$
Razmak se večja zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno



Slika 42: Razpršena vrednost razmaka v odvisnosti od vremena na R2

Preglednica 20: Enostranski t Test razmaka med vozili na R2

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$2,2 \times 10^{-25}$	$4,5 \times 10^{-22}$	$2,1 \times 10^{-15}$	$4,6 \times 10^{-45}$	$1,8 \times 10^{-5}$
Razmak se večja zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno

Preglednica 21: Razmak med vozili in spremembe razmaka v odvisnosti od vremena na avtocestah

Povprečni razmak [s]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	3,1	4,7	4,9	5,1	4,5	6,3
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	3,8	4,3	4,5	4,5	5,0	5,4
A2, Brdo - Kozarje, PP	3,5	4,2	4,8	4,9	5,5	6,1
A2, Kozarje - Brdo, PP	3,8	4,4	4,3	4,8	5,4	6,1
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	4,1	4,8	4,9	5,1	5,7	9,9
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	4,1	4,5	5,3	5,4	6,9	11,4
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	4,5	5,2	5,5	5,3	8,0	8,9
A2, Brdo - Kozarje, VP	3,7	4,6	4,9	4,7	6,8	10,5
A2, Kozarje - Brdo, VP	3,6	4,1	4,8	4,8	6,0	10,4
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	5,9	6,6	6,9	6,9	9,9	12,0

<b>Povprečni razmak [s]</b>	<b>Suho</b>	<b>Šibke p.</b>	<b>Močne p.</b>	<b>Zelo močne p.</b>	<b>Vidljivost</b>	<b>Snežne p.</b>
Povprečje	4,0	4,7	5,1	5,1	6,4	8,7
Standardna deviacija	0,8	0,7	0,7	0,7	1,6	2,5
Povprečje PP	3,7	4,5	4,7	4,9	5,2	6,8
Povprečje VP	4,4	5,0	5,5	5,4	7,5	10,6
<b>Sprememba razmaka [%]</b>	<b>Suho</b>	<b>Šibke p.</b>	<b>Močne p.</b>	<b>Zelo močne p.</b>	<b>Vidljivost</b>	<b>Snežne p.</b>
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	0,0	52,5	60,6	64,3	44,7	106,1
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	0,0	12,5	17,1	17,5	30,6	41,2
A2, Brdo - Kozarje, PP	0,0	20,8	35,8	38,9	57,0	73,7
A2, Kozarje - Brdo, PP	0,0	14,0	12,8	24,5	40,6	58,3
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	0,0	16,4	19,9	22,1	39,6	139,3
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	0,0	10,3	29,9	32,6	68,1	177,3
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	0,0	13,8	22,6	26,6	77,3	97,1
A2, Brdo - Kozarje, VP	0,0	21,7	30,3	24,0	81,5	179,6
A2, Kozarje - Brdo, VP	0,0	14,9	32,8	32,7	67,9	190,5
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	0,0	11,9	17,3	18,9	69,4	104,9
Povprečje	0,0	18,9	27,9	30,2	57,7	116,8
Povprečje PP	0,0	23,3	29,2	33,4	42,5	83,7
Povprečje VP	0,0	14,5	26,6	26,9	72,8	149,9

Naraščanje razmaka med vozili na avtocesti v odvisnosti od vremenskih stanj sovпада s predvidevanji. Vidimo, da je naraščanje razmaka v dežnih razmerah očitnejše na prehitevalnem pasu. Na voznem pasu opazimo ob močnih in zelo močnih padavinah konstantno redukcijo razmaka med vozili, kar pripisujemo prisotnosti tovornih vozil (izkušeni poklicni vozniki). Hitrosti na tem pasu so že v osnovi nižje (preglednica 16). Za razred s slabo vidljivostjo in razred s snežnimi padavinami so razmaki na voznem pasu v primerjavi s prehitevalnim pasom večji. Ob sneženju znaša na Bokalcih v obeh smereh razmak na voznem pasu 10,5 s, na prehitevalnem pasu pa 6,1 s.

Preglednica 22: Razmak med vozili in spremembe razmaka v odvisnosti od vremena na R2

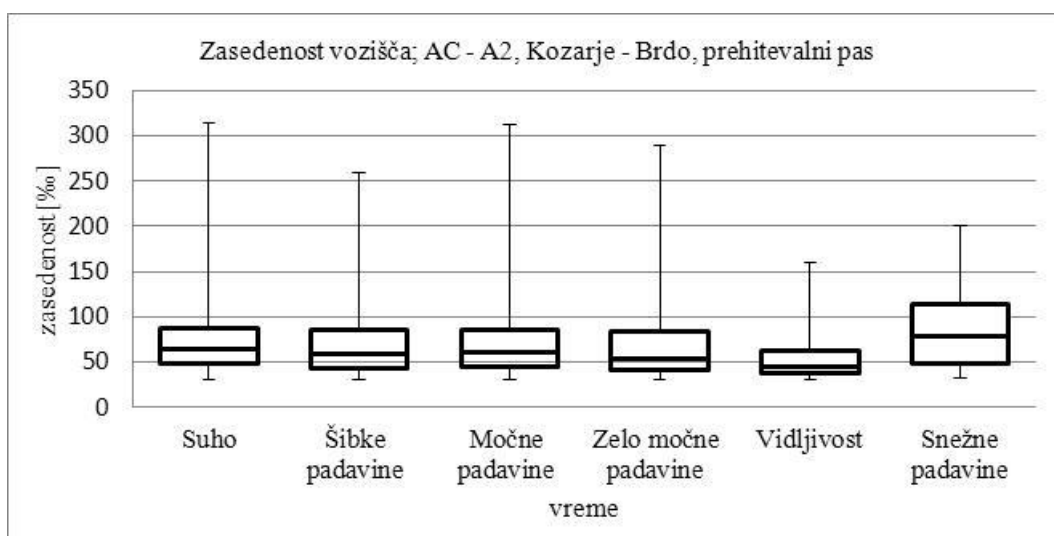
<b>Povprečni razmak [s]</b>	<b>Suho</b>	<b>Šibke p.</b>	<b>Močne p.</b>	<b>Zelo močne p.</b>	<b>Vidljivost</b>	<b>Snežne p.</b>
R2, Ac Brezovica - Brezovica	6,0	6,9	7,1	6,6	7,8	7,9
R2, Brezovica - Ac Brezovica	5,6	6,5	6,7	7,1	8,0	8,2
R2, Ac Brezovica - Vič	9,4	10,0	10,8	10,7	11,5	11,2
R2, Vič - Ac Brezovica	9,3	10,1	10,7	10,5	11,0	10,0
Povprečje	7,6	8,4	8,8	8,7	9,6	9,3
Standardna deviacija	2,1	2,0	2,2	2,2	1,9	1,6
<b>Sprememba razmaka [%]</b>	<b>Suho</b>	<b>Šibke p.</b>	<b>Močne p.</b>	<b>Zelo močne p.</b>	<b>Vidljivost</b>	<b>Snežne p.</b>
R2, Ac Brezovica - Brezovica	0	14,7	19,0	10,1	29,3	31,5
R2, Brezovica - Ac Brezovica	0	16,6	19,8	28,1	44,7	46,8
R2, Ac Brezovica - Vič	0	6,5	15,2	13,5	21,7	18,7
R2, Vič - Ac Brezovica	0	8,7	14,9	12,5	18,2	7,4
Povprečje	0	11,6	17,2	16,1	28,5	26,1

Na regionalni cesti je povprečen razmak med vozili v suhih razmerah 7,6 s. Zaznamo podoben trend naraščanja razmaka z nevšečnostjo vremena kot na avtocesti. Opazimo razliko med velikostjo razmaka števec na Brezovici in Gorjancu. Kar je posledica različnih prometnih obremenjenosti obravnavanih

delov cestnega odseka (preglednica 12). Med močnimi in zelo močnimi padavinami ni velike razlike, celo malenkost večji je razmak za razred z močnimi padavinami, kar je odraz prilagoditve voznikov na dolgotrajna padavinska obdobja.

#### 4.1.8 Vpliv vremena na zasedenost vozišča

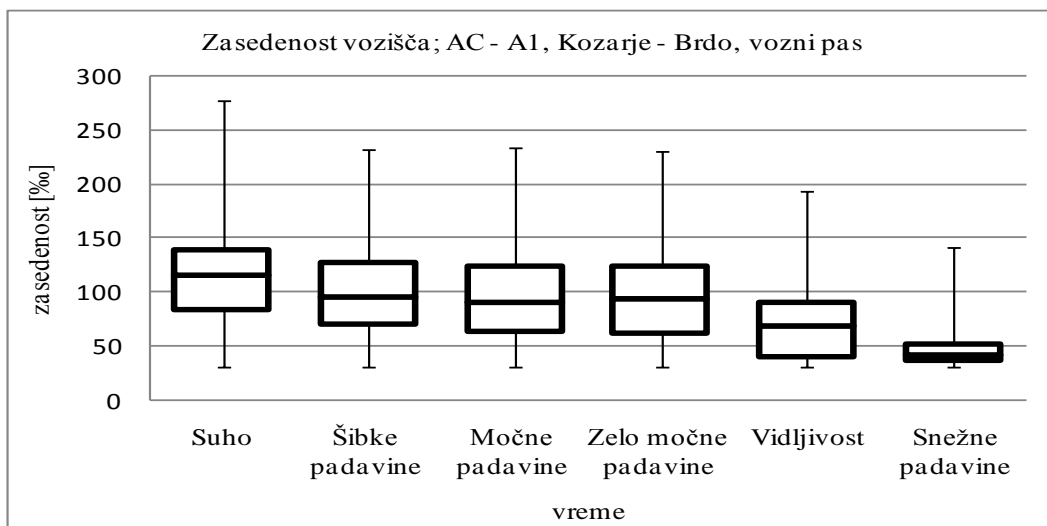
Iz slik 43 in 44 vidimo, da na avtocestah zasedenost vozišča pada s stopnjevanjem neugodnih vremenskih razmer. Velikosti območja intervala srednjih kvartilov zasedenosti posameznih pasov avtoceste na Bokalcih so skoraj konstantne ne glede na vreme. Izjema je le razpon intervala srednjih kvartilov v snežnih razmerah na obeh pasovih, saj opazimo večjo razpršenost (širino) zasedenosti vozišča na prehitevalnem pasu in same višje vrednosti mediane glede na idealno vremensko stanje. Obratno velja za vozni pas omenjenega odseka, kar smo potrdili tudi z enostranskim variacijskim t testom. Za regionalno cesto na Brezovici vidimo pričakovan padeč zasedenosti vozišča z naraščanjem neugodnih vremenskih razmer. Velikost območja intervalov srednjih kvartilov zasedenosti je v ostalih vremenskih razredih podobna in za cca 10 % manjša od intervala pri idealnih vremenskih pogojih. Izjema je še razred slabe vidljivosti, kjer je interval srednjih kvartilov manjši za cca 25 %. Tako nizka zasedenost za obdobja slabe vidljivosti je posledica tako same vidljivosti kot tudi zmanjšanega pretoka (slika 36).



Slika 43: Razpršena vrednost zasedenosti vozišča v odvisnosti od vremena prehitevalnega pasu zahodne obvoznice

Preglednica 23: Enostranski t Test zasedenosti vozišča na prehitevalnem pasu avtoceste

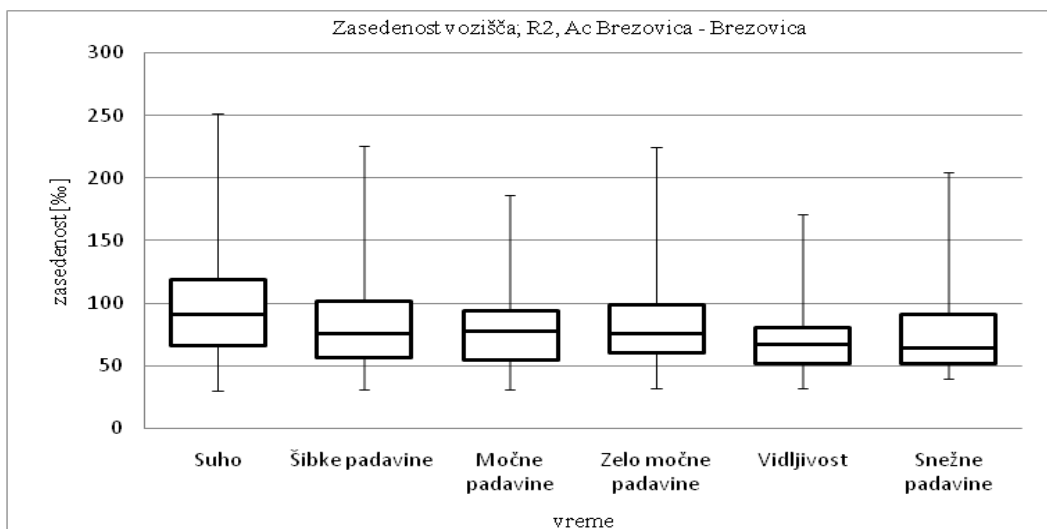
	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$1,5 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-12}$	$2,4 \times 10^{-1}$
Zasedenost se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	ni potrjeno



Slika 44: Razpršena vrednost zasedenosti vozišča v odvisnosti od vremena voznega pasu zahodne obvoznice

Preglednica 24: Enostranski t Test zasedenosti vozišča na voznem pasu avtoceste

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost t	Snežne padavine
T test	0,5	$6,1 \times 10^{-12}$	$1,3 \times 10^{-15}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$9,2 \times 10^{-57}$	$6,3 \times 10^{-19}$
Zasedenost se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrditev	potrditev	potrditev	potrditev	potrditev



Slika 45: Razpršena vrednost zasedenosti vozišča v odvisnosti od vremena na R2

Preglednica 25: Enostranski t Test zasedenosti vozišča na R2

	Suho	Šibke padavine	Močne padavine	Zelo močne padavine	Vidljivost	Snežne padavine
t Test	0,5	$9,7 \times 10^{-170}$	$4,5 \times 10^{-130}$	$6,8 \times 10^{-88}$	$1,2 \times 10^{-104}$	$5,2 \times 10^{-62}$
Zasedenost se manjša zaradi vremena $\alpha < 0,05$		potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno	potrjeno

Preglednica 26: Zasedenosti merilnika in spremembe zasedenosti v odvisnosti od vremena na AC

Zasedenost [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	79,3	59,3	55,5	55,1	64,4	67,5
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	67,4	66,0	65,5	63,9	51,3	84,4
A2, Brdo - Kozarje, PP	78,9	71,7	69,4	65,2	49,2	77,0
A2, Kozarje - Brdo, PP	72,5	72,5	74,8	70,7	53,9	84,6
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	61,5	54,1	52,3	53,6	43,6	41,5
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	99,3	86,9	78,5	79,6	57,0	46,0
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	92,1	82,8	81,6	81,3	56,8	68,5
A2, Brdo - Kozarje, VP	102,2	87,6	86,5	88,3	58,6	52,3
A2, Kozarje - Brdo, VP	110,8	98,9	95,4	96,8	69,5	50,8
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	77,6	68,3	67,1	66,5	48,7	46,1
Povprečje	84,2	74,8	72,7	72,1	55,3	61,9
Standardna deviacija	16,2	14,0	13,4	14,1	7,7	16,5
Povprečje PP	71,9	64,7	63,5	61,7	52,5	71,0
Povprečje VP	96,4	84,9	81,8	82,5	58,1	52,7
Sprememba zasedenosti [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., PP	0,0	-25,3	-30,0	-30,5	-18,9	-14,9
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., PP	0,0	-2,1	-2,8	-5,2	-23,9	25,4
A2, Brdo - Kozarje, PP	0,0	-9,2	-12,1	-17,4	-37,6	-2,5
A2, Kozarje - Brdo, PP	0,0	0,0	3,2	-2,5	-25,7	16,6
A1, Ljubljana - Vrhnika, PP	0,0	-12,1	-14,9	-12,8	-29,2	-32,5
A1, Barjanska c. - Peruzzijska c., VP	0,0	-12,5	-21,0	-19,8	-42,6	-53,7
A1, Peruzzijska c. - Barjanska c., VP	0,0	-10,1	-11,4	-11,7	-38,3	-25,6
A2, Brdo - Kozarje, VP	0,0	-14,3	-15,4	-13,7	-42,7	-48,9
A2, Kozarje - Brdo, VP	0,0	-10,7	-13,9	-12,6	-37,3	-54,1
A1, Ljubljana - Vrhnika, VP	0,0	-12,1	-13,5	-14,4	-37,2	-40,6
Povprečje	0	-10,8	-13,2	-14,1	-33,3	-23,1
Povprečje PP	0	-9,7	-11,3	-13,7	-27,0	-1,6
Povprečje VP	0	-11,9	-15,0	-14,4	-39,6	-44,6

Kot smo predvidevali se zasedenost vozišča manjša z vremenskimi nevšečnostmi, ker se zmanjšujejo hitrosti in posledično tudi pretoki. To lahko trdimo za vsa vremenska stanja in vse kategorije cest. Zasedenost na vozniških pasovih na avtocestah je višja kot na prehodevalnih pasovih, ker imamo na vozniških pasovih nižje hitrosti. Zato je znančni detektor dalj časa aktiviran. Pri snežnih pogojih je na nekaterih števcih avtocestnega omrežja na prehodevalnih pasovih opazno povečanje zasedenosti v primerjavi s suhim vremenom. Te anomalije so posledica nastanka zasičenega prometnega toka (zastojev).

S preglednice 26 opazimo, da ugotovitve, ki se nanašajo na sliki 43 in 44 veljajo tudi za ostale vozne in prehitevalne pasove na ljubljanskem avtocestnem obroču. Izjema je števno mesto na Vrhniki, kjer je trend padanja zasedenosti od vremena na prehitevalnem pasu podoben voznemu pasu. Domnevamo, da je vzrok pojava povečanja zasedenosti vozišča na prehitevalnih pasovih v času snežnih razmer tako sama velika prometna obremenitev na ljubljanskem obroču (sliki 32 in 33, preglednica 11), kot tudi izločitev tovornih vozil iz prometa ali preusmeritev deleža osebnih vozil iz voznega na prehitevalni pas. Opazimo različno velikost redukcije na voznih in prehitevalnih pasovih zasedenosti za vsa vremenska stanja. Na voznih pasovih je redukcija višja kot na prehitevalnih pasovih.

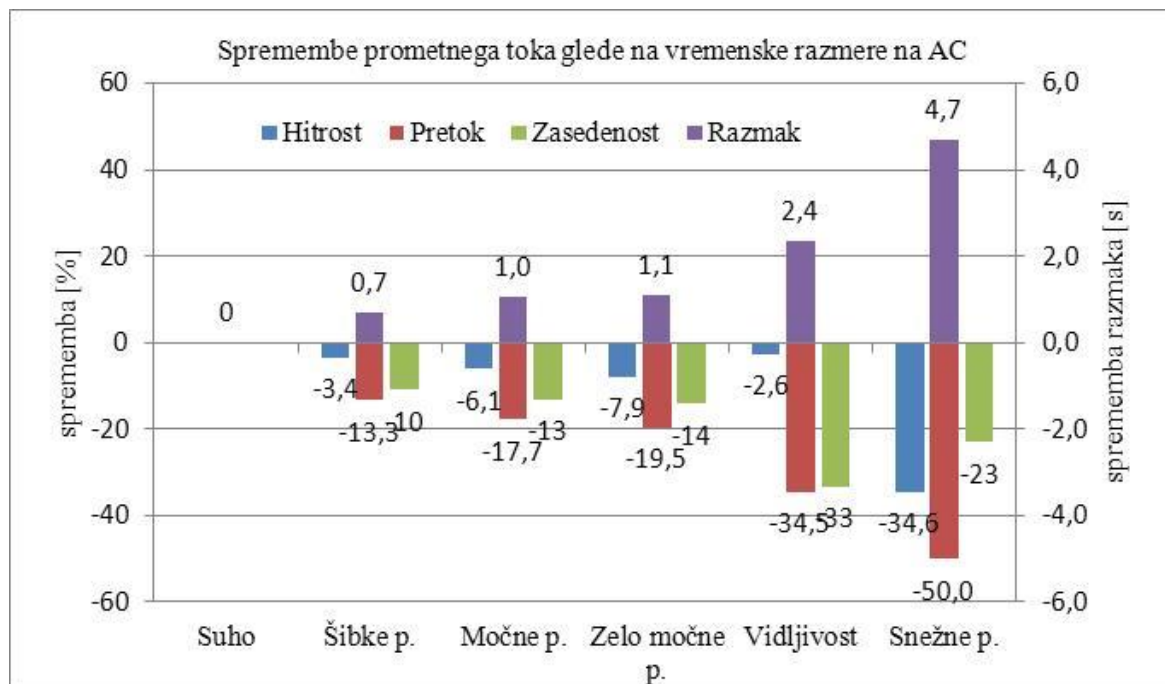
Preglednica 27: Zasedenosti merilnika in spremembe zasedenosti v odvisnosti od vremena na R2

Zasedenost [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
R2, Ac Brezovica - Brezovica	95,9	82,9	77,2	88,7	68,9	86,1
R2, Brezovica - Ac Brezovica	100,5	88,3	84,8	87,0	69,2	87,3
R2, Ac Brezovica - Vič	62,0	60,1	57,6	59,2	47,7	57,1
R2, Vič - Ac Brezovica	79,4	55,3	46,7	49,2	48,0	52,3
Povprečje	84,5	71,7	66,5	71,0	58,4	72,1
Standardna deviacija	17,5	16,4	17,5	19,8	12,3	17,4
Sprememba zasedenosti [%]	Suho	Šibke p.	Močne p.	Zelo močne p.	Vidljivost	Snežne p.
R2, Ac Brezovica - Brezovica	0	-13,6	-19,5	-7,6	-28,1	-10,3
R2, Brezovica - Ac Brezovica	0	-12,1	-15,7	-13,4	-31,2	-13,1
R2, Ac Brezovica - Vič	0	-3,0	-7,1	-4,5	-23,1	-7,8
R2, Vič - Ac Brezovica	0	-30,3	-41,2	-38,0	-39,6	-34,1
Povprečje	0	-14,8	-20,9	-15,9	-30,5	-16,3

Zasedenost regionalne ceste pri števnem mestu Gorjanc je v suhem vremenu nižja kot na Brezovici. To potrjuje višja prometna obremenitev regionalne ceste na Brezovici (preglednica 12). Visoka redukcija zasedenosti vozišča pri Gorjancu v smeri Vič – AC Brezovica je verjetno posledica vpliva semaforiziranega križišča na Tržaški cesti z avtocestnim uvozom Brezovica. Podobni vzroki so tudi za nizko redukcijo zasedenosti istega števnege mesta v obratni smeri.

#### 4.1.9 Spremembe obravnavanih prometnih spremenljivk pri različnih vremenskih stanjih

Na spodnji sliki 46 opazimo pričakovano tendenco sprememb prometnega toka glede na vremenske pogoje na avtocesti kot jih je opisal Billot s sod. (2009) in so prikazane v preglednici 1. Redukcija hitrosti prometnega toka ob dežnih in snežnih padavinah sovpada z raziskavami, ki so jih opravili Brilon s sod. (1996), Argaval s sod. (2005), Hranac s sod. (2006), Hablas (2007), Kompan (2010) ter Tsapakis s sod. (2013). Pri opazovanju hitrosti smo zaznali 6 % zmanjšanje vrednosti za močne padavine, 8 % za zelo močne padavine, ter 29 % za snežne padavine. Podobno redukcijo hitrosti zaradi slabe vidljivosti kot mi (2 – 3,2 %) je dobil Hablas (2007).



Slika 46: Spremembe prometnega toka glede na vremenske razmere na AC

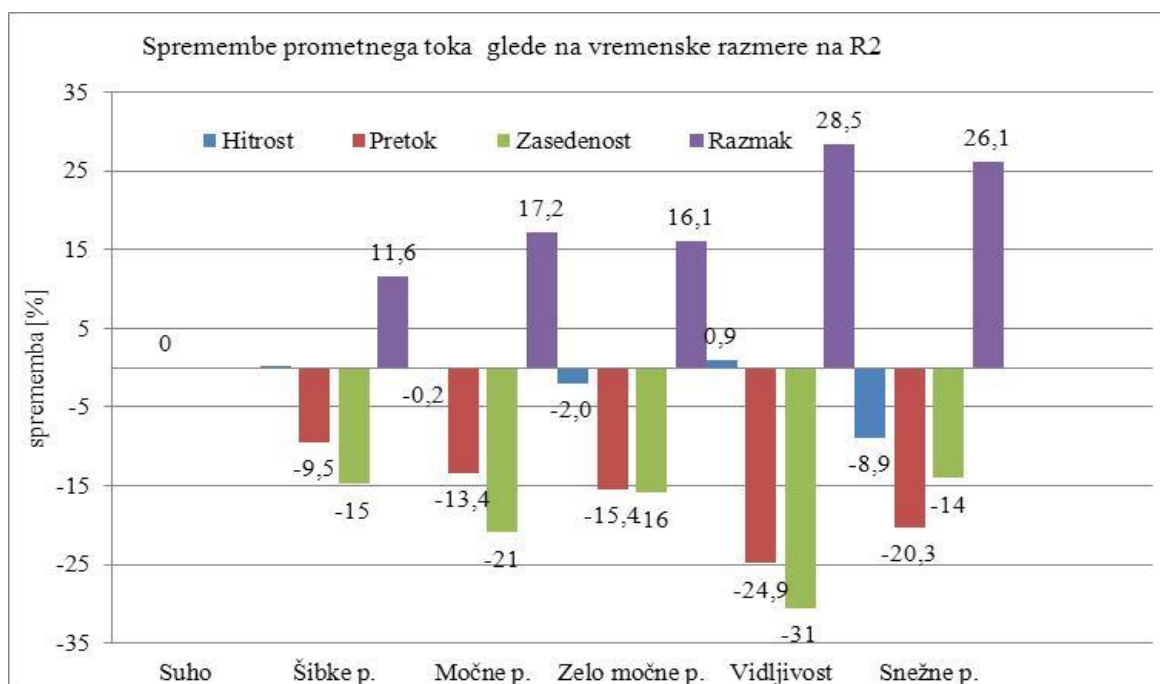
Za dežne padavine smo dobili redukcijo pretoka (prepustnosti) med 13 % in 20 %. Podobne rezultate so dobili Hranac s sod. (2006), Argaval s sod. (2005) in Billot s sod. (2009). Pretok se zaradi snežnih padavin na avtocestah zniža med 42 in 57 %.

Zasedenost vozišča na avtocestah pada z neugodnimi vremenskimi pogoji. Opazimo trend večjega padca zasedenosti vozišča ob slabi vidljivosti (33 %) in v snežnih razmerah (23 %) glede na idealne vremenske pogoje.

Edina obravnavana spremenljivka na AC, ki narašča zaradi vremenskega vpliva, je razmak med vozili. V dežnih razmerah se razmak poveča med 19 % in 29 %. Ob slabi vidljivosti naraste za 57 %. Ob sneženju se razmak med vozili poveča za več kot 2-krat (8,7 s) glede na suho vremensko stanje (4 s). Zaključimo lahko, da vozniki prilagodijo varnostno razdaljo (razmak do predhodno vozečega vozila) trenutnim vremenskimi pogojem.

S spodnje slike 47 je razvidno, da se prometni tok v odvisnosti od vremena na regionalni cesti obnaša podobno kot na avtocesti. Le hitrost ob slabši vidljivosti ne sovпада s predvidevanji. Analiza je pokazala, da slaba vidljivost na hitrost prometnega toka nima redukcijskega vpliva. Pride celo do 1 % povečanja hitrosti, najverjetneje zaradi same časovne prometne obremenjenosti regionalne ceste in samega časa pojava slabe vidljivosti. Na nepričakovano visoko hitrost vpliva tudi sama nizka omejitev (predpisana 50 km/h) in za to omejeno hitrost prevelik razpon vidljivostnega razreda (0 – 250 m). Gosta megla se pojavlja ob nočnih urah, ko je regionalna cesta malo prometno obremenjena. To je razvidno iz nizkega pretoka, nizke zasedenosti vozišča in velikih razmakov med vozili. Zato vozila

merjena v nočnem delu dneva (večina meritev vidljivostnega razreda) vozijo s podobno hitrostjo kot v suhem in šibko deževnem vremenu.



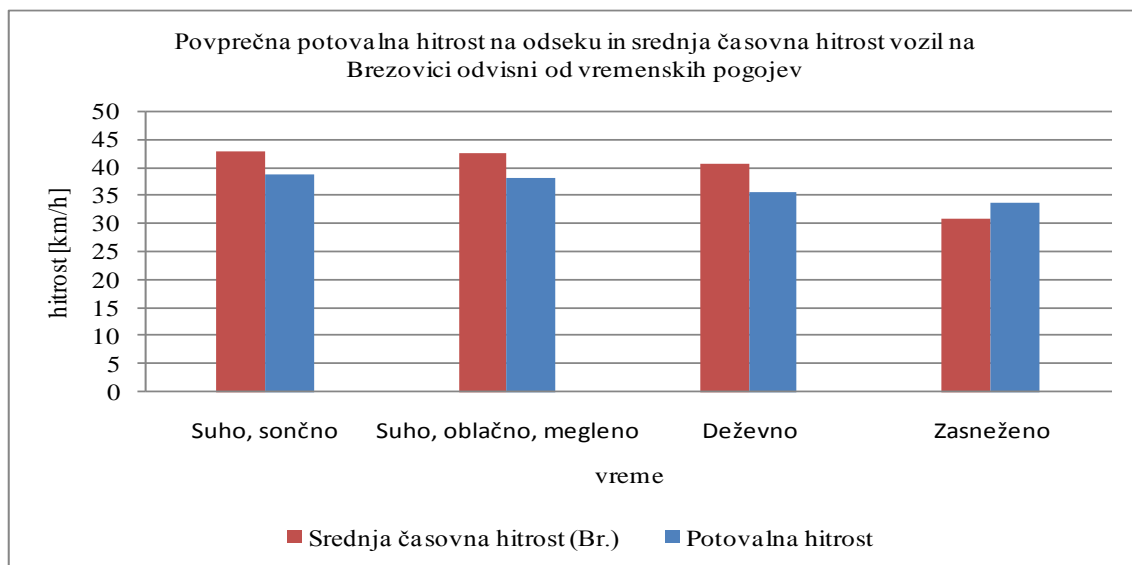
Slika 47: Spremembe prometnega toka glede na vremenske razmere na R2

S primerjavo slik 46 in 47 smo ugotovili, da za prometni tok na AC in regionalnih cestah veljajo primerljive zakonitosti za opazovana vremenska stanja.

#### 4.2 Rezultati kvalitativne in kvantitativne analize prometnega toka na odseku R2 v prometnih konicah

Kot smo že omenili smo prometni tok spremljali v odvisnosti od vremena na odseku regionalne ceste R2 tudi v času jutranjih in popoldanskih konic, torej v času zasičenega prometnega toka. V tem poglavju bomo predstavili dobljene rezultate spremenljivk zasičenega prometnega toka.

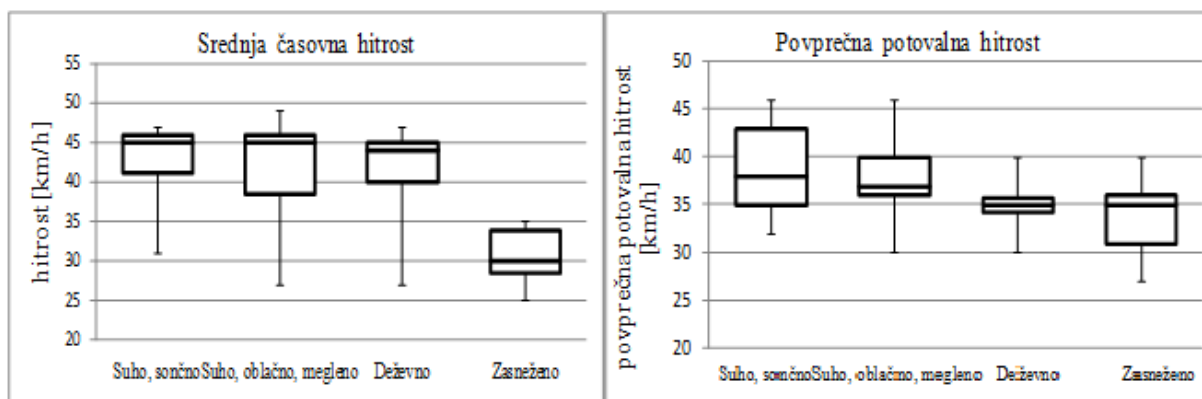




Slika 48: Povprečne potovalne hitrosti (meritev vozila) in srednje časovne hitrosti (merilnik) vozil na Brezovici ob različnih vremenskih pogojih

Na srednjo časovno hitrost (merilnik prometa) slaba vidljivost nima velikega vpliva, vseeno opazimo trend redukcije hitrosti. Hitrost zaradi dežja pade za 2,2 km/h (5,3 %). Ob snežnih padavinah in zasneženih pogojih na cestišču hitrost pade za 12,2 km/h (28,4 %). Podoben trend opazimo tudi pri povprečni potovalni hitrosti (meritev vozila), le da je v snežnih razmerah odstopanje manjše, kot pri srednji časovni hitrosti. Zaradi snega se potovalna hitrost zmanjša za 5 km/h (12,9 %).

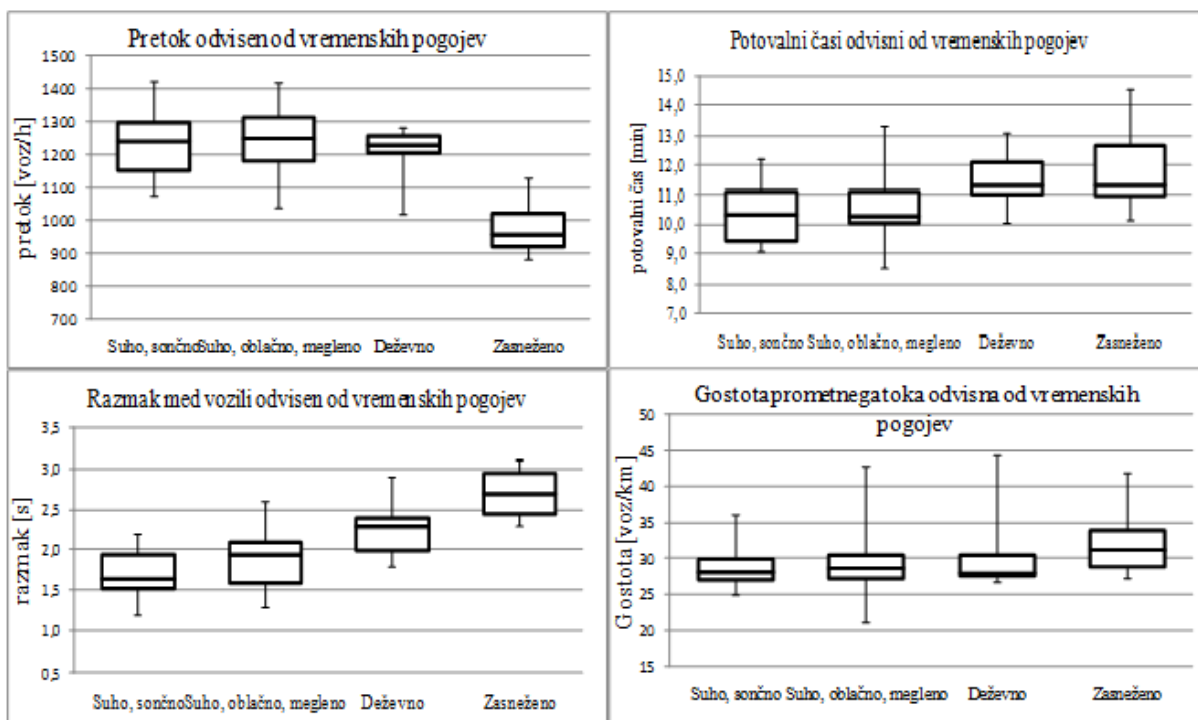
S tem potrdimo osnovno teorijo o hitrostih prometnega toka, da so srednje časovne hitrosti višje od srednjih prostorskih. V našem primeru lahko obravnavamo povprečno potovalno hitrost kot srednjo prostorsko hitrost. Razlika je 4,2 km/h za suho sončne vremenske pogoje, 4,4 km/h v suho oblačno meglenih pogojih ter 5,2 km/h za dežne vremenske pogoje v prid srednje časovne hitrosti. V snežnih pogojih to ne velja, saj je potovalna hitrost za 3 km/h višja od hitrosti izmerjene na Brezovici. Kar sovпада s teorijo o hitrosti zasičenega prometnega toka, ki pravi, da srednja časovna hitrost pade na nivo srednje prostorske hitrosti. Vzrok za ta pojav so manjše redukcije hitrosti v snežnih razmerah na odseku Tržaške ceste od Brezovice do križišča s Tivolsko cesto, kot na sami Brezovici. Omenjen del Tržaške ceste je bolje prevozen (pogosteje spluženo cestišče), kar smo opazili tudi med samim izvajanjem meritev.



Slika 49: Razpršene vrednosti srednje časovne hitrosti (merilnik) in povprečne potovalne hitrosti (meritev vozila)

Za samo (srednjo časovno) hitrost prometnega toka merjeno na Brezovici, bi lahko trdili, da se (z izjemo zasneženega stanja vremena) ne spreminja bistveno. Mediana je za obravnavane vremenske razrede razmeroma konstantna, velika večina voznikov vozi s hitrostmi nižjimi od zakonsko predpisane. Razpršenost vrednosti hitrosti za različne vremenske pogoje je večja pri (srednji časovni) hitrosti.

S slike 49 je tudi viden trend padanja povprečne potovalne hitrosti ob neželenih vremenskih pogojih v primerjavi s suhimi, sončnimi vremenskimi pogoji. Široko območje intervala drugega in tretjega kvartila ob suhem, sončnem vremenu nakazuje na povečano zgostitev prometa na odseku (pri filtraciji podatkovne baze so bile odstranjene meritve o gostem prometu z zastoji – podatek PIC-a). V sončnem vremenu se v primerjavi z oblačnim, meglenim pogosteje pojavijo zgostitve, za katere je težko podati racionalno razlago (počasna kmetijska mehanizacija, »nedeljski vozniki«, zeleni val, ...). Ob deževnih vremenskih pogojih so odstopanja v vrednostih povprečne potovalne hitrosti majhna, vozniki hitro prilagodijo hitrost neugodnim pogojem na cestišču. Velikost območja intervala srednjih kvartilov znaša 2,4 km/h, medtem ko je pri ostalih vremenskih pogojih od 4,6 do 3,5 km/h.



Slika 50: Odvisnosti med izbranimi spremenljivkami prometnega toka pri različnih vremenskih stanjih

Za 6,6 km dolg odsek smo v lepem vremenu porabili povprečno 10,4 minut. S slabšanjem vremenskih pogojev se potovalni časi povečujejo (slika 50). Podobno velja za razmake med vozili, ki se pričakovano povečujejo, posledično opazimo upad pretoka in povečevanje gostote. Največja odstopanja so vidna v snežnih razmerah.

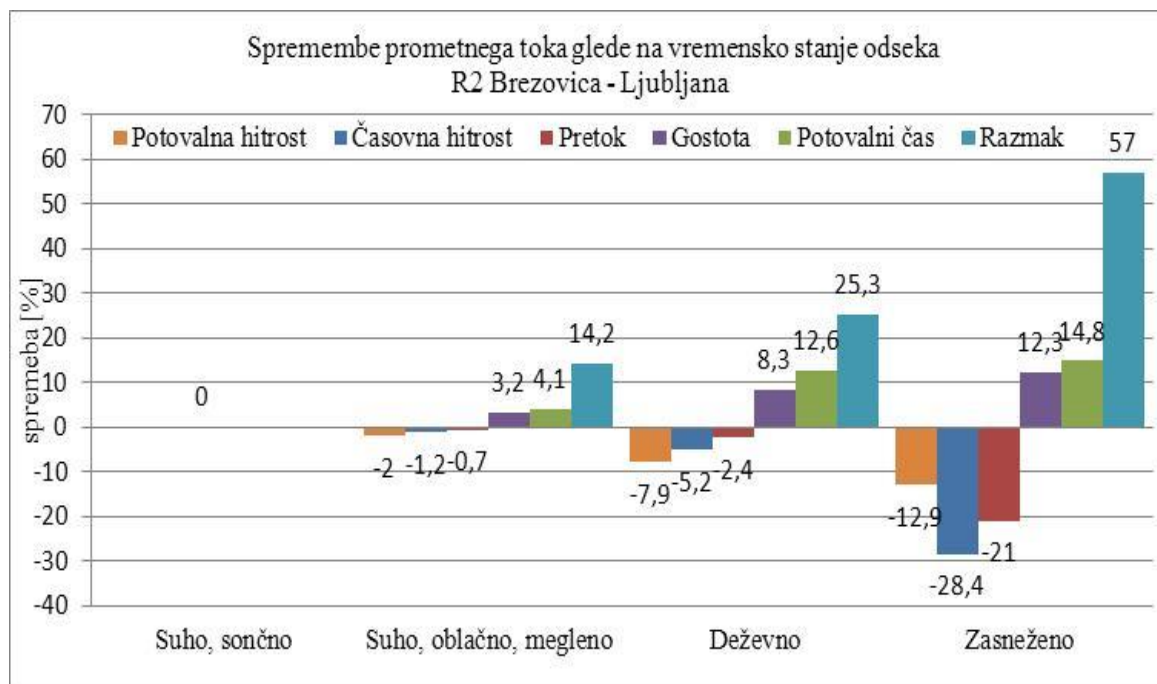
Preglednica 28: Vrednosti karakteristik prometnega toka in sprememb obravnavanega odseka R2

Karakteristike prometnega toka	Suho, sončno	Suho, oblačno, megleno	Deževno	Zasneženo
Povprečna potovalna hitrost [km/h]*	38,7	38	35,4	33,7
Srednja časovna hitrost [km/h]**	42,9	42,4	40,7	30,7
Srednja prostorska hitrost [km/h]***	41,0	40,5	38,7	30,7
Pretok [voz/h]**	1239	1242	1209	978
Gostota [voz/km]***	29	30	31	32
Potovalni čas [min]*	10,4	10,5	11,5	11,9
Razmak med vozili [s]*	1,7	1,9	2,2	2,7
Sprememba [%]	Suho, sončno	Suho, oblačno, megleno	Deževno	Zasneženo
Povprečna potovalna hitrost	0	-2	-7,9	-12,9
Srednja časovna hitrost	0	-1,2	-5,2	-28,4
Srednja prostorska hitrost	0	-1,2	-5,6	-30,5
Pretok	0	-0,7	-2,4	-21
Gostota	0	3,2	8,3	12,3
Potovalni čas	0	4,1	12,6	14,8
Razmak med vozili	0	14,2	25,3	57

\* meritev potovalnega računalnika osebnega avtomobila, \*\* meritev merilnika prometa na Brezovici,

\*\*\* izračunan podatek za srednjo prostorsko hitrost po Draku (1967)

V koničnih urah smo na R2 v snežnih razmerah opazili povečanje razmaka med vozili za 57 % (preglednica 28), kar je več kot 2 krat večja sprememba glede na 26 % redukcijo v nekoničnih urah (preglednica 22) glede na idealno vremensko stanje. Podobno razmerje v razlikah redukcije razmaka opazimo tudi za dežne pogoje, kjer je v nekoničnih urah (prostem prometnem toku) velikost redukcije 11 – 17 % ter 25,3 % v koničnih urah (zasičenem prometnem toku).



Slika 51: Spremembe karakteristike prometnega toka glede na različna vremenska stanja

Iz preglednice 28 in slike 51 je razvidno, da se prometni tok regionalne ceste v odvisnosti od različnih vremenskih stanj v času jutranje in popoldanske konice obnaša podobno kot v primeru prostega prometnega toka, kar opisuje Billot s sod. (2009) in je ponazorjeno v preglednici 1.

Potovalna in srednja časovna hitrost padata v odvisnosti od vremena. V suho oblačno meglenem razredu je vpliv minimalen (1,2 – 2 %), nekoliko se redukcija poveča ob deževju (5,2 – 7,9 %). Zelo izrazit je padec srednje časovne hitrosti (28,4 %) v snežnih razmerah, medtem ko je redukcija potovalne hitrosti nekoliko manj izrazita (12,9 %). Darcin (2011) je dobil podobne rezultate za deževno obdobje (8 %). Sabir s sod. (2010) je ugotovil manjše redukcije hitrosti v dežnih in snežnih pogojih kot mi.

Pretok (glede na referenčno vremensko izhodišče) zaradi slabe vidljivosti in dežnih padavin le malenkostno pade. Popolnoma drugače je ob snežnih pogojih, ko znaša redukcija pretoka prometnega toka 260 voz/h (21 %). Do tako drastičnega padca pretoka verjetno pride tudi zaradi zmanjšanja same prometne obremenitve, saj se vozniki v tako slabih vremenskih razmerah odločijo opraviti svoje potovanje z javnim prevozom, nekaj jih pot preloži, nekateri se odpravijo na pot prej ali pa pot odpovedo.

Gostota prometnega toka se povečuje z napredovanjem neželenih vremenskih pogojev. Vidljivost na gostoto prometnega toka nima vpliva. Ob deževju se gostota poveča za 3 % ob sneženju za 12 %.

Potovalni časi se podaljšujejo s slabšanjem vremenskih pogojev na cestišču. V suho sončnih pogojih se v povprečju za vožnjo po obravnavanem odseku ceste potrebuje 10,4 min. Potovalni časi se za 25 s (4,1 %) povečajo ob suho oblačnem in meglenem, za 78 s (12,6 %) v deževnem in za 94 s (14,8 %) v snežnem obdobju. Podobne rezultate za potovalne čase je dobil Stern s sod. (2004).

Razmak med vozili na odseku regionalne ceste se ravno tako povečuje v odvisnosti z ne idealnimi vremenskimi pogoji. V suho oblačno meglenih pogojih se razmak med vozili poveča za 14 %, v deževnih pogojih za 25 %, v snežnih pogojih za 57 %, glede na suho sončne vremenske pogoje. Razmak med vozili v suho sončnih pogojih je 1,7 s.

## 5 ZAKLJUČKI

Diplomsko nalogo smo si široko zastavili, saj smo želeli dobiti verodostojne rezultate. Podatke smo pridobili iz znančnih detektorjev (merilnikov prometa), cestno vremenske postaje in z izvajanjem meritev na terenu. Obširne baze o podatkih prometnega toka in okolja, ki so primerne za podrobne statistične obdelave in raziskave, niso javno dostopne v podrobni obliki. Za pridobitev smo se morali obrniti na pristojne službe (Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, DRSC in DARS). Zaradi težav s katerimi smo se soočali pri pridobitvi celotnih potrebnih podrobnejših podatkov, bi za v bodoče predlagali vzpostavitev sistema, ki bi omogočil dostop širše javnosti do »surovih«, t.j. statistično neobdelanih podatkov za pretekla obdobja.

Glede na rezultate naše naloge lahko trdimo:

- da so spremenljivke prometnega toka na opazovani lokaciji odvisne od različnih vremenskih stanj. Spremljali smo jih v obdobju idealnega vremena (jasno, sončno, brez padavin, z dobro vidljivostjo), v obdobju z deževnimi padavinami (šibke, močne ali zelo močne padavine), v obdobju slabe vidljivosti (vidljivost manjša od 250 m) in v obdobju snežnih padavin.
- Da se s slabšanjem vremenskih pogojev poslabšujejo karakteristike prometnega toka s katerimi opisujemo prepustnost ceste in s tem povezan nivo usluge. Hitrost, pretok, gostota prometnega toka ter zasedenost vozišča se običajno zmanjšujejo, razmak med vozili se praviloma povečuje. Ta trditev velja tako za avtoceste kot tudi za regionalne ceste.
- Da so v odvisnosti od vremenskih stanj spremembe nekaterih spremenljivk prometnega toka na avtocestah različne tako za vozni kot tudi prehitevalni pas. Določene spremenljivke se enako spreminjajo na obeh pasovih medtem ko se druge spreminjajo obratno sorazmerno (npr. v snežnih pogojih zasedenost vozišča na prehitevalnem pasu narašča medtem ko na vozni pada).

- Da so v primerjavi z idealnim vremenom v snežnih razmerah vsa odstopanja spremenljivk prometnega toka najbolj izrazita.
- Da se odvisnosti med spremenljivkami prometnega toka (hitrost, pretok in gostota) za neugodne vremenske pogoje skladajo z empirično potrjenimi grafičnimi modeli, kar velja tudi ob idealnih vremenskih pogojih.
- Da se s slabšanjem vremenskih razmer zmanjšuje kapaciteta oziroma prepustnost cest.

Za razširitev raziskovalnega področja bi bilo smiselno še naprej spremljati vpliv vremena na strukturo prometa. Ker so naši podatki zajemali ravninske odseke, bi bilo zanimivo pogledati vpliv vremena na cestah z večjim vzdolžnim naklonom. Zelo primerni za raziskavo bi bili odseki s pogostimi prometnimi nevšečnostmi (Vrhniški klanec, Višnjegorski klanec, Rebernice, ...).

Z obširnejšimi raziskavami vremena in posledičnega obnašanja prometnega toka ter z napovedmi neugodnih vremenskih stanj (izredni pojavi goste megle, nepričakovana močna neurja, nevihte s točo in ujme z močnimi sunki vetra, ...), bi lahko v bodoče vnaprej opozarjali udeležence ter zagotovili minimalni nivo rednega vzdrževanja in tako dosegli večjo varnost v prometu. To bi dosegli z nadgradnjo sistema »pametne ceste« po celotnem slovenskem avtocestnem omrežju ter z njegovo razširitvijo še na regionalne ceste.

## VIRI

Argarwal, M., Maze, H., T., Souleyrette, R. 2005. Impacts of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity. Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa: 14 str.

<http://www.ctre.iastate.edu/pubs/midcon2005/AgarwalWeather.pdf> (Pridobljeno: 5. 10. 2013.)

Bajc, U. 2010. Pogreški pri meritvah padavin in izračun popravka, Diplomaska naloga. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. (Samozaložba U. Bajc): 165 str.

Billot, R. 2011. Weather Impacts on Traffic: From Data to Models. PowerPoint presentation. COST Final Seminar, Helsinki, May 22, 2011: 63 str.

[http://www.sirwec2012.fi/Cost/S4\\_2A\\_Billot.pdf](http://www.sirwec2012.fi/Cost/S4_2A_Billot.pdf) (Pridobljeno: 5. 10. 2013.)

Boschung, 2013.

<http://www.boschung.com/> (Pridobljeno 15. 8. 2013.)

Brilon, W., Ponzlet, M. 1996. Variability of Speed Flow Relationships on German Autobahns. Transportation Research Record, 1555: 91-98.

Cegnar, T. 2005. Padavine, Vodno bogastvo. Publikacije in poročila, ARSO: 22 – 24.

[http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno\\_bogastvo\\_1padavine.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_1padavine.pdf)  
(Pridobljeno 28. 12. 2012.)

CVIS – Cestno vremensko informacijski sistem. 2013. Statistično neobdelani podatki vremenske postaje Kozarje. Osebna komunikacija. (7. 6. 2013.)

Darcin, J., Sisiopiku, V. P., Skabardonis, A. 2011. Impact of Weather on Traffic Flow Characteristic of Urban Freeways in Istanbul. V: 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 2011: 11 str.

[http://www.academia.edu/1759989/Impacts\\_of\\_Weather\\_on\\_Traffic\\_Flow\\_Characteristics\\_of\\_Urban\\_Freeways\\_in\\_Istanbul](http://www.academia.edu/1759989/Impacts_of_Weather_on_Traffic_Flow_Characteristics_of_Urban_Freeways_in_Istanbul) (Pridobljeno 30. 9. 2013.)

Drake, J. S., Schofer, J. L., May, A. D. 1967. Typical Relationship Between Time Mean and Space Mean Speed. V: Highway Capacital Manual 2000, Transportation Research Board, National Reaearch Council: str. 86.

[http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway\\_capacital\\_manual.pdf](http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf) (Pridobljeno 12. 8. 2013.)

DRSC – Sistem za upravljanje s podatki na državnih cestah. 2013. Statistično neobdelani prometni podatki za R2 in AC. Osebna komunikacija. (17. 6. 2013.)

Google Maps. 2013.

<https://maps.google.si/> (Pridobljeno 12. 10. 2013.)

Hablas, H. 2007. A Study of Inclement Weather Impacts on Freeway Free-Flow Speed., Master Thesis. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, Virginia. Published by H. Hablas: str. 71 -85.

Highway Capacity Manual. 2000. Transportation Research Board. Nacional Research Concil. str: 22-12, 23-5.

Hranac, R., Sterzin, E., Krechmer, D., Rakha, H., Farzaneh, M. 2006. Emperial Studies on Traffic Flow in Inclement Weather. The Federal Highway Administration.U.S.DOT. FHWA-HOP-07-073: ES-6 str.



Ibrahim, A., T., Hall, F., L. 1994. Effect of adverse weather conditions on speed – flow occupancy relationships. Transportation Research Record 1457: 184-191.

Kyte, M., Khatib, Z., Shanon, P., Kitchener, F. 2001. Effect of Weather on Free Flow Speed. Transportation Research Record 1776: 61 – 68.

Jamal, H. 2013. Highway Capacity Definition, Types & Factors Affecting Highway Capacity. Highway & Transportation.

<http://www.enggpedia.com/civil-engineering-encyclopedia/dictionary/highway-a-transportation/1646-highway-capacity-definition-types-a-factors-affecting-highway-capacity> (Pridobljeno 16. 9. 2013.)

Kastelic, T., Maher T. 2010. Dinamična koordinacija križišč, Skripta: str. 15 – 60.

Kompan, R. 2010. Vpliv hitrosti vozil na prometno varnost pri različni intenziteti dežnih padavin. Diplomsko naloga. Portorož, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet (samozaložba R. Kompan): str. 75 – 81.

Lep, M., Jazbec, S. 2012. Informacijski sistemi v prometu – Tehnologije, Skripta: str. 5 – 10, 23 – 35.

Ljubljansko vozlišče. 2013. Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji.

[http://www.dars.si/Dokumenti/O\\_avtocestah/Obstojece\\_AC\\_in\\_HC/Ljubljansko\\_vozlisce\\_172.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Obstojece_AC_in_HC/Ljubljansko_vozlisce_172.aspx) (Pridobljeno 18. 12. 2013.)

Maher, T., 2007. Osnove teorije prometnega toka in kapaciteta prometnih objektov, Skripta: str. 32 – 65.

Markošek, J. 2005. Meteorologija in promet.

[http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Cestna\\_meteorologija.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Cestna_meteorologija.pdf) (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

Mikrobit d. o. o. 2008. Sistemi in naprave za štetje in klasifikacijo vozil. PowerPoint predstavitev na Univerzi v Mariboru. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 26 str.

Mikrobit online. 2019.

<http://www.mikrobit.si/> (Pridobljeno 21. 3. 2013.)

Podnebje v Ljubljani, 2013.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Ljubljana#Podnebje> (Pridobljeno 13. 3. 2013.)

Prometne obremenitve 2012. 2013. Letopis 2012. Direkcija Republike Slovenije za ceste, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Republika Slovenija: str. 1 in 10.

[http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Promet/Promet2013/Prometne\\_obremenitve\\_2012.pdf](http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Promet/Promet2013/Prometne_obremenitve_2012.pdf) (Pridobljeno 22. 10. 2013.)

Prometno informacijski center za državne ceste. 2012.

<http://www.promet.si/portal/sl/razmere.aspx> (21. 12. 2012.)

Razlaga posameznih stanj prometa. 2013. Prometno informacijski center. Družba za avtoceste v republiki Sloveniji.

<http://www.promet.si/portal/sl/razlaga-posameznih-stanj.aspx> ( Pridobljeno 20. 3. 2012.)

Rijavec, R. 2013. Cestno vremenski informacijski sistemi, Študijsko gradivo za Promet in prometne naprave. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 5 – 15.

Road weather management program. 2013. Interactive Environmental Sensor Station. Federal Highway Administration. U. S. Department of Transportation.

[http://ops.fhwa.dot.gov/weather/mitigating\\_impacts/interactive\\_ess.htm#ss](http://ops.fhwa.dot.gov/weather/mitigating_impacts/interactive_ess.htm#ss) (Pridobljeno: 22. 9. 2013.)

Sabir, Muhamad, Van Ommeren, J., Koetse, M., Rietveld, M. 2010. Adverse Weather and Commuting Speed. Networks and Spatial Economics. 11, 701-712: 2-10.

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11067-010-9130-y> (Pridobljeno 5. 10. 2013.)

Smernice za sistem nadzora in vodenja prometa na avtocestah v Republiki Sloveniji. 2003. Celje, Cestno prometni institut d. o. o. Dars d. d.: str. 35 – 38.

Smith, B. L., Byrne, K. G., Copperman, S. M., Hennessy, S. M., Goodall, N. J. 2004. An investigation into the Impact of Rainfall on Freeway Traffic Flow. Transportation Research Board 1777: 85 – 86.

Stern, A. D., Shah, V., Goodwin, L., Pisano, P. 2004. Analysis of weather impacts on traffic flow in metropolitan Washington D.C. Mitretek Systems, Inc., Falls Church. Federal Highway Administration, Washington D.C.: 20 str.

[http://www.ops.fhwa.dot.gov/weather/best\\_practices/AMS2003\\_TrafficFlow.pdf](http://www.ops.fhwa.dot.gov/weather/best_practices/AMS2003_TrafficFlow.pdf) (Pridobljeno 30. 9. 2013.)

Tsapakis, I., Cheng, T., Bolbol, A. 2013. Impact of weather conditions on macroscopic urban travel time. Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, University College London, United Kingdom.: 8 str.

<http://discovery.ucl.ac.uk/1380395/2/1380395.pdf> (Pridobljeno 1. 10. 2013.)

Van Aerde, M., Rakha, H. 1995. Multivariate Calibration of Single Regime Speed-Flow-Density Relationships. 75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory: Greenshields Symposium, July 8-10, 2008, Massachusetts. Transportation Research Circular.:str. 203-205.

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec149.pdf> (Pridobljeno 29. 10. 2013.)

Vremenske postaje na slovenskih cestah. 2010. Omega consult.

<http://www.omegaconsult.si/index.php?id=static&nav1=3&nav2=15> (Pridobljeno 5. 7. 2013.)

Weng, J., Liu, L., Rong, J., 2013. Impacts of Snowy Weather Conditions on Express ways Flow Characteristics. Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Tehnology: 6 str.

<http://www.hindawi.com/journals/ddns/2013/791743/ref/> (Pridobljeno: 30. 9. 2013.)