

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:

Kokot, D., 2016. Vpliv prečnega nagiba na torni sposobnost vozne površine. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M.): 86 str.

Datum arhiviranja: 06-10-2016

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:

Kokot, D., 2016. Vpliv prečnega nagiba na torni sposobnost vozne površine. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M.): 86 pp.

Archiving Date: 06-10-2016

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

PODIPLOMSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
PROMETNA SMER

Kandidat:

DARKO KOKOT

**VPLIV PREČNEGA NAGIBA NA TORNO SPOSOBNOST
VOZNE POVRŠINE**

Magistrsko delo št.: 301

**INFLUENCE OF CROSSFALL ON ROAD PAVEMENT
SURFACE SKID RESISTANCE**

Graduation – Master Thesis No.: 301

Mentor:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Član komisije:

doc. dr. Tomaž Maher

doc. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 28. september 2016

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Darko Kokot, vpisna številka 26005811, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom:

VPLIV PREČNEGA NAGIBA NA TORNO SPOSOBNOST VOZNE POVRŠINE

IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, 28.9.2016

Darko Kokot

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.8(043.3)
Avtor:	Darko Kokot, univ. dipl. inž. grad.
Mentor:	izr. prof. dr. Marijan Žura
Somentor:	/
Naslov:	Vpliv prečnega nagiba na torno sposobnost vozne površine
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	86 str., 30 pregl., 80 sl., 8 en., 10 pril.
Ključne besede:	lastnosti voznih površin, torna sposobnost, prečni nagib, vzdolžni nagib, radiji ukrivljenosti, starost voznih površin, korelacija

Izvleček

Prometno varnost lahko zagotavljamo le ob celovitem razumevanju sistema voznik - vozilo - cesta z okoljem. Nesreče so lahko posledica voznikovih dejanj, napak ali težav z vozili, ali zaradi voznega okolja. Svoj del k prometni varnosti vsekakor prispeva tudi vozna površina, po kateri se premikajo vozila. Pri tem so posebej pomembne torne lastnosti, s čimer opisujemo torno sposobnost ter grobo hrapavost vozišč oz. njihovih voznih površin.

V magistrski nalogi sem določal vpliv prečnega in vzdolžnega nagiba na izmerjeno torno sposobnost. Ta vpliv je lahko velik in precej vpliva na izračun končnih značilnih vrednosti koeficientov bočnega trenja - pogojne, mejne in prevzemne vrednosti, ki so uporabne za presojo ustreznosti voznih površin na cestah v Sloveniji.

Za analize sem uporabil rezultate meritev tornih lastnosti, ki smo jih na avtocestah v letu 2008 izvedli z napravo SCRIMTEX; rezultate meritev sem primerjal z geometrijskimi podatki avtocest, s starostjo vgrajenih asfaltnih zmesi, in s prometnimi obremenitvami obravnavanih odsekov.

Preveril sem večje število različnih kombinacij vplivov na torno sposobnost. Med njimi sem ugotovil malo takih, ki nakazujejo šibko povezanost torna sposobnost/vplivni parameter, in zelo malo takih, ki nakazujejo zmerno povezanost. Velika večina povezanosti ne kaže. To pa zaenkrat še ne predstavlja dovolj močne podlage za spremembo oziroma dopolnitev zgoraj navedenih značilnih vrednosti koeficientov bočnega trenja SR.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.8(043.3)
Author: Darko Kokot, univ. dipl. inž. grad.
Supervisor: Assoc. Prof. Marijan Žura, Ph.D.
Cosupervisor: /
Title: Influence of crossfall on road pavement surface skid resistance
Document type: M.Sc. Thesis
Scope and insertions: 86 p., 30 tab., 80 fig., 8 eq., 10 ann.
Keywords: pavement surface characteristics, skid resistance, crossfall, slope, radii of curvature, pavement age, correlation

Abstract

Traffic safety can be ensured only with a comprehensive understanding of the system driver - vehicle - road environment. Accidents on roads happen due to the driver's actions, errors and problems with the vehicles or happen on account of adverse events in the driving environment. A part of the road safety can certainly be attributed to the pavement surface and its own performance. Particularly important contributing properties are skid resistance and macrotexture.

The aim of the work for this thesis was to determine the influence of crossfall and slope on the results of skid resistance measurements. This impact can be notable and may significantly affect the calculation of the characteristic skid resistance values – the limit, minimal and acceptance values - which are used in the assesement of pavement performance of roads in Slovenia.

The results of the skid resistance measurements on motorways in 2008, performed with the SCRIMTEX device, served as a basis of the work. These results were compared with the pavement geometric data; with age of asphalt mixtures, built-in the pavement surface; and with traffic load of concerned road sections.

A high number of different combinations of influence on skid resistance for the motorway' pavements were examined. Among them some indicate a weak correlation between skid resistance/influential parameter, and only few indicate a moderate correlation. For vast majority the relationship was found to be insignificant. As such, the results don't represent a momentum strong enough to change or adapt the above-mentioned skid resistance characteristic values.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Marijanu Žuri.

Prisrčna zahvala gre Mojci, Neži in Erazmu za vneto usmerjanje in razumevanje, ter sodelavcem Bojanu, Karmen in Mojci za spodbudo.

Zahvala gre tudi mojemu delodajalcu ZAG – Zavodu za gradbeništvo Slovenije za omogočen osebni strokovni razvoj na področju lastnosti voznih površin in vozišč ter gospodarjenja z vozišči.

DARS d.d. se ob tej priliki zahvaljujem za sodelovanje in da mi je omogočil uporabo nekaterih podatkov o avtocestnem omrežju v njegovem upravljanju ter nekaterih podatkov o stanju omrežja.

Ta stran je namenoma prazna

KAZALO VSEBINE

I	IZJAVE	
II	BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	
III	BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	
IV	ZAHVALA	
1	UVOD	1
2	CILJI IN NAMEN NALOGE	2
3	UPORABLJENE HIPOTEZE	3
3.1	HIPOTEZE RAZISKAVE IN NJENI ZAKLJUČKI	3
3.2	UPORABLJENE METODE RAZISKAVE	3
4	TEORETIČNE OSNOVE IN IZHODIŠČA NALOGE	5
4.1	PROMETNA VARNOST IN TORNA SPOSOBNOST	5
4.2	MERITVE TORNE SPOSOBNOSTI	10
4.2.1	<i>Kako pa sploh merimo torno sposobnost?</i>	10
4.2.2	<i>Merjenje koeficienta vzdolžnega trenja</i>	11
4.2.3	<i>Merjenje koeficienta bočnega trenja</i>	13
4.2.4	<i>Statične in počasi premikajoče se naprave</i>	14
4.3	MERITVE TORNE SPOSOBNOSTI V SLOVENIJI	17
4.4	VPLIVI NA TORNO SPOSOBNOST	21
4.5	NADGRADNJE SLOVENSKE MERILNE NAPRAVE IN RAZISKAVE RAZLIČNIH VPLIVOV NA REZULTATE MERITEV V SLOVENIJI	22
4.5.1	<i>Nadgradnje slovenske naprave</i>	22
4.5.2	<i>Iskanje vplivov na rezultate meritev v Sloveniji</i>	23
4.6	RAZISKAVE NEKATERIH VPLIVOV NA REZULTATE MERITEV V TUJINI	29
4.6.1	<i>ZDA</i>	29
4.6.2	<i>Nemčija in SKM</i>	30
4.6.3	<i>Velika Britanija</i>	31
5	KORELACIJE S TORNO SPOSOBNOSTJO VOZNIH POVRŠIN	33
5.1	GLAVNI KORAKI ANALIZE	33
5.2	VHODNI PODATKI	36
5.2.1	<i>Torna sposobnost</i>	36
5.2.2	<i>Geometrijski podatki</i>	37
5.2.3	<i>Podatki o voziščni konstrukciji</i>	38
5.3	ANALIZE SKUPNE BAZE	40
5.3.1	<i>Obrabnozaporne plasti</i>	40
5.3.2	<i>Horizontalna ukrivljenost</i>	40
5.3.3	<i>Vertikalna ukrivljenost</i>	43
5.3.4	<i>Torna sposobnost</i>	45
5.3.5	<i>Starost obrabnozaporne plasti</i>	50
5.3.6	<i>Prometne obremenitve</i>	53
5.4	ISKANJE KORELACIJ	55
5.4.1	<i>Velikost povezanosti spremenljivk</i>	55
5.4.2	<i>Osnovne korelacije</i>	56
5.4.3	<i>Dodatne korelacije - starost</i>	62
5.4.4	<i>Dodatne korelacije – prometne obremenitve</i>	67
5.4.5	<i>Zbir pripravljenih korelacij</i>	70
5.4.6	<i>Pregled pripravljenih korelacij</i>	80

6	ZAKLJUČEK	83
7	SUMMARY	84
VIRI.....		85

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Predlog mejnih stanj torne sposobnosti za napravo SCRIMTEX	10
Preglednica 2: Baza podatkov o torni sposobnosti.....	36
Preglednica 3: Količina uporabnih podatkov o torni sposobnosti	37
Preglednica 4: Baza geometrijskih podatkov o avtocestah	37
Preglednica 5: Podatki o voziščni konstrukciji	38
Preglednica 6: Uporabljene dolžine vgrajenih materialov.....	40
Preglednica 7: Najmanjši in največji radiji v območju do velikosti 500 m.....	41
Preglednica 8: Najmanjša, največja in povprečna vrednosti nagibov in radijev po obrabnih plasteh	48
Preglednica 9: Povprečna vrednost, standardni odmik ter varianca torne sposobnosti po obrabnih plasteh	49
Preglednica 10: Primerjava dejanskih podatkov ob upoštevanju različnih mejnih starosti	53
Preglednica 11: Ovrednotenje stopenj povezanosti s Pearsonovim koeficientom korelacije	55
Preglednica 12: Pregled plasti za analizo z vključenimi starostnimi razredi	63
Preglednica 13: Pregled plasti za analizo z vključenimi prometnimi razredi, desne krivine	67
Preglednica 14: Pregled plasti za analizo z vključenimi prometnimi razredi, leve krivine.....	68
Preglednica 15: Osnovne korelacije, vsi podatki.....	72
Preglednica 16: Osnovne korelacije, desne krivine	73
Preglednica 17: Osnovne korelacije, leve krivine.....	74
Preglednica 18: Dodatne korelacije - starost, za BB11s in BB11sPmB.....	75
Preglednica 19: Dodatne korelacije - starost, za BB8s	76
Preglednica 20: Dodatne korelacije - starost, za DBM11s in DBM8s	77
Preglednica 21: Dodatne korelacije – promet in prečni nagib, za desne in leve krivine	78
Preglednica 22: Dodatne korelacije – promet in vzdolžni nagib, za desne in leve krivine	79
Preglednica 23: Evalvacija osnovnih korelacij, vsi podatki	80
Preglednica 24: Evalvacija osnovnih korelacij, desne krivine	80
Preglednica 25: Evalvacija osnovnih korelacij, leve krivine	80
Preglednica 26: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev na starostne razrede	81
Preglednica 27: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na prečni nagib, desne krivine	81
Preglednica 28: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na vzdolžni nagib desne krivine	82
Preglednica 29: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na prečni nagib, leve krivine	82
Preglednica 30: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na vzdolžni nagib, leve krivine	82

KAZALO SLIK

Slika 1: Pnevmatike, uporabljene za teste polnega zaviranja (od leve proti desni: zimske rabljene, letne nove, zimske nove, letne rabljene) [6].....	7
Slika 2: Primerjava MFDD in SR za hitrost meritve SCRIMTEX 50 km/h [6].....	8
Slika 3: Primerjava MFDD in SR za hitrost meritve SCRIMTEX 60 km/h [6].....	9
Slika 4: Primerjava MFDD in SR za hitrost meritve SCRIMTEX 80 km/h [6].....	9
Slika 5: RoadSTAR, Avstrija (arhiv ZAG).....	11
Slika 6: TRT, Češka republika (arhiv ZAG).....	12
Slika 7: Skiddometer BV-11 (arhiv ZAG).....	12
Slika 8: Grip Tester (arhiv ZAG).....	13
Slika 9: SCRIMTEX, Slovenija (arhiv ZAG).....	13
Slika 10: SKM, Nemčija (arhiv ZAG).....	14
Slika 11: Prenosno nihalo SRT (arhiv ZAG).....	14
Slika 12: Najpogostejše merilne naprave v državah EU [12].....	15
Slika 13: Primerjalne meritve z napravami SCRIM v Veliki Britaniji leta 2001 (arhiv ZAG).....	15
Slika 14: Najpogostejše merilne naprave v državah EU po principu delovanja [12].....	16
Slika 15: Naprava SCRIMTEX med meritvami (arhiv ZAG).....	17
Slika 16: Pnevmatika merilnega kolesa (arhiv ZAG).....	17
Slika 17: Princip meritev z napravo SCRIMTEX [17].....	18
Slika 18: Merilni mehanizem naprave (arhiv ZAG).....	19
Slika 19: Merilni celici bočne sile (spodaj) in vertikalne obremenitve (zgoraj) (arhiv ZAG).....	19
Slika 20: Infrardeči senzor za meritve temperature vozne površine (arhiv ZAG).....	20
Slika 21: Laserski merilec grobe hrapavosti vozne površine (arhiv ZAG).....	20
Slika 22: Vplivi na rezultate meritev z napravami SCRIM.....	21
Slika 23: Torna sposobnost vzdolž odseka H3/0086, pri hitrostih od 50km/h do 80km/h [21].....	24
Slika 24: Odvisnosti torne sposobnosti od hitrosti meritev [21].....	24
Slika 25: Vpliv vgrajene asfaltne zmesi na torno sposobnost [22].....	25
Slika 26: Vpliv starosti asfaltnih zmesi na torno sposobnost [22].....	26
Slika 27: Vpliv sestave asfaltnih zmesi na torno sposobnost [22].....	26
Slika 28: Vpliv zmesi zrn na torno sposobnost [22].....	27
Slika 29: Primer trase meritev na letališču Portorož [22].....	28
Slika 30: Meritve z Griptester-jem po hribu navzgor in navzdol [23].....	30
Slika 31: Potek analize.....	34
Slika 32: Pregled vhodnih podatkov in rezultatov.....	35
Slika 33: Pogostost radijev v desnih krivinah.....	41
Slika 34: Pogostost radijev (manjših od 5000 m) v desnih krivinah.....	42
Slika 35: Pogostost radijev v levih krivinah.....	42
Slika 36: Pogostost radijev (manjših od 5000 m) v levih krivinah.....	43
Slika 37: Pogostost vertikalnih radijev v desnih krivinah.....	43
Slika 38: Pogostost vertikalnih radijev (manjših od 50000 m) v desnih krivinah.....	44
Slika 39: Pogostost vertikalnih radijev v levih krivinah.....	44
Slika 40: Pogostost vertikalnih radijev (manjših od 50000 m) v levih krivinah.....	45
Slika 41: Porazdelitev vrednosti SR po prečnih nagibih, v desnih krivinah.....	46
Slika 42: Porazdelitev vrednosti SR po prečnih nagibih, v levih krivinah.....	47

Slika 43: Porazdelitev vrednosti SR po obrabnozapornih plasteh, v desnih krivinah.....	50
Slika 44: Porazdelitev vrednosti SR po obrabnozapornih plasteh, v levih krivinah	50
Slika 45: Porazdelitev starosti obrabnozapornih plasti	51
Slika 46: Starostni razredi pri porazdelitvi podatkov s pomočjo kvartilov	52
Slika 47: Starostni razredi pri porazdelitvi podatkov s pomočjo kvintilov	52
Slika 48: Starostni razredi pri porazdelitvi podatkov s pomočjo modificiranih kvintilov	53
Slika 49: Splošno stanje torne sposobnosti glede na gostoto prometa	54
Slika 50: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s	56
Slika 51: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s	56
Slika 52: Odvisnost SR od horizontalnih radijev, za DBM8s	57
Slika 53: Odvisnost SR od vertikalnih radijev, za DBM8s	57
Slika 54: Odvisnost SR od starosti, za DBM8s.....	57
Slika 55: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, desne krivine	58
Slika 56: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, desne krivine	58
Slika 57: Odvisnost SR od horizontalnih radijev, za DBM8s, desne krivine.....	59
Slika 58: Odvisnost SR od vertikalnih radijev, za DBM8s, desne krivine	59
Slika 59: Odvisnost SR od starosti, za DBM8s, desne krivine	60
Slika 60: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, leve krivine	60
Slika 61: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, leve krivine	61
Slika 62: Odvisnost SR od horizontalnih radijev, za DBM8s, leve krivine	61
Slika 63: Odvisnost SR od vertikalnih radijev, za DBM8s, leve krivine	61
Slika 64: Odvisnost SR od starosti, za DBM8s, leve krivine.....	62
Slika 65: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 0/3 leta.....	63
Slika 66: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 4/5 let.....	63
Slika 67: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 6/8 let.....	64
Slika 68: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 9/11 let.....	64
Slika 69: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost več kot 11 let	65
Slika 70: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 0/3 leta	65
Slika 71: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 4/5 let	66
Slika 72: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 6/8 let	66
Slika 73: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 9/11 let	66
Slika 74: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost več kot 11 let.....	67
Slika 75: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost več kot 11 let.....	68
Slika 76: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, 35000>PLDP>15000	68
Slika 77: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, 15000>PLDP.....	69
Slika 78: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, 60000>PLDP>35000	69
Slika 79: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, 35000>PLDP>15000	70
Slika 80: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, 15000>PLDP	70

LIST OF TABLES

Table 1:	Skid resistance measured with SCRIMTEX device. Proposal for limit values [11]	10
Table 2:	Skid resistance measurements database.....	36
Table 3:	Skid resistance data used in the study	37
Table 4:	Geometry data for motorways	37
Table 5:	Pavement structure database.....	38
Table 6:	Pavement surface materials and their lengths which were used in the study.....	40
Table 7:	Min and max radii in the range of up to 500 m	41
Table 8:	Minimal, maximal and average slopes and radii values for different surfaces	48
Table 9:	Average, standard deviation and variance of skid resistance values for different surfaces	49
Table 10:	Comparison of real amount of data when applying different limits for age classes	53
Table 11:	Interpretation of correlation based on the Pearson product-moment correlation coefficient.....	55
Table 12:	Overview of surfaces included in further analysis with age classes added.....	63
Table 13:	Overview of surfaces included in further analysis with traffic classes added, right turns	67
Table 14:	Overview of surfaces included in further analysis with traffic classes added, left turns	68
Table 15:	Initial correlations, all data included.....	72
Table 16:	Initial correlations, right turns.....	73
Table 17:	Initial correlations, left turns	74
Table 18:	Additional correlations – age subdivision, for BB11s and BB11sPmB.....	75
Table 19:	Additional correlations – age subdivision, for BB8s	76
Table 20:	Additional correlations – age subdivision, for DBM11s and DBM8s	77
Table 21:	Additional correlations – traffic and crossfall subdivision, for right and left turns	78
Table 22:	Additional correlations – traffic and slope subdivision, for right and left turns.....	79
Table 23:	Evaluation of initial correlations, all data included	80
Table 24:	Evaluation of initial correlations, right turns	80
Table 25:	Evaluation of initial correlations, left turns	80
Table 26:	Evaluation of additional correlations, age subdivision	81
Table 27:	Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, crossfall, right turns.....	81
Table 28:	Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, slope, right turns	82
Table 29:	Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, crossfall, left turns	82
Table 30:	Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, slope, left turns	82

LIST OF FIGURES

Figure 1: Tyres used during full braking tests (left to right: winter used, summer new, winter new, summer used) [6].....	7
Figure 2: Correlation of MFDD and SR for measurements SCRIMTEX at 50 km/h) [6]	8
Figure 3: Correlation of MFDD and SR for measurements SCRIMTEX at 60 km/h) [6]	9
Figure 4: Correlation of MFDD and SR for measurements SCRIMTEX at 80 km/h) [6]	9
Figure 5: RoadSTAR, Austria (photo ZAG)	11
Figure 6: TRT, Czech republic (photo ZAG).....	12
Figure 7: Skiddometer BV-11 (photo ZAG)	12
Figure 8: Grip Tester (photo ZAG).....	13
Figure 9: SCRIMTEX, Slovenia (photo ZAG)	13
Figure 10: SKM, Germany (photo ZAG).....	14
Figure 11: Portable skid resistance tester SRT (photo ZAG)	14
Figure 12: The most used skid resistance measuring devices in EU countries [12].....	15
Figure 13: SCRIM Correlation trials in UK, year 2001 (photo ZAG).....	15
Figure 14: The most used measuring principles in EU countries [12].....	16
Figure 15: SCRIMTEX device during measurements (photo ZAG).....	17
Figure 16: SCRIM tyre (photo ZAG)	17
Figure 17: Scheme of principle of measurements with a SCRIMTEX device [17]	18
Figure 18: Scheme of principle of measurements with a SCRIMTEX device (photo ZAG)	19
Figure 19: Load cells for side-way force (lower side) and vertical load (upper side) (photo ZAG)	19
Figure 20: Infrared sensor for measurements of pavement surface temperature (photo ZAG).....	20
Figure 21: Laser sensor for macrotexture measurements (photo ZAG).....	20
Figure 22: Factors affecting the SFC measurements using a SCRIM device	21
Figure 23: Skid resistance on the H3/0086 section, measured at different speeds between 50 km/h and 80 km/h [21].....	24
Figure 24: Influence of operating speeds on skid resistance measurement results [21]	24
Figure 25: Skid resistance of asphalt mixtures on selected test sections [22]	25
Figure 26: Skid resistance vs. age of asphalt mixtures on selected test sections [22]	26
Figure 27: Skid resistance vs. grading (open/close) of asphalt mixtures on selected test sections [22]	26
Figure 28: Skid resistance vs. hard aggregate on selected test sections [22]	27
Figure 29: Example of measurement route at the Portorož airport [22]	28
Figure 30: Average GripTester measurements at both uphill and downhill directions [23]	30
Figure 31: Main steps of the study	34
Figure 32: Input data and output correlations of the study analysis	35
Figure 33: Frequency of radii of curvature in right turns.....	41
Figure 34: Frequency of radii of curvature (smaller than 5000 m) in right turns	42
Figure 35: Frequency of radii of curvature in left turns	42
Figure 36: Frequency of radii of curvature (smaller than 5000 m) in left turns.....	43
Figure 37: Frequency of radii of vertical curvature in right turns	43
Figure 38: Frequency of radii of vertical curvature (smaller than 50000 m) in right turns	44
Figure 39: Frequency of radii of vertical curvature in left turns	44

Figure 40: Frequency of radii of vertical curvature (smaller than 50000 m) in left turns	45
Figure 41: Frequency distribution of SR per crossfall, in right turns	46
Figure 42: Frequency distribution of SR per crossfall, in left turns	47
Figure 43: Frequency distribution of SR per surface type, in right turns	50
Figure 44: Frequency distribution of SR per surface type, in left turns.....	50
Figure 45: Age distribution of surfaces	51
Figure 46: Age classes and quartiles for distribution of data in equal groups	52
Figure 47: Age classes and quintiles for distribution of data in equal groups.....	52
Figure 48: Age classes according to modified quintiles.....	53
Figure 49: Influence of traffic on pavement skid resistance	54
Figure 50: Correlation between SR and crossfall, for SMA8	56
Figure 51: Correlation between SR and slope, for SMA8.....	56
Figure 52: Correlation between SR and horizontal curvature, for SMA8.....	57
Figure 53: Correlation between SR and vertical curvature, for SMA8	57
Figure 54: Correlation between SR and pavement surface age, for SMA8.....	57
Figure 55: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, right turns	58
Figure 56: Correlation between SR and slope, for SMA8, right turns.....	58
Figure 57: Correlation between SR and horizontal curvature, for SMA8, right turns	59
Figure 58: Correlation between SR and vertical curvature, for SMA8, right turns.....	59
Figure 59: Correlation between SR and pavement surface age, for SMA8, right turns	60
Figure 60: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, left turns	60
Figure 61: Correlation between SR and slope, for SMA8, left turns	61
Figure 62: Correlation between SR and horizontal curvature, for SMA8, left turns.....	61
Figure 63: Correlation between SR and vertical curvature, for SMA8, left turns	61
Figure 64: Correlation between SR and pavement surface age, for SMA8, left turns.....	62
Figure 65: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 0/3 years	63
Figure 66: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 4/5 years	63
Figure 67: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 6/8 years	64
Figure 68: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 9/11 years	64
Figure 69: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age above 11 years	65
Figure 70: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 0/3 years	65
Figure 71: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 4/5 years	66
Figure 72: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 6/8 years	66
Figure 73: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 9/11 years	66
Figure 74: Correlation between SR and slope, for SMA8, age above 11 years	67
Figure 75: Correlation between SR and slope, for SMA8, age above 11 years	68
Figure 76: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, 35000>AADT>15000	68
Figure 77: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, 15000>AADT	69
Figure 78: Correlation between SR and slope, for SMA8, 60000>AADT>35000	69
Figure 79: Correlation between SR and slope, for SMA8, 35000>AADT>15000	70
Figure 80: Correlation between SR and slope, for SMA8, 15000>AADT	70

KRATICE

BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BCP	Banka cestnih podatkov
CEN	Comité Européen de Normalisation/European Committee for Standardization
DARS	Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji, d.d.
DRSC	nekdaj Direkcija Republike Slovenije za ceste, zdaj del DRSI
DRSI	Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo
FEHRL	National Road Research Centres in Partnership, Evropsko združenje cestogradbenih inštitutov; nekdanje ime Forum of European Highway Research Laboratories
FHWA	Federal Highway Administration
HERMES	Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance, FEHRLov projekt
KDT	koeficient drsnega trenja
MFDD	Mean Fully Developed Deceleration; srednji polno razviti pojemek
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
PPC	Pravilnik o projektiranju cest
ROSANNE	ROLLing resistance, Skid resistance, ANd Noise Emission measurement, EU projekt
SCRIM	Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine
SCRIMTEX	naprava SCRIM, ki ima dodan laserski merilec grobe hrapavosti vozne površine (macro-texture)
SR	SCRIM Reading, koeficient bočnega trenja oz. rezultat meritev naprave SCRIM/SCRIMTEX
TSC	tehnične specifikacije za javne ceste
TRL	UK Transport Research Laboratory
TYROSAFE	Tyre and Road Surface Optimisation for Skid resistance and Further Effects, EU projekt
ZAG	Zavod za gradbeništvo Slovenije

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

Slovenski izraz:	Angleški izraz:	Kratka obrazložitev:
groba hrapavost	macro-texture	drenažna sposobnost vozne površine zaradi oblike in razmika med večjimi zrnji; opredeljena je z velikostjo valovnih dolžin vzdolžnega profila ceste, in sicer od 0,5 mm do 50 mm
meritev koeficienta bočnega trenja	transverse friction (principle)	način meritev torne sposobnosti: merilno kolo je nastavljeno pod kotom glede na smer vožnje med meritvijo
meritev koeficienta vzdolžnega trenja	longitudinal friction (principle)	način meritev torne sposobnosti: merilno kolo je nastavljeno v smeri vožnje med meritvijo
torna sposobnost (odpor proti drsenju)	skid resistance	lastnost vozne površine, s katero pripomore k vzpostavitvi trenjske sile pri prevozu pnevmatike po njej, v območju stične površine
torne lastnosti	pavement friction and macrotexture	v nalogi sta pod tem pojmom zaobjeti torna sposobnost in groba hrapavost

1 UVOD

S pojmom prometna varnost opisujemo metode in ukrepe za zmanjšanje tveganja nastanka prometnih nesreč; če pa že do njih pride, se prometna varnost nanaša na metode in ukrepe, s katerimi zmanjšujemo možnost in resnost poškodb udeležencev v prometu.

Prometno varnost lahko zagotavljamo le ob celovitem razumevanju sistema voznik - vozilo - cesta z okoljem. Strategije varnosti v cestnem prometu se morajo torej osredotočati na celoten sistem in posledično na izboljšanje varnosti vseh treh naštetih faktorjev. Nesreče so lahko posledica voznikovih dejanj, napak ali težav z vozili, zaradi voznega okolja. Svoj del k prometni varnosti vsekakor prispeva tudi vozna površina, po kateri se premikajo vozila. Pri tem so posebej pomembne tako imenovane torne lastnosti, s čimer opisujemo torno sposobnost ter grobo hrapavost vozišč oz. njihovih voznih površin.

Torne lastnosti vozišč imajo pomembno vlogo pri vzpostavljanju trenja med pnevmatiko in voziščem, s čimer postane vozna površina eden izmed ključnih dejavnikov pri zmanjševanju tveganja za nastanek nesreč. Ko pnevmatika prosto kotali naravnost po vozni površini, se med njima le za trenutek vzpostavi stična površina, pri čemer se razvije le zelo malo ali nič trenja.

Stanje se bistveno spremeni, ko vozilo opravlja določen manever:

- pospešuje,
- zavira ali upočasnjuje,
- varno spreminja smer vožnje.

Takrat potrebuje ustrezno količino trenja med pnevmatikami in voziščem. Trenje, ki se med njima razvije in je za te manevre na voljo, je odvisno od lastnosti površine vozišča in tudi od same pnevmatike. Raziskave so pokazale [1], da je trenje določene kombinacije vozna površina - pnevmatika odvisno od številnih dejavnikov, vključno s/z:

- vertikalno obremenitvijo pnevmatike,
- tekalno plastjo pnevmatike (vrsta gume, globina in oblika profila),
- značilnostmi vozne površine,
- prisotnostjo vode, ledu ali drugih onesnaževalcev v stični površini, in
- hitrostjo vozila.

Z vidika upravljavcev cestnega omrežja je še posebej pomembno, da lahko pomanjkanje trenja med pnevmatiko in mokro vozno površino znatno poveča tveganje za nastanek prometnih nesreč. Zato upravljavci v svoje strategije prometne varnosti običajno uvedejo pogosto in sistematično spremljanje stanja tornih lastnosti vozišč.

Kot primer lahko navedemo ZDA in njihovo Federal Highway Administration (FHWA). FHWA je izdala smernice upravljavcem avtocest (*highway agencies*) za upravljanje torne sposobnosti na njihovih voziščih [2]. Cestne uprave zveznih držav (*Departments of Transportation - DOTs*) upravljavci avtocest lahko tam najdejo koristne napotke kako preudarno in premišljeno uporabiti podatke o trenju med pnevmatiko in vozno površino pri sprejemanju odločitev v okviru gospodarjenja z vozišči. Dokument opisuje principe trenja in hrapavosti, metode merjenja in vplive na meritve, poudarek je tudi na pomenu trenja pri projektiranju varnih (avto)cest.

Ovrednotenje lastnosti, s katero vozna površina pripomore k ustrezno velikem trenju, je že desetletja osnovni motiv pri razvoju merilnih metod in naprav na tem področju. Naprave na opredeljeni način merijo torno silo, ki se razvije med kotalečo pnevmatiko ali drsnikom (drsečo gumico), in vozno površino. Površina je običajno mokra, rezultat meritev pa je razmerje izmerjene horizontalne sile in vertikalne obremenitve mernega dela naprave.

Izmerjeno količino običajno imenujemo torna sposobnost vozne površine (ali odpor proti drsenju) in je opredeljena z brezdimenzijsko številko. Meritve so vselej izvedene v

standardiziranih pogojih - da bi čimbolj zmanjšali vplive na samo merjenje so meritve izvedene ob kontroliranju/spremljanju različnih vplivnih faktorjev.

Ker so se meritve in merilnih naprav v marsikateri državi lotili po svoje, niti ni presenetljivo, da je v Evropi trenutno v veljavi 15 različnih CEN tehničnih specifikacij za prav toliko različnih merilnih naprav. Merilne metode in pogoji pri meritvah se precej razlikujejo, zaradi česar lahko naprave za isto vozno površino podajo zelo različne številke; pri nekaterih rezultati niti niso nujno povezani, se pravi, da med njimi ne obstaja korelacija.

Načeloma tovrstne rezultate uporabljamo za primerjavo stanja različnih vozniških površin oz. stanja zmesi ali mešanic, vgrajenih v obrabne plasti. Uporabljamo jih tudi za ugotavljanje sprememb s časom, sami po sebi pa še niso zadostni za določanje zavorne razdalje ali npr. mejne hitrosti, pri kateri voznik izgubi kontrolo nad vozilom po mokrem ali suhem vozišču.

Precej vplivov na meritve s posameznimi napravami je že dovolj dobro ugotovljenih, na tem področju smo marsikaj naredili tudi v Sloveniji. Glede na konfiguracijo terena in glede na to, da se državne ceste v precejšnji meri prilagajajo terenu, je pri nas še posebej pomembno, kakšen vpliv na meritve imata horizontalna in vertikalna ukrivljenost ter prečni in vzdolžni nagib. V nalogi sem se posvetil predvsem njihovem vplivu na rezultate meritev torne sposobnosti z napravo SCRIMTEX, s katero spremljamo stanje vozišč v Sloveniji.

2 CILJI IN NAMEN NALOGE

Ovrednotenje stanja vozišč glede torne sposobnosti običajno poteka z uporabo mejnih vrednosti, tudi v Sloveniji imamo za ta namen pripravljene in v tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.620 [3] objavljene preglednice, npr. *Mejna območja vrednosti torne sposobnosti za oceno stanja obstoječega vozišča, določenih z napravo SCRIMTEX*.

Možnih načinov določitev le-teh je več, na primer:

- statističen pristop je splošne narave; izračuna se kumulativne frekvence vrednosti torne sposobnosti, pri izbranih deležih frekvenc se določi mejna vrednost,
- zapletenejši pristop je koreliranje nivoja torne sposobnosti in ocene tveganja za nastanek nesreče na posameznem odseku ceste.

Mejne vrednosti lahko temeljijo na:

- teoretičnih izračunih (ob upoštevanju, na primer, skupnih zavornih poti v določenih okoliščinah),
- vidni zaustavni razdalji.

Najpreprosteje pa je privzeti ali prilagoditi mejne vrednosti iz neke druge države ali omrežja cest, kot je tudi primer mejnih vrednosti in mejnih območij v že omenjeni TSC.

Pri raziskovalnem projektu *“Analiza rezultatov meritev tornih lastnosti ter primerjava z meritvami pojemkov in zavornih poti”* [4] so bile narejene meritve torne sposobnosti, ki so skupaj z drugimi meritvami vodile k izvedenim korelacijam in v končni fazi k predlogu novega načina določitev mejnih vrednosti torne sposobnosti, na podlagi dosegljivih pojemkov oziroma zaustavnih razdalj. V projektu prečnega nagiba nismo upoštevali oziroma je bil le-ta upoštevan v vrednosti 0 %.

Namen in cilj te magistrske naloge je bil izpopolniti raziskovalno nalogo in določiti vpliv prečnega nagiba na izmerjeno torno sposobnost. Teoretično je ta vpliv lahko zelo velik in lahko precej vpliva na izračun končnih značilnih vrednosti koeficientov bočnega trenja SR - pogojne, mejne in prevzemne vrednosti, ki so uporabne za presojo ustreznosti vozniških površin na cestah v Sloveniji. Po drugi strani pa se lahko sama zgradba naprave izkaže kot taka, da prepreči vpliv na meritve, ne glede na velikost prečnega nagiba.

Zaradi ustreznosti meritev je bilo potrebno na državnem cestnem omrežju določiti nekaj ravnih in dovolj dolgih homogenih (v smislu torne sposobnosti) testnih odsekov.

Glede na razvoj dela in glede na sprotne ugotovitve ob analizah in primerjavah različnih podatkov sem cilj naloge razširil še na poskus določitve vpliva vzdolžne ravnosti ter horizontalne in vertikalne ukrivljenosti na izmerjeno torno sposobnost.

V primeru, da ima prečni nagib (in ostali faktorji) kakršenkoli vpliv, je bil namen preoblikovati ustrezne enačbe in končne značilne vrednosti SR iz zgoraj omenjene raziskovalne naloge.

Ob dovolj velikem številu testnih odsekov sem poskusil ugotoviti tudi ali katere asfaltne zmesi izstopajo glede na svoje obnašanje, predvsem v smislu večje trajnosti in ohranjanja torne sposobnosti. Primerljiva so seveda le tista testna polja, ki so obremenjena s podobno veliko prometno obremenitvijo in so podobne starosti.

3 UPORABLJENE HIPOTEZE

3.1 Hipoteze raziskave in njeni zaključki

Splošne hipoteze, na katerih sem gradil svojo raziskavo so, da:

- prečni nagib vozišč,
- vzdolžni nagib vozišč,
- horizontalna ukrivljenost vozišč,
- vertikalna ukrivljenost vozišč,

vplivajo na torno sposobnost vozni površin, in da

- so v bazah podatkov upravljavcev slovenskega cestnega omrežja na razpolago potrebni podatki za ugotavljanje vplivov.

Posledično, glede na znano in v raziskovalni nalogi *Analiza..* [4] uporabljeno enačbo za izračun zavorne poti L_2 , zgoraj navedeni elementi geometrije vplivajo tudi na zavorno pot pri zaustavljanju vozil. Ker je bila le-ta uporabljena za izračun značilnih *pogojne, mejne* in *prevzemne* vrednosti SR končno navedeni elementi vplivajo še nanje.

Poleg splošnih hipotez sem poskusil odgovoriti še na vprašanje, ali različne asfaltne zmesi, vgrajene v obrabne plasti voziščnih konstrukcij, izkazujejo različne vplive ob podobnih okoliščinah (starost, prometna obremenitev). Na začetku naloge sem se hipotetično osredotočil predvsem na asfaltno zmes SMA napram ostalim, vendar sem vedel, da bodo hkrati rezultati v veliki meri odvisni od dosegljivosti in obstoju podatkov za različne asfaltne zmesi.

Rezultati izvedene raziskave so (trenutno) v splošnem ovrgli prve štiri hipoteze o vplivih na torno sposobnost, peta pa je bila potrjena vsaj za omrežje avtocest, s katerim gospodari DARS d.d.

3.2 Uporabljene metode raziskave

Pri svojem raziskovanju sem v osnovi uporabil rezultate eksperimentalnih metod, t.j. rezultate meritev pri kontroliranih pogojih.

V svoji dosedanji profesionalni karieri sem se 15 let ukvarjal z lastnostmi vozni površin, vseskozi tudi s tornimi lastnostmi – torno sposobnostjo in hrapavostjo. Moje dejavnosti obsegajo izvedbo meritev tornih lastnosti na omrežjih državnih cest; nacionalne in mednarodne raziskave na temo same torne sposobnosti in hrapavosti, različnih vplivov na rezultate meritev, harmonizacijo merilnih naprav; različne analize rezultatov in podajanje mnenj ter vrednotenje stanja vozišč.

Za prvi del naloge sem se posvetil študiju literature, strokovnih gradiv in obstoječe tehnične regulative. V teoretičnem delu magistrske naloge sem povzel izhodiščno raziskavo, ki je privedla do raziskovalnega problema ter metode dela za pridobitev osnovnih podatkov za raziskavo, t.j. meritve torne sposobnosti z napravo SCRIMTEX. Ker veliko sodelujem s tujimi

raziskovalci, sem pridobil tudi nekaj njihovih izkušenj pri raziskovanju istega ali podobnih problemov.

V praktičnem delu naloge sem uporabil rezultate meritev torne sposobnosti, ki smo jih s skupino sodelavcev opravili za DARS d.d. na omrežju slovenskih avtocest. Za namene magistrske naloge mi je DARS d.d. dovolil anonimizirano uporabo rezultatov, poleg tega pa odstopil še nekatere druge pomembne podatke o voziščih: geometrijske podatke, pridobljene s pomočjo meritev posebne večfunkcionalne mobilne naprave ter podatke o obrabnih plasteh vozni površin avtocest.

Geometrijski podatki in torne lastnosti so bili pridobljeni v letih 2007 in 2008 v nalogah, ki so obsegale več dejavnosti:

- zbiranje in pregled obstoječih inventurnih podatkov o delu cestnega omrežja
- izvedba meritev
- urejanje in analiza rezultatov meritev

Tako pridobljene podatke sem uredil in ovrednotil, pri čemer je bila potrebna kritična presoja njihove kvalitete in pravilnosti. Po tem osnovnem urejanju sem informacije s pomočjo ustreznih statističnih in drugih metod primerjal, analiziral in interpretiral. Nazadnje sem na podlagi svojih aktivnosti dobljene rezultate sintetiziral v sklepe in podal zaključke.

4 TEORETIČNE OSNOVE IN IZHODIŠČA NALOGE

Z vidika vozišča je trenje na vozni površini odločilni parameter za prometno varnost, izražamo pa ga s koeficientom drsnega trenja (KDT).

Trenje se pojavi ob drsenju enega telesa ob drugem, in ima nasprotno smer od smeri gibanja. V primeru cest se pojavi ob drsnem kotaljenju pnevmatike po vozišču in je premo sorazmerno z normalno komponento sile, s katero pritiska pnevmatika na stično ploskev. Sorazmernostni koeficient je koeficient drsnega trenja, ki je mera za trenje med pnevmatiko in vozno površino, opredeljeno z oprijemom posamezne (konkretne) pnevmatike in konkretne stične površine vozišča v konkretnem časovnem trenutku. Na trenje vpliva več parametrov, vezanih na vozno površino (hrapavost, deformacije ipd.) in pnevmatiko, ter drugi vplivi, ki niso neposredno povezani z njima: okoljski pogoji (npr. temperatura), relativna hitrost in prisotnost onesnaževalcev v stični površini (vključno z vodo) [5], [9]. Ne pa tudi masa ali prostornina teles.

Mejno vrednost koeficienta KDT se kot temeljni parameter vpliva kvalitete vozne površine upošteva pri voznodinamičnem dimenzioniranju horizontalnih in vertikalnih geometrijskih in tehničnih elementov vozišča.

Če se vrnemo na vozno površino, njena torna sposobnost je tista lastnost, ki vpliva in doprinese h KDT. Torna sposobnost oziroma odpor proti drsenju opisuje prispevek (običajno mokre) vozne površine k trenju med pnevmatiko in vozno površino. V bistvu gre za merjenje trenja pri točno specificiranih, standardiziranih pogojih, izbranih oziroma določenih za omejitev več vplivnih parametrov, tako da je mogoče osamiti prispevek, ki ga cesta zagotavlja k trenju [5].

Zaradi zgoraj navedenega je pomembno, da torno sposobnost vozišč redno spremljamo, hkrati pa tudi (s)poznamo različne vplive na meritve te lastnosti in na merilne naprave, s katerimi delamo.

4.1 Prometna varnost in torna sposobnost

Torna sposobnost na državnih cestah v upravljanju DRSI in DARS d.d. sistemsko spremljamo že dlje časa, v primeru DRSI že desetletje in pol, in sicer v letnih ciklikih. V tem primeru so meritve izvedene za namene gospodarjenja z vozišči, in v njegovem okviru za zagotavljanje podatkov o stanju državnega cestnega omrežja na t.i. mrežnem nivoju.

Dejanski KDT in dolžino dosegljive zavorne poti na vozišču pa se določa na osnovi meritev pojmov v vozilu (npr. za specialni inšpekcijski pregled ali sodno izvedeništvo). V raziskovalnem projektu [4], ki ga v nadaljevanju povzemam, smo primerjali, kasneje pa predstavili [6],[7], oboje podatke:

- torno sposobnost vozni površin, izmerjenih z napravo SCRIMTEX, in
- dosegljive zavorne pojemke ob različnih pogojih zaviranja do zaustavitve.

Naloga je zajemala meritve na različnih testnih poljih z različnimi sistemi vozil. Sistem vozila smo poimenovali kombinacijo vozila, njegovega zavornega sistema in izbora pnevmatike. Kot rezultat smo, neodvisno od vrste in kvalitete ter starosti materiala obrabno-zaporne plasti voziščne konstrukcije, za mokro vozno površino določili korelacijo.

Zgoraj omenjena mejna (spodnja) vrednost KDT ali μ_g je v Sloveniji privzeta v:

- Pravilniku o projektiranju cest PPC [8],
- Temeljnih pogojih za določanje cestnih elementov v odvisnosti od voznodinamičnih pogojev, ekonomike cest, prometne obremenitve in prometne varnosti ter preglednosti (TSC 03.200) [9], in
- Geometrijskih elementih cestne osi in vozišča (TSC 03.300) [10].

V navedenih virih je izražena z enačbo:

$$f_{T_dop} = \mu_g = 0,2 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,629 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,637 \quad (1)$$

kjer je

V ... vozna hitrost [km/h]

Zavorna oziroma zaustavna razdalja na asfaltnih voziščih je določena na podlagi prej omenjene enačbe v navedeni slovenski regulativi za projektiranje cest (PPC) in TSCji po naslednjih enačbah:

$$L_z = L_1 + L_2 \quad (2)$$

$$L_1 = \frac{V_0}{3,6} \cdot t_r; \quad L_2 = \frac{1}{3,6^2 \cdot g} \cdot \int_{V_1}^{V_2} \frac{v}{f_{T_dop}(v) + \frac{s}{100} + u(v)} dv \quad (3)$$

kjer je

$L_z; L_1; L_2$...	zaustavna razdalja; prevozna razdalja vozila v času t_r ; razdalja v fazi zaustavljanja vozila od trenutka, ko voznik pritisne na zavoro do popolne zaustavitve [m]
$V; V_0; V_1; V_2$...	hitrost; začetna hitrost; hitrost vozila po koncu zaviranja; hitrost vozila tik pred pričetkom zaviranja [km/h]
t_r	...	reakcijski čas voznika in vozila oziroma zavornega sistema [s]
g	...	gravitacijski pospešek [m/s^2]
f_{T_dop}	...	dopustni koeficient drsnega trenja [-]
s	...	vzdolžni nagib nivelete ceste [%]
u	...	koeficient zračnega upora (dinamični upor zraka) [-]

Pri tem se koeficient zračnega upora izračuna po naslednji enačbi:

$$u = 0,461 \cdot 10^{-4} \left(\frac{V}{3,6}\right)^2 \quad (4)$$

Da bi zagotovili primerljivost rezultatov s podobnimi preizkusi v literaturi [11], [12], [13], smo pri nalogi za primerjalne analize uporabili t.i. *srednji polno razviti pojemek*, MFDD [13]:

$$a_{MFDD} = \left| \frac{v_{10}^2 - v_{80}^2}{2 \cdot (s_{10} - s_{80})} \right| \quad (5)$$

kjer je

v_{10}	...	10 % začetne hitrosti vozila tik pred zaviranjem
v_{80}	...	80 % začetne hitrosti vozila tik pred zaviranjem
s_{10}	...	Prevožena razdalja med točkama, ko vozilo doseže v_{10}
s_{80}	...	Prevožena razdalja med točkama, ko vozilo doseže v_{80}

Prevozna razdalja vozila L_1 je odvisna od začetne hitrosti vozila in nas v nalogi ni zanimala. Nasprotno pa smo se osredotočili na zaustavno razdaljo v fazi zaustavljanja vozila od trenutka, ko voznik pritisne na zavoro do popolne zaustavitve (L_2). Ta nam je pomagala pri določitvi korelacije med koeficientom drsnega trenja in torno sposobnostjo. Zaustavno razdaljo L_2 izračunamo pa s pomočjo srednjega polno razvitega pojemka po enačbi:

$$L_2 = \frac{v^2}{2 \cdot \left(a_{MFDD} + \frac{s}{100} \cdot g \right)} \quad (6)$$

kjer je

a_{MFDD}	...	srednji polno razviti pojemek [m/s^2]
v	...	hitrost [m/s]
g	...	gravitacijski pospešek [m/s^2]
s	...	vzdolžni nagib nivelele ceste [%]

Za primerjavo v nalogi smo uporabili le komponento pojemkov vozila v vzdolžni smeri, a naprava meri pojemke v vse tri smeri - vzdolžno, prečno in normalno, in to neodvisno. Ker so bili vzdolžni nagibi v raziskovalni nalogi preizkušanih vozniških površin zanemarljivi, smo lahko enačbo preoblikovali v:

$$L_2 = \frac{v^2}{2 \cdot a_{MFDD}} \quad (7)$$

kjer je

a_{MFDD}	...	srednji polno razviti pojemek [m/s^2]
v	...	hitrost [m/s]

V nadaljnjih analizah naloge smo uporabljali vrednosti posameznih izmerjenih pojemkov pri zaustavljanju normalizirane z gravitacijskim pospeškom, t.j. pospeške smo izrazili z zemeljskim gravitacijskim pospeškom g (njegovo vrednost smo delili z 9,81).

Slika 1 prikazuje pnevmatike, ki smo jih uporabili med preskusi polnih zaviranj do zaustavitve.



Slika 1: Pnevmatike, uporabljene za teste polnega zaviranja (od leve proti desni: zimske rabljene, letne nove, zimske nove, letne rabljene) [6]

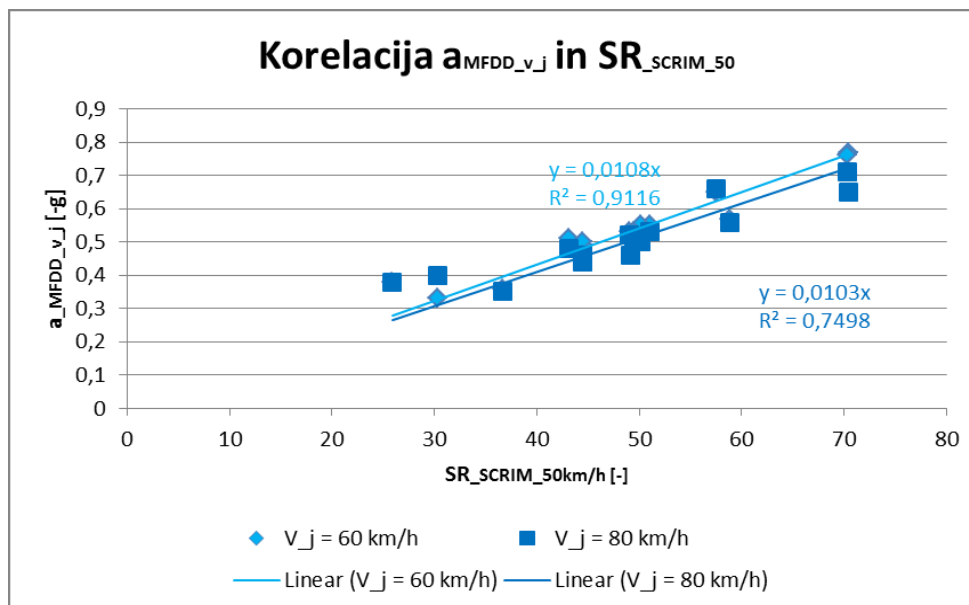
Figure 1: Tyres used during full braking tests (left to right: winter used, summer new, winter new, summer used) [6]

Kot že zgoraj navedeno, smo specifično kombinacijo vozila, zavornega sistema in pnevmatike poimenovali sistem vozila. Za posamezen sistem vozila j je bil statistično določen nekorigirani povprečni pojemek (pospešek) $a_{U_{avg}}$, korigirani povprečni pojemek $a_{C_{avg}}$ in povprečni polni pojemek a_{MFDD} .

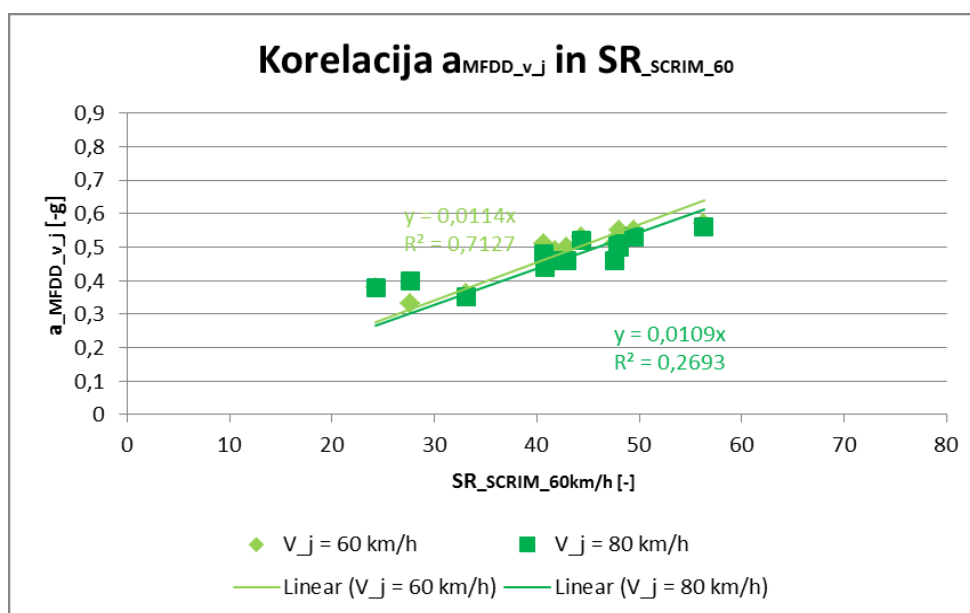
V nadaljnjih primerjavah smo upoštevali standardiziran povprečni polni pojemek $a_{MFDD_{V_j}}$ pri izbrani nazivni hitrosti, ker je najbolj primerljiv s KDT. Zaviranje smo izvedli pri različnih hitrostih.

Korelacije na slikah v nadaljevanju smo:

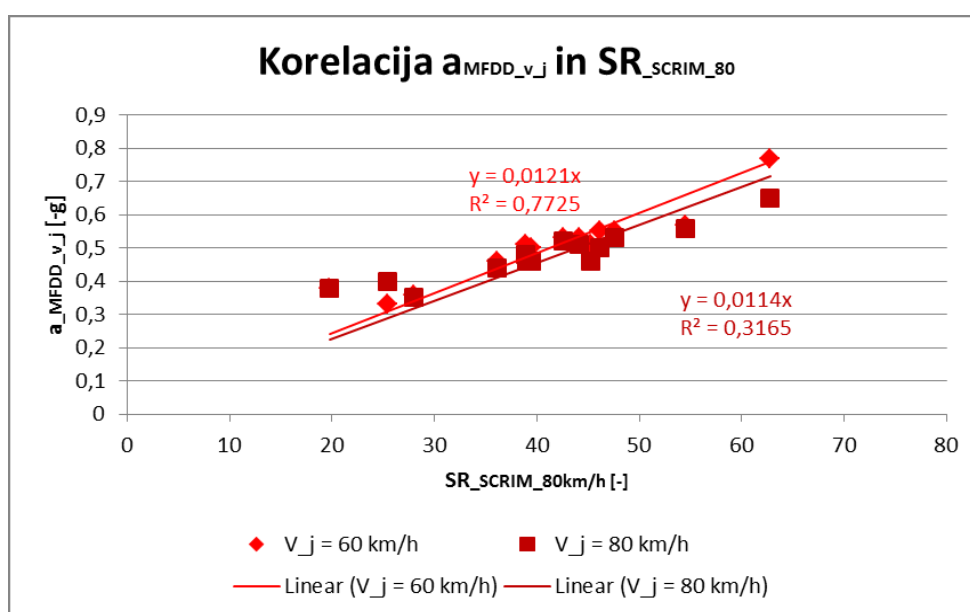
- iskali le za določen sistem vozila na mokrem vozišču, na podlagi ugotovitev predhodnih meritev pa izbrali
- zavorni sistem vozila brez ABS, s katerim je mogoče izmeriti pojemke pri zaviranju v celotnem območju vzdolžnega zdrsa, in
- zimske pnevmatike, ki so pri predhodnih meritvah izkazovale »najslabše« povprečne polne pojemke med izbranimi pnevmatikami za teste polnega zaviranja (slika 1).



Slika 2: Primerjava MFDD in SR za hitrost meritve SCRIMTEX 50 km/h [6]
Figure 2: Correlation of MFDD and SR for measurements SCRIMTEX at 50 km/h) [6]



Slika 3: Primerjava MFDD in SR za hitrost meritve SCRIMTEX 60 km/h [6]
Figure 3: Correlation of MFDD and SR for measurements SCRIMTEX at 60 km/h [6]



Slika 4: Primerjava MFDD in SR za hitrost meritve SCRIMTEX 80 km/h [6]
Figure 4: Correlation of MFDD and SR for measurements SCRIMTEX at 80 km/h [6]

Navedene korelacije so bile osnova za naslednje analize, ki so rezultirale v značilnih vrednostih za meritve z napravo SCRIMTEX. S pomočjo korelacijskega razmerja obeh spremenljivk (nekatera so razvidna iz enačb na zgornjih slikah) smo za poljubne vrednosti torne sposobnosti SR izračunali povprečne polne pojemke. Te smo dalje vstavili v enačbo (6) in z njeno pomočjo določili zaustavne razdalje L_2 . Ob pregledu zaustavnih razdalj smo ugotavljali, katere še ustrezajo kriteriju zavorne poti v skladu s Voznotehničnimi pogoji za dimenzioniranje elementov ceste, ki so določene v predpisih za projektiranje cest. Na ta način je bilo določeno spodnje mejno oziroma *pogojno* stanje torne sposobnosti asfaltnega vozišča (preglednica 1).

Preglednica 1: Predlog mejnih stanj torne sposobnosti za napravo SCRIMTEX [14]

Table 1: Skid resistance measured with SCRIMTEX device. Proposal for limit values [14]

Hitrost v_j [km/h]	<i>SR_SCRIM</i> pogojno [-]			<i>SR_SCRIM</i> mejno [-]			<i>SR_SCRIM</i> prevzemno [-]		
	f_var=1,0			f_var=0,85			f_var=0,75		
	$v_{sc,i}$ [km/h]			$v_{sc,i}$ [km/h]			$v_{sc,i}$ [km/h]		
	50	60	80	50	60	80	50	60	80
40	44	42	39	52	49	46	58	55	53
50	41	39	37	49	46	43	55	52	49
60	39	37	35	46	44	41	52	49	47
70	37	35	33	44	42	40	50	47	45
80	36	34	32	42	40	38	48	45	43
90	35	33	31	40	39	37	46	43	41

Navedeni so trije sklopi izračunanih značilnih vrednosti SR_{SCRIM} , sklopi:

- pogojnih,
- mejnih in
- prevzemnih vrednosti.

Predlagani termini naj bi odražali stanje torne sposobnosti na vozišču:

- s pogojno vrednostjo smo opredelili pogojno stanje asfaltne površine, ki še ustrezajo kriteriju poti ustavljanja v skladu z voznotehničnimi pogoji za dimenzioniranje elementov ceste. Stanje vozne površine še omogoča varno zaustavljanje na suhem in čistem vozišču, v mokrem vozna površina z nižjo vrednostjo izmerjenega SR_{SCRIM} ne zagotavlja več ustrezne torne sposobnosti. Naj spomnim, da vrednosti veljajo ob upoštevanju prej opisanega sistema vozila in ugotovljenih korelacij na podlagi opravljenih meritev za časa raziskovalne naloge.
- pri mejni vrednosti smo upoštevali določen faktor varnosti povprečnega polnega pojemka, s katerim smo upravljavcu cestnega omrežja ob nedoseganju te vrednosti omogočili možnost pripraviti in izvesti ustrezen ukrep za izboljšavo stanja.
- prevzemna vrednost je ciljna vrednost za nove asfaltne vozne površine.

Za vrednosti iz preglednice veljajo še nekatere druge omejitve, kar pa ne spada več v obseg te naloge.

Naj zaključim s tem, da je od upravljavca cest zahtevan aktiven pristop k izboljšanju stanja vozniških površin v primeru, ko meritve z napravo SCRIMTEX na mrežnem nivoju na cesti pokažejo stanje, slabše od mejnih vrednosti. Predlog o tem kako in kaj narediti, smo podali tudi v omenjeni raziskovalni nalogi [4].

Iz navedenega je razvidno, kako zelo pomembne so tudi meritve torne sposobnosti, posledično pa tudi, da poznamo in znamo ovrednotiti različne vplive na same meritve in na rezultate meritev.

4.2 Meritve torne sposobnosti

4.2.1 Kako pa sploh merimo torne sposobnost?

V veliko državah so se lotili razvoja naprav za meritve torne sposobnosti in v desetletjih raziskav jih je bilo načrtovanih in sestavljenih kar precej. Na same meritve vpliva veliko parametrov, zato naprave delujejo v »standardiziranih«
pogojih. Izbrani pogoji odsevajo

praktični vidik izvedbe meritev, npr. pritisk v pnevmatikah, vertikalna obtežba na merilno kolo, količina vode za močenje vozišča pred merilnim kolesom itd., smatra se jih kot relevantne pri opisovanju medsebojnega delovanja med trenjem ter stično površino med pnevmatiko in vozno površino.

Na koncu vse naprave po svoje merijo trenjsko silo med kotalečo pnevmatiko ali drsnikom in z vodo močeno vozno površino. Rezultat meritev pa je običajno kvocient med izmerjeno horizontalno silo in vertikalno silo na pnevmatiko. Kljub vsemu so naprave precej različne in delujejo ob različnih standardnih pogojih, registrirane vrednosti torne sposobnosti ob meritvah iste vozne površine pa znatno različne.

Naprave za merjenje torne sposobnosti delujejo na tri različne načine, opisane v nadaljevanju [1].

4.2.2 Merjenje koeficienta vzdolžnega trenja

Pri zaviranju vozil v vzdolžni smeri se preko zavornega sistema pojavi moment na kolesa, to pa povzroči nastanek trenjske sile na stiku med pnevmatiko in vozno površino:

- ob zadostnem trenju vozilo upočasni,
- ob močnejšem zaviranju pride do kombinacije drsenja in kotaljenja ter
- v skrajnem primeru pride do samega drsenja.

Naprave, ki merijo koeficient vzdolžnega trenja, so skonstruirane tako, da simulirajo dogajanje med vožnjo vozil, in da izvajajo meritve nekje med drsnim kotaljenjem in popolnim drsenjem mernega kolesa.

Primeri tovrstnih naprav so prikazani na naslednjih slikah.



Slika 5: RoadSTAR, Avstrija (arhiv ZAG)

Figure 5: RoadSTAR, Austria (photo ZAG)



Slika 6: TRT, Češka republika (arhiv ZAG)
Figure 6: TRT, Czech republic (photo ZAG)



Slika 7: Skiddometer BV-11 (arhiv ZAG)
Figure 7: Skiddometer BV-11 (photo ZAG)



Slika 8: Grip Tester (arhiv ZAG)
Figure 8: Grip Tester (photo ZAG)

4.2.3 Merjenje koeficienta bočnega trenja

V krivini voznik drži vozilo v smeri ceste s pomočjo krmilnega mehanizma, z obračanjem sprednjih koles. Prednja kolesa so v takšnem trenutku postavljena pod določenim kotom glede na smer preostalega dela vozila:

- pojavi se »bočna« trenjska sila, ki deluje pravokotno na ravnino kolesa in
- nasprotuje centrifugalni sili, ki vleče vozilo iz ovinka in omogoča vozilu, da pelje po krivini,
- če je centrifugalna sila večja od bočnega trenja, bo pnevmatika (in z njo vozilo) zdrsnila iz krivine.

Naprave, ki merijo bočno silo, so skonstruirane tako, da simulirajo zgoraj opisani proces. Merilno kolo je pri njih montirano pod določenim kotom glede na smer vožnje. Koeficient med merjeno bočno silo in vertikalno silo, ki pritiska na merno kolo, imenujemo koeficient bočne sile. Primeri tovrstnih naprav so prikazani na naslednjih slikah.



Slika 9: SCRIMTEX, Slovenija (arhiv ZAG)
Figure 9: SCRIMTEX, Slovenia (photo ZAG)



Slika 10: SKM, Nemčija (arhiv ZAG)
Figure 10: SKM, Germany (photo ZAG)

4.2.4 Statične in počasi premikajoče se naprave

V to skupino naprav spadajo prenosne naprave, s katerimi merimo torno sposobnost na cestah ali pa tudi v laboratorijih. Pri teh napravah običajno mehanizem povzroči pomik gumijastega drsnika po vozni površini. Tipični predstavnik te skupine je t.i. prenosno nihalo SRT (slika 11), pri katerem drsnik na koncu ročice podrsa po vozni površini, ob njenem prehodu pa se gibanje upočasni. Odčitane vrednosti nihala predstavljajo mero za torno sposobnost površine.



Slika 11: Prenosno nihalo SRT (arhiv ZAG)
Figure 11: Portable skid resistance tester SRT (photo ZAG)

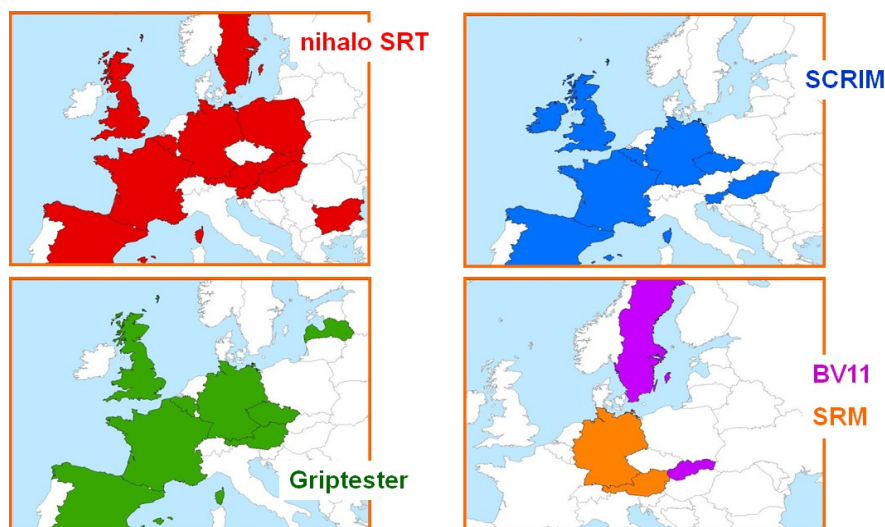
Zaradi dolgoletnega razvoja in zaradi posebnega interesa reševanja prometne varnosti v več (predvsem bogatejših) državah, so dogodki pripeljali do situacije, ko obstaja predvsem relativno veliko različnih naprav po Evropi in celem svetu. Večina teh naprav je namreč unikatov ali pa jih obstaja zelo malo različic, le nekaj jih štejemo v več kot deset delujočih naprav.

Kot je bilo ugotovljeno tekom projekta TYROSAFE [18], je bilo v letu 2008 v Evropi delujočih kar 26 različnih naprav za izvajanje meritev tornih lastnosti [1]; popisanih je bilo še nadaljnjih

13 naprav za meritve torne sposobnosti voznih površin in letaliških stez (spet samo po Evropi), med katerimi so bile 4 statične naprave.

Za upravljanje 15 naprav so bile v okviru CEN (Evropskega komiteja za standardizacijo) pripravljene tehnične specifikacije, kar že samo po sebi kaže na posebnost tega področja. Hkrati oziroma posledično tako ne obstaja standardna naprava, s katero bi merili po celem svetu.

Zanimivo je videti, koliko naprav uporabljajo po posameznih državah (ki so sodelovale pri anketiranju v že omenjenem projektu TYROSAFE) in katere naprave so najpogosteje uporabljane. Več podrobnosti o uporabi naprav je popisanih v [15].



Slika 12: Najpogostejše merilne naprave v državah EU [15]

Figure 12: The most used skid resistance measuring devices in EU countries [15]

Slika 12 prikazuje 5 najpogosteje uporabljenih merilnih naprav v državah EU: nihalno SRT (statična meritev), SCRIM, GripTester, BV11 in SRM. Pri pregledu je bilo ugotovljeno, da v 5 državah izvajajo meritve s po 1 napravo, v 5 državah s po 2 napravama, v 4 državah s po 3 napravami in v eni državi s 4 napravami.

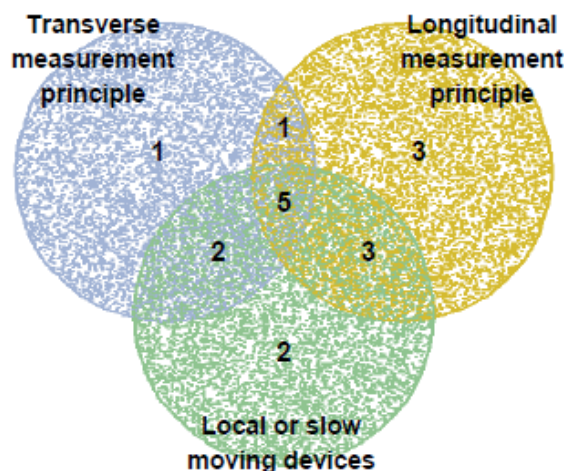
Če ne štejemo statične meritve s prenosnim nihalom, je naprava SCRIM najbolj množično uporabljena naprava za meritve torne sposobnosti v Evropi. Že v Veliki Britaniji jih je operativnih več kot 15, tam vsako pomlad izvedejo tudi t.i. primerjalni test (*Correlation trials*) njihovih naprav. Po podatkih proizvajalca je bilo pred letom 2015 prodanih 7 naprav v Italijo, 8 v Španijo, 4 v Francijo, 3 v Belgijo in po ena na Portugalsko in v Slovenijo.



Slika 13: Primerjalne meritve z napravami SCRIM v Veliki Britaniji leta 2001 (arhiv ZAG)

Figure 13: SCRIM Correlation trials in UK, year 2001 (photo ZAG)

Slika 14 pa kaže porazdelitev števila naprav po državah EU, glede na princip delovanja.



Slika 14: Najpogostejše merilne naprave v državah EU po principu delovanja [15]
Figure 14: The most used measuring principles in EU countries [15]

Zaradi tako velikega števila različnih merilnih naprav, ki:

- so sestavljene vsaka na svoj način,
- merijo po različnih principih,
- pri meritvah uporabljajo različne vertikalne obremenitve, različne pnevmatike in podobno,

smo na nivoju EU postavljeni pred velik problem: za podajanje istega »števila« kot mere torne sposobnosti vozni površin je potrebna harmonizacija merilnih naprav.

ASTM E 2100 [16] pojmuje harmonizacijo merilnih metod kot prilagoditev odčitkov različnih merilnih naprav pri meritvah specifičnega parametra z namenom poročanja o parametru z isto mero.

Na področju torne sposobnosti vozni površin je bilo v zadnjih dveh desetletjih in pol izvedenih kar nekaj večjih poskusov harmoniziranja merilnih naprav, kar že samo po sebi pričča o pomembnosti te teme znotraj prometne varnosti in gospodarjenja z vozišči v mednarodnem prostoru.

Začetek teh obsežnih primerjalnih meritev z različnimi mednarodnimi napravami je predstavljal mednarodni eksperiment za primerjavo in harmonizacijo naprav za meritev grobe hrapavosti in torne sposobnosti vozni površin svetovnega združenja za ceste PIARC (Permanent International Association of Road Congress oziroma World Road Association) [17] v prvi polovici 90-ih prejšnjega stoletja. Poskusi z 28-imi mednarodnimi napravami za meritev torne sposobnosti in 14-imi napravami za meritev grobe hrapavosti so nakazali smer harmoniziranja, to je iskanje skupne skale z enotno mero, ki bi vključevala tako torno sposobnost kot tudi grobo hrapavost vozne površine.

Nadaljnji poskusi so (bili) v Evropi še vsaj projekti HERMES (Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance) iz leta 2006, TYROSAFE »Tyre and Road Surface Optimisation for Skid resistance and Further Effects« iz let 2008 do 2010 [18], ter ROSANNE »Rolling resistance, Skid resistance, AND Noise Emission measurement«, ki poteka med letoma 2015 in 2017 [19]. V Severni Ameriki pa lahko mednje štejemo vsaj NASA Friction Workshops na Wallops Flight Facility, in Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) Pavement Surface Properties Consortium Rodeo Reports.

4.3 Meritve torne sposobnosti v Sloveniji

Torno sposobnost na državnih cestah v upravljanju DRSI in DARS d.d. sistemsko spremljamo že dlje časa, v primeru DRSI že desetletje in pol, in sicer v letnih ciklikih. V tem primeru so meritve izvedene za namene gospodarjenja z vozišči, in v njegovem okviru za zagotavljanje podatkov o stanju državnega cestnega omrežja na t.i. mrežnem nivoju. Za te meritve uporabljamo merilno napravo SCRIMTEX (slika 15).



Slika 15: Naprava SCRIMTEX med meritvami (arhiv ZAG)
Figure 15: SCRIMTEX device during measurements (photo ZAG)

Naprava SCRIMTEX je vrste SCRIM oziroma angl. *Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine*, na kateri je montiran tudi laserski merilec grobe hrapavosti vozne površine (*texture*). Napravo od 1970ih proizvaja en sam proizvajalec, W.D.M. Limited iz Bristola, Velika Britanija, po licenci današnjega angleškega inštituta TRL (*UK Transport Research Laboratory*), oziroma takrat še Road Research Laboratory.

Naprava meri koeficient bočnega trenja s pomočjo posebnega merilnega kolesa, z ozko pnevmatiko in brez profila (slika 16). Merilni mehanizem je montiran na desni bok nosilnega kamiona.



Slika 16: Pnevmatika merilnega kolesa (arhiv ZAG)
Figure 16: SCRIM tyre (photo ZAG)

Prosto kotaleče kolo je vpeto na ogrodje merilnega mehanizma pod kotom 20° glede na smer vožnje tako, da omogoča merjenje sile bočnega trenja v desni kolesni sledi (v Veliki Britaniji in drugod, kjer vozijo po levi strani vozišča, je mehanizem montiran na levi bok kamiona).

Med meritvami spustimo merilno kolo na vozno površino. V vertikalni ravnini je kolo obremenjeno z znano obtežbo. Merilno kolo začne kotaleče drseti po vozni površini, merilne celice pa zaznavajo bočno silo, ki ob tem deluje na kolo in vertikalno obremenitev le-tega. Tik pred mernim kolesom s kontroliranim curkom vode močimo vozišče, s čimer simuliramo neugodne razmere na vozišču.

Pred šobo za močenje je vpet laserski merilec (senzor), s katerim sočasno merimo še grobo hrapavost vozne površine.

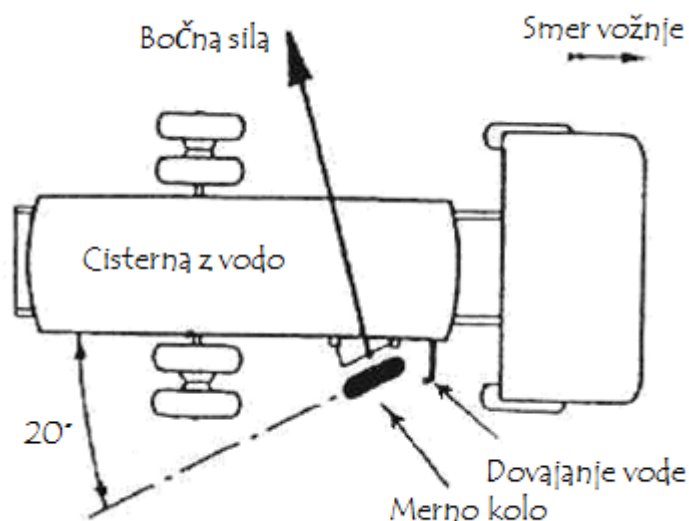
Odpor proti drsenju podajamo v brezdimenzijskih enotah SR, glede na hitrost meritve in temperaturo vozne površine pa jih pretvorimo na korigirane enote SR(V,T), s čimer postavljamo rezultate na skupni imenovalac ter omogočimo medsebojno primerjavo vseh rezultatov meritev stanja vozne površine. Hrapavost podajamo v mm.

Običajni hitrosti merjenja sta 50 km/h in 80 km/h, izvedene pa so v desni kolesni sledi posameznega prometnega pasu v smeri vožnje.

Pri hitrosti vozila 80 km/h naprava beleži vse parametre torne sposobnosti v enakomernih intervalih po 0,0315 m. Posamične vrednosti SR ovrednotimo na intervalu (vzorčnem odseku) dolžine 5, 10 ali 20 metrov.

Naprava torej z ugotavljanjem bočne sile meri torno sposobnost vozne površine, z laserskim senzorjem pa njeno grobo hrapavost.

Osnovni princip delovanja naprave [20] je prikazan na naslednji sliki.



Slika 17: Princip meritev z napravo SCRIMTEX [20]

Figure 17: Scheme of principle of measurements with a SCRIMTEX device [20]

Osnovni deli naprave so:

- merilni mehanizem torne sposobnosti vozišč z merilnim kolesom,
- laserski merilec grobe hrapavosti vozne površine,

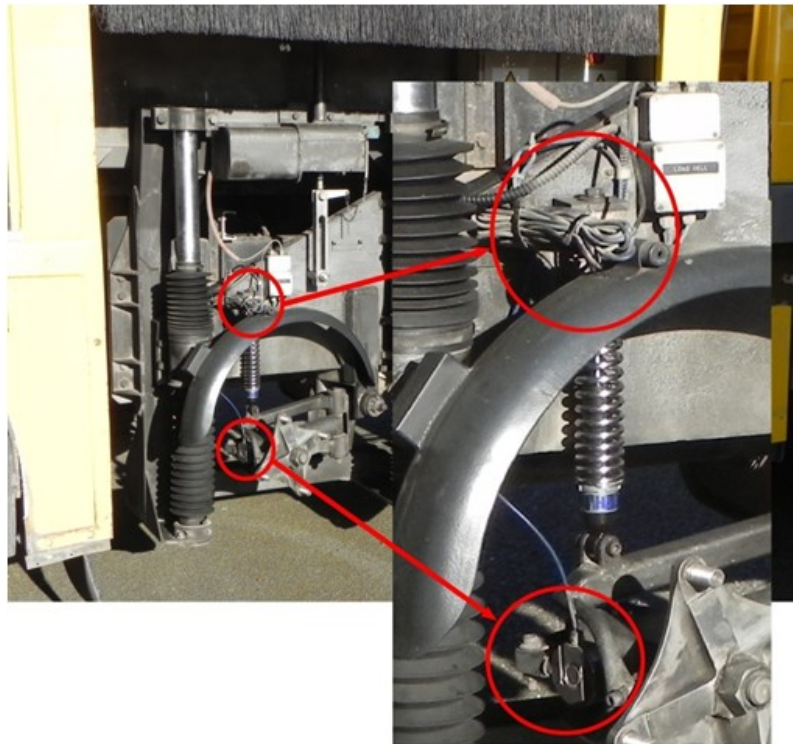
- merilca temperature zraka in vozne površine,
- sistem za dovajanje vode pred merno kolo,
- elektronski zajemnik s prikazovalnikom merjenih podatkov.

V nadaljevanju je prikazanih nekaj delov naprave.



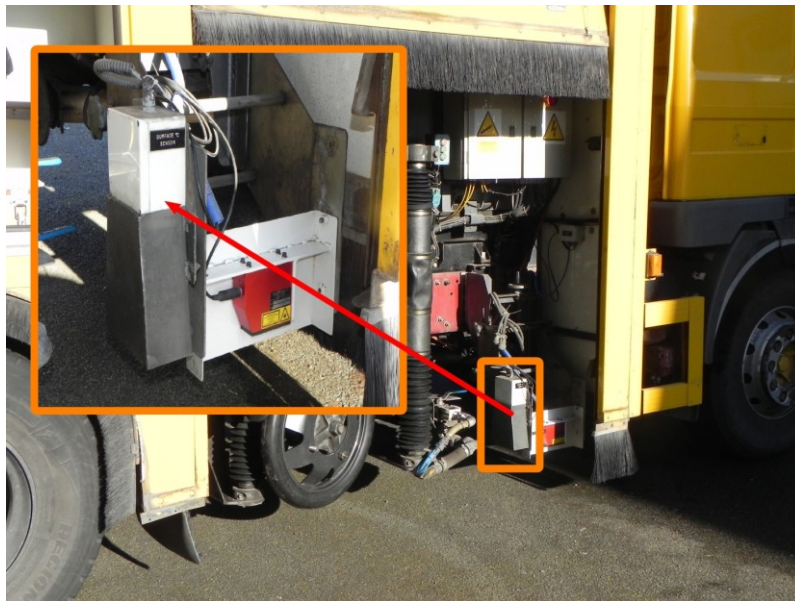
Slika 18: Merilni mehanizem naprave (arhiv ZAG)

Figure 18: Scheme of principle of measurements with a SCRIMTEX device (photo ZAG)



Slika 19: Merilni celici bočne sile (spodaj) in vertikalne obremenitve (zgoraj) (arhiv ZAG)

Figure 19: Load cells for side-way force (lower side) and vertical load (upper side) (photo ZAG)



Slika 20: Infrardeči senzor za meritve temperature vozne površine (arhiv ZAG)
Figure 20: Infrared sensor for measurements of pavement surface temperature (photo ZAG)



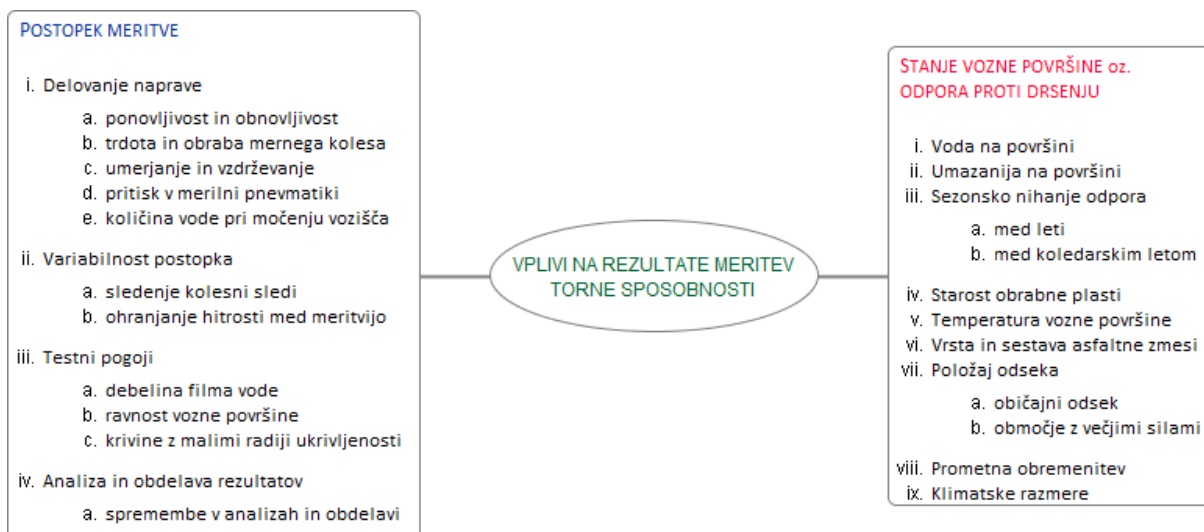
Slika 21: Laserski merilec grobe hrapavosti vozne površine (arhiv ZAG)
Figure 21: Laser sensor for macrotexture measurements (photo ZAG)

S kasnejšim dograjevanjem smo osnovno napravo nadgradili z mehanizmom za določanje kota zasuka volana, ki nam omogoča določitev radija ukrivljenosti merjenih cest; z merilno celico vertikalne obremenitve na merilno kolo; in z GPS modulom za lociranje položaja med meritvami.

4.4 Vplivi na torno sposobnost

V splošnem delimo vplive na rezultate meritev torne sposobnosti z napravami vrste SCRIM v dve večji skupini (slika 22):

- na dejansko stanje vozne površine in njeno torno sposobnost v trenutku meritev, in
- na številne vplive na samo izvedbo meritev.



Slika 22: Vplivi na rezultate meritev z napravami SCRIM
Figure 22: Factors affecting the SFC measurements using a SCRIM device

Med parametre, ki vplivajo na stanje vozne površine oziroma njeno torno sposobnost štejemo ([21],[22]):

- prisotnost vode, ki ima izredno velik vpliv,
- umazanija na vozni površini, ki je običajno bolj kratkoročne narave,
- sezonsko nihanje torne sposobnosti, ki se dogaja med leti in pa tudi med koledarskim letom. V poletnih/toplih mesecih je stanje slabše in takrat tudi izvajamo meritve,
- starost obrabne plasti, z višjo starostjo so izpostavljena kamnita zrna in njihove konice v obrabnozaprskih plasteh bolj obrabljena,
- temperaturo vozne površine,
- vrsto in sestavo asfaltne zmesi, ki je vgrajena v obrabno plast,
- položaj cestnega odseka, na običajnem ravnem odseku brez priključitev je obraba vozne površine bistveno manjša od obrabe v križišču, na področju večjih sil zaradi zaviranja ali pospeševanja vozil,
- prometna obremenitev, ki ima tudi izredno velik vpliv, ter
- klimatske razmere, ki so lahko ostrejšje in pomagajo s svojim delovanjem (ostre zime, veliko padavin ipd.) k vzpostavljanju ustrezne torne sposobnosti ali pa so blage (toplo podnebje z malo padavin ipd.) in torne sposobnosti slabšajo.

Med vplive na postopek izvedbe meritev pa štejemo ([21],[23]):

- delovanje naprave, ki je v največji meri odvisno od njenega vzdrževanja, spremljanja stanja, umerjanja glavnih merilnih delov. Sem štejemo trdoto in obrabo mernega kolesa, pritisk v mernem kolesu, umerjanja merilnih celic in vzdrževanja naprave, količino vode pri močenju vozišča, zagotavljanje ponovljivosti (repeatability) in primerljivosti (reproducibility) meritev ipd.),

- variabilnost samega postopka meritve (sposobnost voznika, da sledi kolesni sledi, da ohranja iste hitrosti med meritvijo ipd.),
- testne pogoje (debelina filma vode, s katero močimo vozišče, (ne)ravnost vozne površine, obračanje vozila med meritvijo – v krivinah z malimi radiji ukrivljenosti),
- variabilnost pri analizi in obdelavi rezultatov meritev.

4.5 Nadgradnje slovenske merilne naprave in raziskave različnih vplivov na rezultate meritev v Sloveniji

4.5.1 Nadgradnje slovenske naprave

Kot vsaka druga naprava se tudi slovenski SCRIMTEX stara in je potrebna obnove ali nadgradenj. Sčasoma je potrebno zamenjati posamezne merilne elemente ali sklope zaradi obrabe ali dotrajanosti. Glede na sprotne ugotovitve smo nekajkrat uvedli oziroma napravo nadgradili s senzorji/merilnimi napravami, s pomočjo katerih sedaj pridobivamo kakovostnejše rezultate meritev, kot je bilo mogoče z originalno napravo. Zanimivo, z našimi aktivnostmi nismo prav nič zaostajali za proizvajalcem, ki je svoje modele naprave seveda tudi sproti izboljševal in nadgrajeval.

V letu 2004 smo izvedli večjo skupino posegov in napravo izboljšali predvsem z naslednjo opremo:

- merilcem vertikalne sile,
- merilcem kota zasuka vozila pri vožnji v horizontalni krivini,
- merilcem temperature zraka,
- zajemalnikom podatkov iz različnih merilnih naprav, in
- prenosnim računalnikom s programsko opremo za spremljanje meritev in shranjevanje rezultatov.

Z merilcem vertikalne sile smo dosegli bolj kakovostno določanje odpora proti drsenju. Do tedaj smo koeficient bočnega trenja pridobivali na podlagi podatka o konstantni vertikalni obremenitvi merilnega kolesa in ob predvidevanju, da sestav merilnega mehanizma preprečuje znatna nihanja te obremenitve. A na naših cestah temu ni tako. Še posebej za ceste nižjega razreda (R2, R3, RT) je značilno, da so projektirane s horizontalnimi krivinami majhnih radijev ukrivljenosti, da si ti radiji pogosto sledijo in se menjajo (desna krivina v levo in obratno), da je to pogosto kombinirano tudi z vertikalnimi radiji. Vse to pa znatno vpliva na nihanje vertikalne obremenitve merilnega kolesa. Uvedba merilca je torej pomenila velik kakovostni skok na boljše in bistveno zmanjšanje vpliva spreminjanja vertikalne obremenitve na rezultate meritev.

S pomočjo merilca kota zasuka smo vpeljali podajanje radija ukrivljenosti merjenega odseka ceste. Na podlagi umerjanja tega dela naprave in s programsko opremo je bilo izvedeno pretvarjanje merjenega kota zasuka v radij ukrivljenosti ceste. Naprava omogoča določanje radijev do 200m, manj natančno pa še do 300m. To so pa tudi radiji, ki lahko precej vplivajo na rezultate meritev. Z merilcem kota nam je bil omogočen začetek raziskav o vplivu radijev horizontalne ukrivljenosti na rezultate meritev.

Pri meritvah zajemamo tudi podatek o temperaturi zraka in vozne površine. Na podlagi korelacij iz literature [22] korigiramo rezultate tudi glede na temperaturo vozne površine (na osnovno temperaturo vozne površine 20°C).

Ostale nadgradnje so pomenile osvežitev različnih senzorjev oziroma posodobitev zajemanja podatkov in hitrejše obdelovanje podatkov med meritvami, na splošno rečeno, bolj zanesljivo in kakovostno pridobivanje podatkov o stanju vozišč.

Nazadnje smo napravo nadgradili tudi z GPS sprejemnikom za modernejše lociranje rezultatov meritev.

4.5.2 Iskanje vplivov na rezultate meritev v Sloveniji

Kot pri drugih meritvah, velja tudi tule: rezultate meritev lahko primerjamo, če so bili pridobljeni v enakih ali zelo podobnih pogojih. Če se pogoji na katerem vplivnem področju spreminjajo, je potrebno odčitke/rezultate meritev postaviti na skupno osnovo.

V primeru meritev torne sposobnosti dobimo z različnimi korekcijami *korigiran* $SR - SR_{kor}$. Največkrat korigiran tak SR označimo s količinami, kjer smo uvedli korekcijo, npr. $SR(V,T)$ pomeni, da smo uvedli korekcijo zaradi hitrosti in korekcijo zaradi temperature.

Zakaj sploh pride do korekcij?

Med meritvami je predvidena čimbolj enotna, če ne že kar konstantna hitrost vožnje. To je v realnosti praktično nemogoče doseči. Nihanja v hitrosti meritev so najpogosteje posledica prilagajanja hitrosti:

- v krivinah (zaradi geometrije ceste),
- zaradi zgoščenega prometa na cesti,
- zaradi različnih prečkanj (npr. nivojsko prečkanje železnice),
- zaradi ustavljanj v območjih križišč, ovir na cesti in ob nenadnih dogodkih (npr. vozilo se ob kratki razdalji do merne naprave na hitro vključi iz stranske ceste v promet, med njegovim pospeševanjem pa je potrebna tudi prilagoditev hitrosti z mernim vozilom).

Vpliv variiranja hitrosti pri meritvah in korekcije zaradi hitrosti

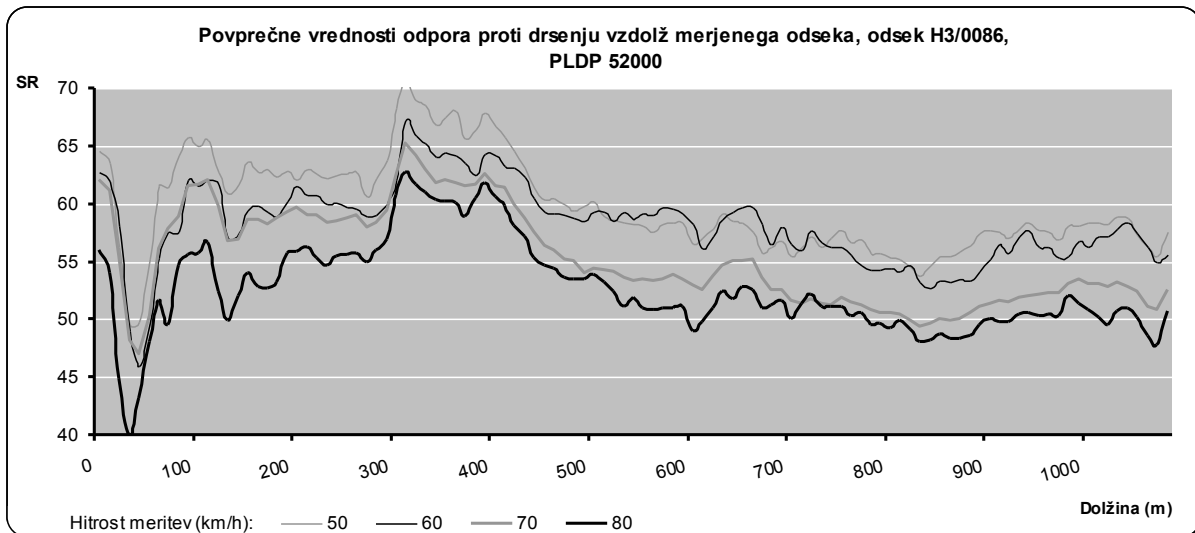
Do leta 2005 smo uporabljali korekcijo zaradi hitrosti iz literature [21]. V tem letu pa smo še sami na izbranih cestnih odsekih ugotavljali vplive spremembe hitrosti med meritvami [24]. V ta namen smo izbrali nekaj odsekov v bližini Ljubljane, na katerih smo merili torno sposobnost:

- pri hitrostih od 10 do 50 km/h, v korakih po 10 km/h,
- na enem odseku smo merili pri hitrostih od 50 do 80 km/h, prav tako v korakih po 10 km/h.

Odseke smo izbrali:

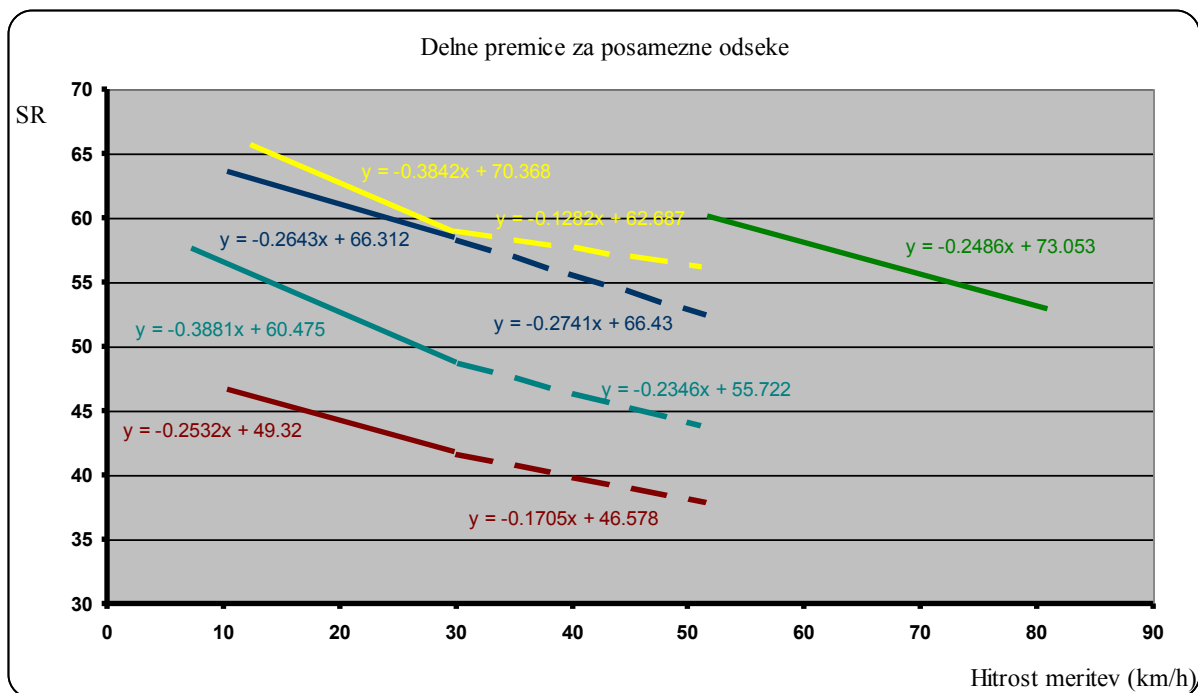
- na štirih kategorijah cest (G2, R3, HC in mestni cesti),
- na običajnih asfaltnih vozni površinah v Sloveniji in
- s prometnimi obremenitvami širokega razpona (PLDP od 7090 do 52000) ter z vizualno homogeno obrabno plastjo vzdolž celotnega testnega polja.

Slika 23 prikazuje rezultate meritev na enem izmed odsekov.



Slika 23: Torna sposobnost vzdolž odseka H3/0086, pri hitrostih od 50km/h do 80km/h [24]
Figure 23: Skid resistance on the H3/0086 section, measured at different speeds between 50 km/h and 80 km/h [24]

Z več postopki v analizi smo prišli do povezav med hitrostmi meritev in torno sposobnostjo za vse testne odseke. Ločeno smo ugotovili sovisnosti za hitrosti med 10 km/h in 30 km/h, med 30 km/h in 60 km/h ter med 60 km/h in 80 km/h (slika 24).



Slika 24: Odvisnosti torne sposobnosti od hitrosti meritev [24]
Figure 24: Influence of operating speeds on skid resistance measurement results [24]

Za merjene odseke in za merjene razpone hitrosti smo nazadnje ugotovili da:

- za hitrosti meritev med 10km/h in 30km/h, torna sposobnost naraste za 0.32 enote SR za vsak 1km/h nižjo hitrost meritve od hitrosti 30km/h,
- za hitrosti meritev med 30km/h in 60km/h, torna sposobnost naraste za 0.20 enote SR za vsak 1km/h nižjo hitrost meritve od hitrosti 60km/h,
- za hitrosti meritev med 60km/h in 80km/h, torna sposobnost naraste za 0.25 enote SR za vsak 1km/h nižjo hitrost meritve od hitrosti 80km/h.

Iskanje vpliva v vozno površino vgrajenih asfaltnih zmesi

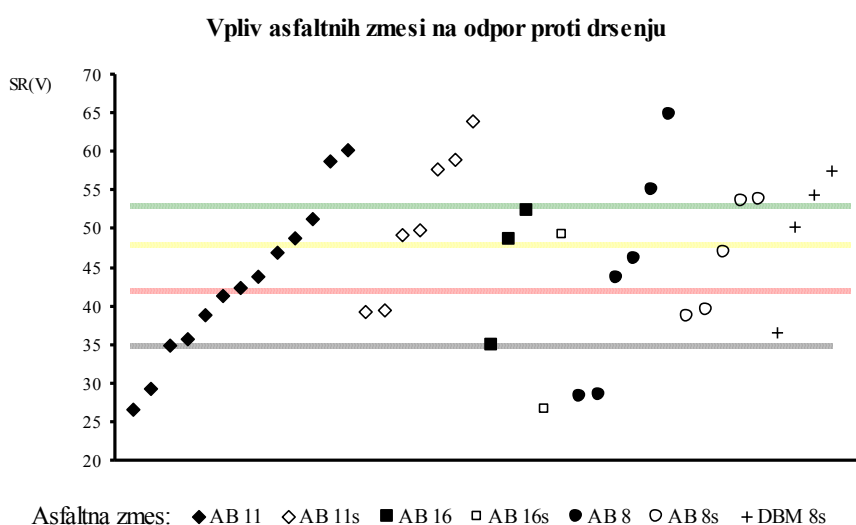
Še pred tem smo ugotavljali morebitne vplive v vozno površino vgrajenih asfaltnih zmesi. Od septembra 2001 do septembra 2002 smo izvajali meritve tornih lastnosti vozni površin na petnajstih odsekih v bližini Ljubljane, desetkrat v obdobju približno enega leta, s poudarkom na mesecih od aprila do septembra. Odseki so bili izbrani tako, da smo izvedli meritve na večini kategorij cest, na običajnih asfaltnih vozni površinah v Sloveniji in s prometnimi obremenitvami širokega razpona [25].

Pri analizah smo se osredotočili na:

- gradbene pogoje - vrsto obrabne plasti, sestavo, vrsto vgrajenih zmesi zrn in starost obrabnih plasti, ter
- zunanje vplive - prometna obremenitev in vremenski oziroma klimatski pogoji.

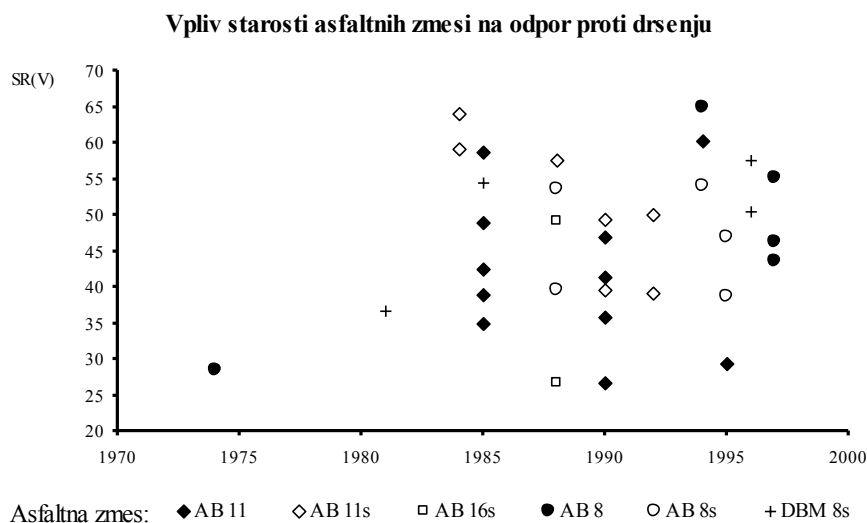
Glede na rezultate bi lahko domnevali, da največji raztros oz. najbolj heterogeno torno sposobnost vozne površine povzroča asfaltna zmes AC 11 (v takratni nomenklaturi AB 11), najbolj homogeno pa AC 16 (takrat AB 16). A hkrati smo ugotovili, da je na največ testnih poljih v vezano zaporno-obrabno plast vgrajena prva asfaltna zmes, v najmanj pa druga. Iz tega smo sklepali, da na heterogenost še največ vpliva število podatkov v posamezni skupini asfaltnih zmesi. Oznaka DBM 8s je v sedANJI nomenklaturi postala SMA 8.

Slika 25 prikazuje ugotovljene razpone torne sposobnosti na posameznih asfaltnih zmesih.



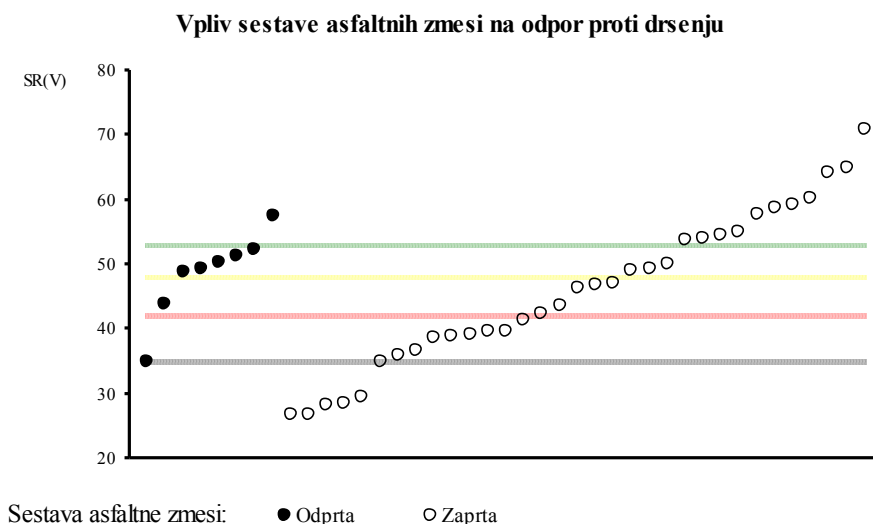
Slika 25: Vpliv vgrajene asfaltna zmesi na torno sposobnost [25]
Figure 25: Skid resistance of asphalt mixtures on selected test sections [25]

Poleg splošnega vpliva asfaltnih zmesi na torno sposobnost smo preverjali tudi starost asfaltnih zmesi, vgrajenih v testne odseke. Podatke o letu vgradnje smo dobili iz Banke cestnih podatkov (BCP). Raztros podatkov je bil prevelik, da bi lahko ugotovili spreminjanje torne sposobnosti s starostjo (slika 26).



Slika 26: Vpliv starosti asfaltnih zmesi na torno sposobnost [25]
Figure 26: Skid resistance vs. age of asphalt mixtures on selected test sections [25]

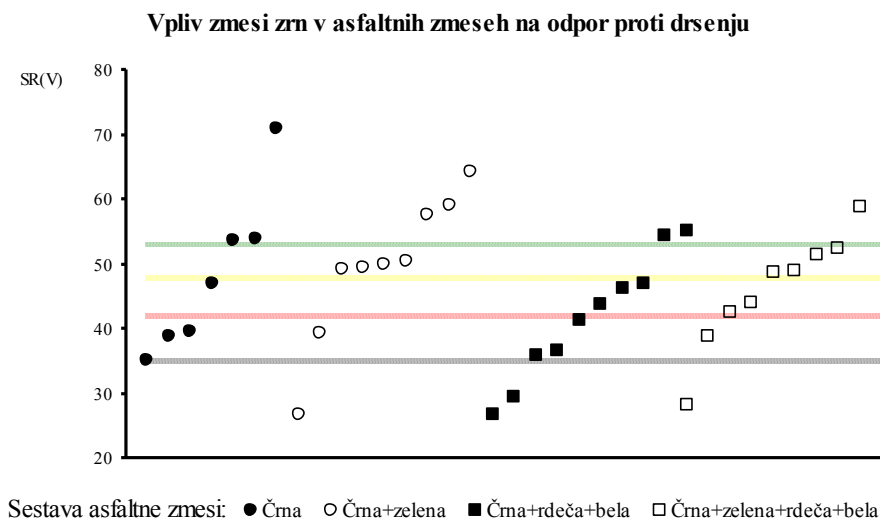
Glede na dobljene rezultate smo šli še korak dlje in smo z vizualno oceno določili sestavo asfaltnih zmesi (odprta/zaprta). Tudi sestava asfaltnih zmesi ni pokazala posebnih razlik v vplivu torne sposobnosti. Pri analizi smo v obeh primerih ugotovili povprečne vrednosti torne sposobnosti v razredih stanj od zelo dobro do zelo slabo. Pri tem je potrebno upoštevati tudi, da smo na testnih poljih ugotovili odprto sestavo asfaltne zmesi v precej manjšem številu kot zaprto. Rezultate prikazuje slika 27.



Slika 27: Vpliv sestave asfaltnih zmesi na torno sposobnost [25]
Figure 27: Skid resistance vs. grading (open/close) of asphalt mixtures on selected test sections [25]

Nič kaj boljše rezultate nismo dobili niti po tem, ko smo jih ovrednotili na podlagi vsebnosti različnih zmesi zrn in njihovega porekla. Na naslednji sliki so uporabljene oznake za zrna, dobavljena iz različnih lokacij:

- črna: po laboratorijskih preiskavah kakovostna zrna iz kamnoloma Klöch,
- zelena: po laboratorijskih preiskavah kakovostna zrna iz različnih lokacij (Kamna gorica, Fužinski Benkovac),
- rdeča: iz kamnoloma Bleiberg,
- bela: prodnata oziroma karbonatna zrna slabše kakovosti.



Slika 28: Vpliv zmesi zrn na torno sposobnost [25]
Figure 28: Skid resistance vs. hard aggregate on selected test sections [25]

Zopet smo opazili povprečne vrednosti torne sposobnosti v razredih stanj od zelo dobro do zelo slabo (vrednosti so ugotovljene na vseh testnih poljih, kjer so v asfaltnih zmesih uporabljene kombinacije zrn, prikazane na sliki). Celó v zmesih z vgrajenimi manj kakovostnimi karbonatnimi zrní smo ugotovili najširši razpon torne sposobnosti.

Ne glede na vse v tej nalogi predstavljene in druge, v zgoraj navedeni preiskavi izvedene analize, smo za testna polja in različne vplive ugotavljali kar najširši razpon torne sposobnosti. Iz rezultatov takratnih meritev tako ni bilo možno izpeljati močnih povezav med torno sposobnostjo vozniš površin in različnih parametrov, ki potencialno vplivajo nanjo.

Vpliv majhnih radijev ukrivljenosti

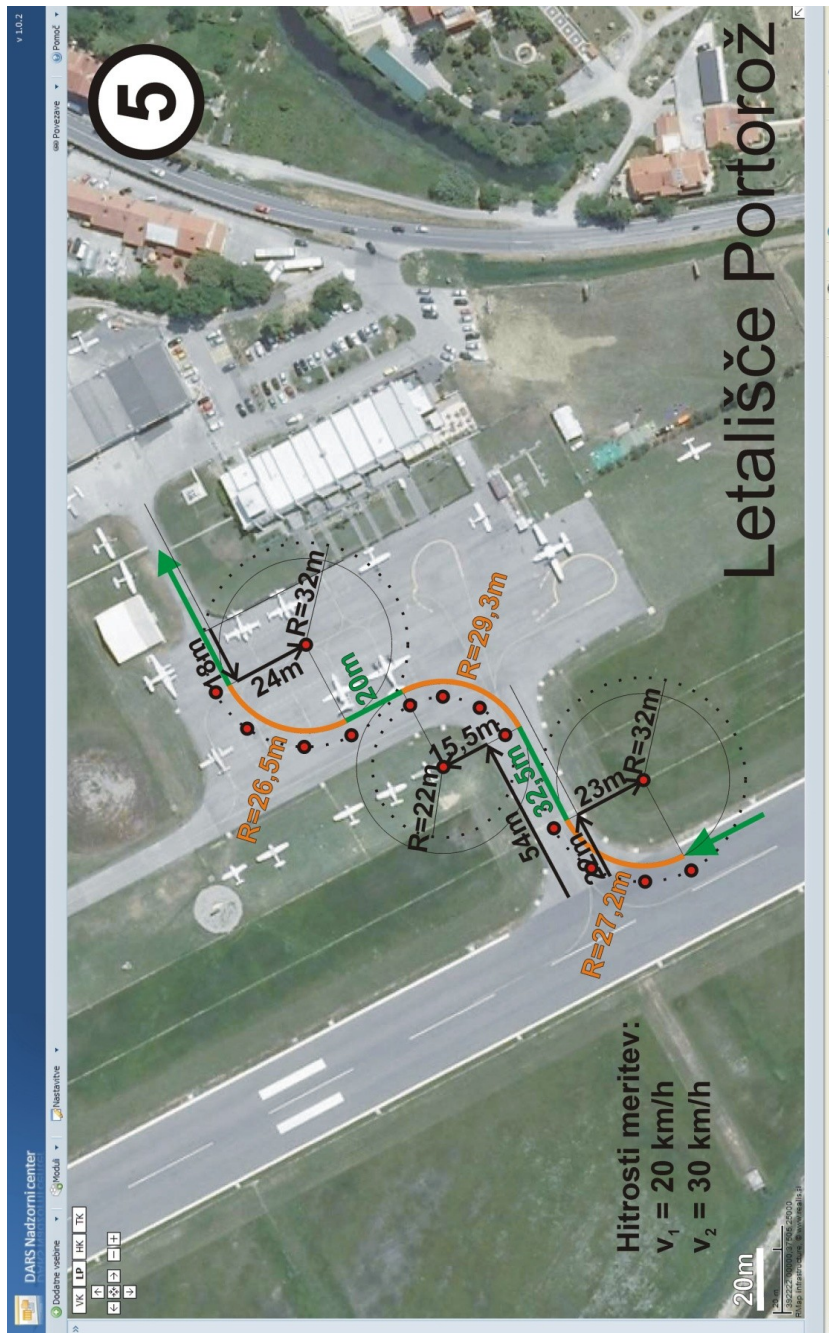
Kljub vsem raziskavam vplivov in vloženemu trudi pa se kaže kot najtrši oreh iskanje vpliva horizontalnih krivin oziroma majhnih radijev ukrivljenosti na torno sposobnost.

Nekatere aktivnosti v zvezi s tem vplivom smo izvedli že v maju 2008 v Centru varne vožnje v Teesdorfu (Avstrija) in oktobra 2011 v Centru varne vožnje na Vranskem. Tik pred poletjem 2012 smo na letališču Portorož po posebnem programu izvedli trenutno zadnje meritve za določitev vpliva cestnih krivin na izmerjeno torno sposobnost s slovenskim vozilom SCRIMTEX.

Pri tem smo uporabljali dve vozni površini: vzletno-pristajalno stezo (VPS) in letališko ploščad (LP). V okviru možnosti, ki so nam jih nudile dimenzije obeh vozni površin, smo začrtali trase tako, da smo:

- imeli na razpolago nekaj dolgih lokov z definiranimi radiji,
- lahko merili torno sposobnost pri prehodih iz krajših levih v krajše desne krivine in obratno,
- z vožnjo v krogih ustvarili pogoje, ki so podobni pogojem vožnje v krožiščih.

Primer trase je prikazan na naslednji sliki.



Slika 29: Primer trase meritev na letališču Portorož [25]
 Figure 29: Example of measurement route at the Portorož airport [25]

Rezultati meritev (vir: interno poročilo o meritvah in vplivu krivin na merjenje torne sposobnosti za DRSC) so pokazali, da je izmerjena torna sposobnost pri zavijanju v levo skoraj vedno večja od izmerjene torne sposobnosti pri zavijanju v desno. Rezultati meritev so odvisni od radijev krivin in od hitrosti voženj. Ugotovili smo razlike torne sposobnosti med meritvami v premi in v krivinah, ki jih smiselno uporabljamo pri vožnjah v krožiščih na državnih cestah, kjer gre za zavijanje v levo in za krožno vožnjo.

4.6 Raziskave nekaterih vplivov na rezultate meritev v tujini

V tem poglavju se omejujem na pridobljene informacije o raziskavah, ki so potekale v nekaterih državah, kjer meritve torne sposobnosti izvajajo (tudi) z napravami vrste SCRIM ali njej podobnim (predvsem SKM). Omejujem se tudi na informacije o raziskavah vpliva prečnega in vzdolžnega nagiba ter na horizontalne krivine v kombinaciji z obema nagiboma.

4.6.1 ZDA

V ZDA so meritve torne sposobnosti do sedaj izvajali z napravami, ki delujejo po principu blokiranega mernega kolesa. Šele v zadnjem času uvajajo kontinuirne meritve in za začetek veliko energije vlagajo v raziskave o vplivih na meritve. Objavljeni izsledki raziskav še ne obravnavajo vplivov nagibov na meritve z napravo SCRIM, so pa v letih 2010 in 2011 preiskovali ta vpliv na delovanje manjše naprave, GripTester-ja (slika 8). Naprava sicer tudi ne meri koeficienta bočnega trenja (gl. poglavje 4.2.3) kot naprava SCRIM, pač pa koeficient vzdolžnega trenja (gl. poglavje 4.2.2).

V raziskavi [26] o vplivih:

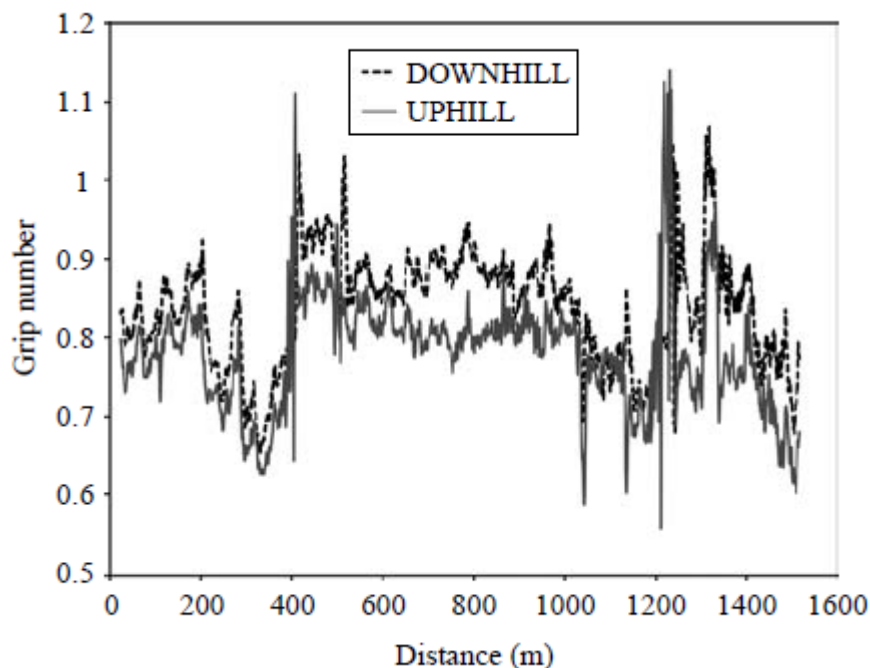
- vzdolžnega nagiba,
- debeline filma vode za močenje površine pred merilnim mehanizmom, in
- hitrosti meritev

so se osredotočili na rezultate meritev z napravo GripTester.

Da bi preverili vpliv, so avtorji izvedli večkratne meritve na isti dan in v kratkem časovnem intervalu. Poskus je potekal po popolnoma enaki poti izbranega cestnega odseka večjega vzdolžnega nagiba, enkrat s 5 ponovitvami po klancu navzgor, drugič pa s 5 ponovitvami navzdol. Vse meritve so bile izvedene s hitrostjo 64 km/h (40 mph; pri nas meritvem izvajamo pri 50 km/h in 80 km/h) in z 0.5 mm debeline filma vode (kolikor teoretično znaša tudi pri slovenskem SCRIMTEXu).

Rezultati terenskih meritev so avtorjem potrdili, da je vzdolžni nagib eden od dejavnikov, ki lahko vplivajo na meritve.

Slika 30 prikazuje primerjavo povprečja meritev, v smereh navzdol in navzgor. V splošnem so rezultati po klancu navzdol višji od rezultatov navkreber.



Slika 30: Meritve z Griptester-jem po hribu navzgor in navzdol [26]
Figure 30: Average GripTester measurements at both uphill and downhill directions [26]

4.6.2 Nemčija in SKM

V Nemčiji so se pri svojih raziskavah osredotočili na meritve torne sposobnosti v krivinah, nič pa še ne neposredno na vpliv vzdolžnega in prečnega nagiba na sam odpor.

Torno sposobnost na zveznih cestah merijo z večjim številom naprav SKM (slika 10), ki so bile razvite na osnovi naprave SCRIM (slika 15). V bistvu je princip delovanja enak, napravi sta si zelo podobni, kot je tudi iz slik razvidno. Pri obeh je prosto kotaleče kolo vpeto na ogrodje merilnega mehanizma pod kotom 20° glede na smer vožnje, pri obeh naprava meri koeficient bočnega trenja v desni kolesni sledi. SKM ima vgrajenih še nekaj merilnih sistemov za spremljanje in meritev parametrov, ki se v Nemčiji uporabljajo za korigiranje rezultatov.

Za napravo SKM je pripravljena CEN tehnična specifikacija, podobno kot za napravo SCRIM. Tam je zapisano, da se nekatere odseke (s horizontalnimi radiji manjšimi od 35 m) izloči iz splošne analize rezultatov meritev. Zapisano je še, da je potrebno tovrstne odseke cest preveriti posebej, ni pa navedeno, kako oz. po kakšnem postopku.

Informacije v nadaljevanju niso bile objavljene, so pa pridobljene z osebno komunikacijo s strokovnjakom za torne lastnosti z inštituta BAST.

V zvezi s horizontalnimi radiji so okoli let 2004 in 2008 na inštitutu BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen izvedli dve raziskavi, katerih rezultate so uporabili za posodobitev zgoraj navedene tehnične specifikacije za napravo SKM (BAST poseduje in upravlja z edinima referenčnima napravama SKM). Po teh raziskavah cestne odseke s horizontalnimi radiji, manjšimi od 100 m, izvajajo pri nižjih hitrostih kot običajno, npr. pri 40 km/h.

V prvem projektu so se bolj ali manj ukvarjali s silami na merilno pnevmatiko v krivinah – centrifugalno silo in silo, ki se pojavi zaradi nagiba naprave, hkrati z njo pa tudi nagiba merilnega mehanizma. Ugotovili so, da imata sili nasprotni smeri in da se v vožnji skozi ovinek približno kompenzirata.

V drugem projektu so med drugim ugotovili, da imajo zaradi individualnih vplivov nekatere naprave omejeno zmogljivost meritev skozi desne krivine. V levih krivinah je zaradi centrifugalne sile, ki povečuje vertikalno obremenitev pnevmatik, pričakovana večja obraba izpostavljenih zrn v desni kolesni sledi. Na tem mestu je posledično ugotovljena manjša torna sposobnost, hkrati pa je ta kolesna sled ravno tista, v kateri se torna sposobnost meri.

4.6.3 Velika Britanija

Velika Britanija je domovina naprave SCRIM, tam so jo domislili (inštitut TRL) in tam jo proizvajajo (W.D.M. Limited). Zato je razumljivo, da so na TRL tudi izvedli najboljše raziskave različnih vplivov tako na torno sposobnost vozišč kot tudi na meritev torne sposobnosti.

Kljub temu je na temo vpliva prečnega in vzdolžnega nagiba na voljo le peščica informacij. Te, podane v nadaljevanju, sem pridobil tudi z osebno komunikacijo s strokovnjakom za torne lastnosti z inštituta TRL.

V prvi, starejši študiji, so bili raziskovalci osredotočeni na:

- teoretično študijo verjetnih vplivov sprememb v vertikalni obremenitvi merilnega kolesa in drsnega kota kolesa glede na smer meritev, ko merilno vozilo meri po krivini,
- presoja novih konstrukcijskih elementov merilnega mehanizma: novih ležajev, s katerimi se merilni mehanizem prosto giblje po vertikalnih vodilih, in bolj prilagodljiva, fleksibilna vrsta manšete za zaščito gredi in ležajev. Prejšnje študije so že nakazale, da novi konstrukcijski elementi »odstranjujejo« mehaniški stik med merilnim kolesom in šasijo nosilnega kamiona, ki vpliva na vertikalno obremenitev kolesa,
- meritve po javnih cestah za pridobitev informacij za raziskavo vpliva spreminjajočega prečnega nagiba in krivin na vertikalno obremenitev merilnega kolesa, in njeno delovanje v primerjavi s teoretičnimi pričakovanji,
- študijo vzrokov sprememb v vertikalni obremenitvi in njihovega praktičnega pomena.

Končni cilj študije je bil ugotoviti, ali je smiselno oziroma potrebno naprave SCRIM nadgraditi z merilci vertikalne obremenitve na merilno kolo.

Teoretične del študije je pokazal, da:

- se kot merilnega kolesa, pod katerim je le-to nameščeno na mehanizem, med vožnjo po krivinah z radijem 100 m ali več, in pri običajnih merilnih hitrostih spremeni največ za 10°,
- merilni mehanizem se teoretično prosto giblje po vertikalnih vodilih. V takih okoliščinah (vožnja po krivini radija 100 m in več) se v praksi pojavi le majhna sprememba vertikalne obremenitve merilnega kolesa,
- če na trenutke pride do omejevanja prostega gibanja nosilne plošče, npr. zaradi začasnega trenja ležajev ali njihovega zaustavljanja, to vsekakor lahko vpliva na spremembo vertikalne obremenitve,
- da sprememba kota merilnega kolesa pri vožnji skozi krivino v praksi nima pomembnega vpliva na meritve.

Kot previdnostni ukrep je bila vseeno predlagana vožnja z nižjo hitrostjo skozi ovinke.

Na splošno je bilo ugotovljeno, da obstajajo znatne prednosti uvedbe dinamične meritve vertikalne obremenitve na merilno kolo, ob hkratni uvedbi konstrukcijskega elementa – novih manšet.

Pričakovane koristi teh sprememb so:

- manjši vpliv na spremembe vertikalne obremenitve med meritvami zaradi spreminjanja količine vode ter njenega pljuskanja po tanku na kamionu,
- manjše razlike med rezultati različnih naprav, saj bi vse merile koeficient bočnega trenja z dejansko vertikalno obremenitvijo,
- natančnejše meritve posameznih naprav, zlasti pri višjih hitrostih meritev,
- nenazadnje pa tudi natančnejše zaznavanje sprememb torne sposobnosti vozišč, vsaj v tistem delu, ki je prikrit zaradi sprememb vertikalne obremenitve.

Končni rezultat je bil predlog vgradnje senzorjev za dinamično meritev vertikalne obremenitve v kombinaciji z novo vrsto manšet.

V drugi, mlajši študiji [27], pa so bili raziskovalci osredotočeni na obnašanje vozil SCRIM pri meritvah območij z velikim tveganjem za nastanek nesreč: v krožiščih, neposredno pred prehodi za pešce, pred križišči ipd.

Na takih območjih naprave merijo pod »ne-standardnimi« pogoji, ki se precej razlikujejo od meritev po ravnih odsekih. Gre za meritve:

- v krivini,
- pri nestandardni hitrosti,
- ob zaustavljanju in pospeševanju.

Glavne ugotovitve te študije so:

nezanemarljivo velik obseg meritev torne sposobnosti v Angliji je izveden v območjih z velikim tveganjem za nastanek nesreč,

- če bi uvedli korekcijo rezultatov meritev zaradi hitrosti tako, da bi lahko vozila merila pri hitrostih med 10 in 85 km/h, bi bile skoraj vse meritve veljavne,
- korekcije zaradi hitrosti, pridobljene na podlagi meritev z napravo SkReDeP (vsebuje merilni mehanizem naprav SCRIM) kažejo, da so rezultati meritev s hitrostjo pod 25 km/h in s trenutno korekcijo zaradi hitrosti nezanesljivi. Ugotovitev je sicer vprašljiva zaradi nenavadnih rezultatov, pridobljenih pri meritvah na testnih odsekih,
- rezultati meritev SCRIM med zaviranjem so pokazali, da bi jih lahko uspešno korigirali zaradi spreminjajoče hitrosti. Hkrati pa je v takih pogojih pričakovati večjo variabilnost rezultatov kot pri meritvah s konstantno hitrostjo,
- pri meritvah z napravo GripTester med zaviranjem je bila ugotovljena mehanska reakcija, zaradi katere se merilno kolo dviguje, kar vpliva tudi na rezultate meritev,
- meritve z napravama SCRIM in GripTester po krožnici so pokazale večjo variabilnost rezultatov kot pri meritvah v ravni liniji,
- večjo variabilnost rezultatov je pričakovati tudi pri vožnji v »osmici« kot pri meritvah v ravni liniji.

Končni rezultat študije je bil predlog, da se dovoli meritve oziroma upošteva rezultate meritev naprav SCRIM s hitrostjo tudi pod 25 km/h (do 10 km/h) in da se uporabi njihovo (angleško) veljavno korekcijo rezultatov zaradi hitrosti. Ob tem je potrebno zavedanje pri upravljavcu cestnega omrežja, da lahko tako pridobljeni rezultati pomenijo rahlo podcenjevanje stanja (rezultati so nekoliko nižji od realnega stanja).

5 KORELACIJE S TORNO SPOSOBNOSTJO VOZNIH POVRŠIN

Osnovni namen študije za magistrsko nalogo je bil določiti vpliv prečnega nagiba na izmerjeno torno sposobnost. Teoretično je ta vpliv lahko zelo velik in posledično precej vpliva na izračun končnih značilnih vrednosti koeficientov bočnega trenja SR - pogojne, mejne in prevzemne vrednosti. Te vrednosti smo, kot nadgradnjo obstoječega sistema presoje stanja torne sposobnosti na slovenskem cestnem omrežju, okvirno določili v raziskovalni nalogi *Analiza rezultatov meritev tornih lastnosti ter primerjava z meritvami pojekov in zavornih poti* [4] za DRSI, takrat še DRSC.

Ob spremenjenih vrednostih SR se vpliv nagiba prenese tudi na spremenjene korelacije s srednjim polno razvitim pojekom in na dosegljive zaustavne razdalje vozil, na prometno varnost torej (glej enačbe in povezave v poglavju 4.1).

Glede na razvoj dela in glede na sprotne ugotovitve iz literature, ob analizah in primerjavah različnih podatkov sem cilj naloge razširil še na poskus določitve vpliva vzdolžne ravnosti ter horizontalne in vertikalne ukrivljenosti na izmerjeno torno sposobnost, posledično spet na zaustavno razdaljo.

V primeru, da ima prečni nagib (in ostali faktorji) kakršenkoli vpliv, je bil namen preoblikovati ustrezne enačbe in končne značilne vrednosti SR iz zgoraj omenjene raziskovalne naloge (glej isto poglavje).

Zavedal sem se, da se lahko po drugi strani sâma zgradba naprave izkaže kot taka, da prepreči vpliv na meritve, ne glede na velikost prečnega nagiba. Glede na rezultate dosedanjih raziskav vplivov v Sloveniji je obstajala še precej realna možnost, da zaradi širokega razpona rezultatov meritev torne sposobnosti kljub podrobni razgradnji vplivov potencialno vplivajočih parametrov ne bo možno najti močnih povezav med obojim (glej npr. vplive vgrajene asfaltne zmesi, starosti, sestave ipd. v poglavju 4.5.2).

Rezultati iz literature in dosedanje izkušnje so temeljile na specifičnih raziskavah in meritvah na omejenem številu testnih odsekov. V splošnem rezultati nakazujejo potrebo po nadaljnjem delu in natančnejši določitvi vpliva prečnega in vzdolžnega nagiba na meritve torne sposobnosti. Za razliko od dosedanjih meritev sem se odločil za uporabo obsežnejših podatkov, t.j. rezultatov meritev na celotnem obsegu slovenskega avtocestnega omrežja. Ob dovolj velikem številu testnih odsekov in skupni merjeni razdalji sem pričakoval boljše korelacije med parametri vpliva in torno sposobnostjo vozišč.

5.1 Glavni koraki analize

Vhodni podatki za analizo so štirje (slika 31):

- baza podatkov o tornih lastnostih avtocest,
- geometrijski podatki za avtoceste, in
- baza podatkov o voziščnih konstrukcijah avtocest

v upravljanju DARS, ter

- podatki o prometnih obremenitvah iz letnih publikacij *Štetje prometa*, ki jih pripravlja DRSI.

Pri tem je pomembno, da smo meritve tornih lastnosti (torne sposobnosti in grobe hrapavosti) izvedli na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG), in sicer v letu 2008. To so bile zadnje izvedene meritve tornih lastnosti na avtocestah v Sloveniji, in kot taki so ti rezultati trenutno najaktualnejši.

Meritve tornih lastnosti in med njimi torne sposobnosti predstavljajo eksperimentalni del moje naloge.

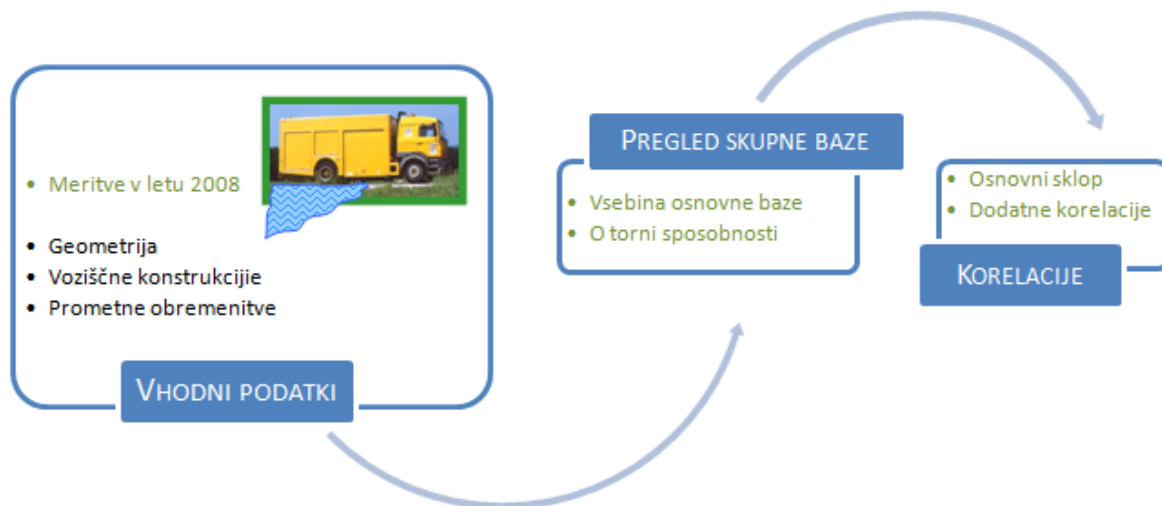
Pridobljeni geometrijski podatki in baza podatkov o voziščnih konstrukcijah sta posledično tudi iz leta 2008, zato da so vsi podatki že v osnovi med seboj primerljivi.

Vse tri baze mi je DARS prijazno odstopil oziroma dovolil njihovo uporabo za namene študije za to magistrsko nalogo.

Prvi korak analiz je torej bil:

- pregledati podatke posameznih baz,
- izločiti nepopolne podatke,
- izločiti drugače odstopajoče podatke,
- uskladiti podatke med seboj na podlagi intervala zajema (podatki so za avtoceste običajno zajeti in podani za vsakih 10 m ali vsakih 20 m),
- uskladiti vse tri baze in podatke (vključno s prometnimi obremenitvami) združiti v skupno bazo, kot osnovo za nadaljnje delo.

Kot drugi korak je sledil pregled skupne, združene baze. Iz nje sem izločil nemerjane podatke (ponekod so podane strokovne ocene), pregledal pogostost pojavljanja posameznih parametrov, pripravil osnovne podatke o torni sposobnosti.



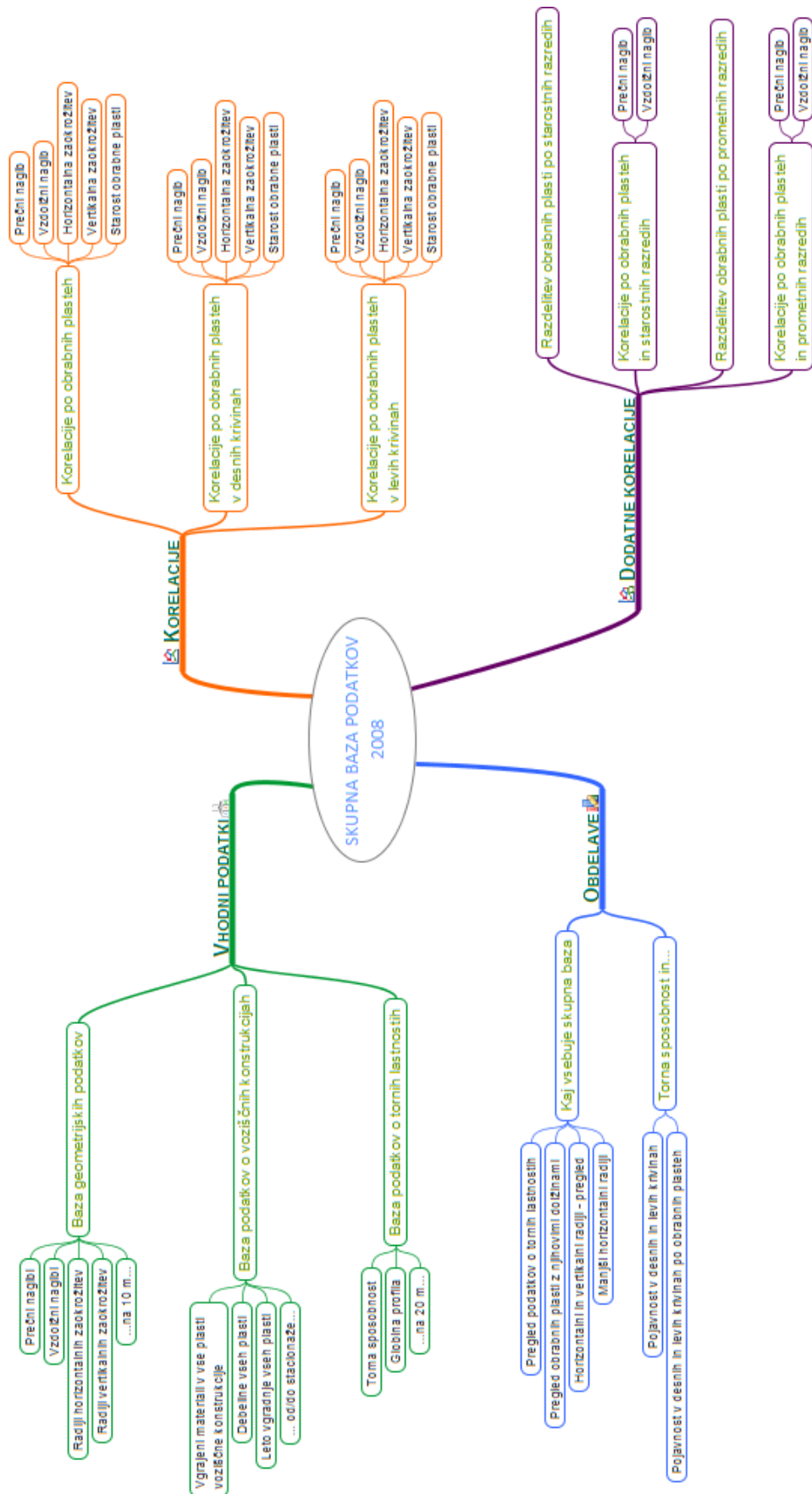
Slika 31: Potek analize
Figure 31: Main steps of the study

Nazadnje sem na podlagi skupne in prečiščene baze podatkov izpeljal sklop korelacij:

- osnovne korelacije, v odvisnosti od
 - asfaltnih zmesi, vgrajenih v obrabnozaprone plasti avtocest ter
 - asfaltnih zmesi, a deljenih po vrsti krivine (desna ali leva)
- dodatne, kot iskanje boljših povezav med podatki
 - vključitev starosti obrabnozaprornih plasti
 - vključitev prometne obremenitve.

Čisto na koncu sem izpeljal še zaključke dela.

Podrobnejši pregled vseh vhodnih podatkov, glavnih obdelav in korelacij prikazuje slika 32.



Slika 32: Pregled vhodnih podatkov in rezultatov
Figure 32: Input data and output correlations of the study analysis

5.2 Vhodni podatki

5.2.1 Torna sposobnost

Baza podatkov o tornih lastnostih je v bistvu baza podatkov o tornih lastnostih, med katerimi so tudi rezultati meritev torne sposobnosti.

Preglednica 2: Baza podatkov o torni sposobnosti

Table 2: Skid resistance measurements database

CESTA	ODSEK	STAC_20	SR	SR_KOR	SR_STANJE	SMTD	SMTD_STANJE	SMTD_STANJE_HITROST	STAC_TAB	TEMP	HITROST	DATUM	KOMENTAR
A1	0030	20	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	40	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	60	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	80	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	100	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	120	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	140	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP
A1	0030	160	0.61	0.44	dobro	0.70		120	0	0	30	6.8.2008	ocena, MP

V preglednici so v posameznih zapisih nanizani podatki:

CESTA	Evidenčna številka ceste, ki ji pripada odsek,
ODSEK	Evidenčna številka odseka,
STAC_20	Prostorska lokacija delne meritve, podana za vsakih 20 m, določena je s stacionažo začetka in velja do naslednje spremembe oziroma do konca odseka, če spremembe ni,
SR	Povprečna vrednost torne sposobnosti na 20 m pod-odseku,
SR_KOR	Korigirana torna sposobnost z upoštevanjem hitrosti pri meritvi in vpliva temperature vozne površine,
SR_STANJE	Stanje vozne površine glede na torno sposobnost,
SMTD	Groba hrapavost (mm),
SMTD_STANJE	Stanje vozne površine glede na grobo hrapavost,
SMTD_STANJE_HITROST	Dopustna hitrost vožnje glede na izmerjeno grobo hrapavost (na podlagi kriterijev iz TSC 06.620, če ločeno obravnavamo le hrapavost. Taka ločena obravnava ni priporočljiva, hrapavost je potrebno vedno obravnavati hkrati z ugotovljeno torno sposobnostjo),
STAC_TAB	Prostorska lokacija kilometrske tablice,
TEMP	Temperatura vozne površine pri meritvi (°C),
HITROST	Hitrost vozila pri meritvi (km/h),
DATUM	Datum meritve,
KOMENTAR	Različne opombe.

Posameznih delov odsekov z napravo ni moč v celoti izmeriti, zato se za take dele odsekov poda oceno o stanju (kot je to primer, ki ga kaže preglednica 2). To smo naredili npr. na odsekih, ki se nahajajo med mejnima prehodoma R Slovenije in sosednje države ter na delih

kamionskih cest, ki so bili zasedeni s stoječimi vozili. Podobno smo oceno podali na območjih cestninskih postaj.

Preglednica 3 prikazuje količino uporabnih podatkov o torni sposobnosti, ki je bila na voljo pred združevanjem v skupno bazo. Za namene naloge sem izločil vse odseke, kjer meritev ni bilo možno izvesti; odseke s cementnobetonским voziščem (praviloma se nahajajo le v predorih, na zelo kratkih odsekih tudi izven; vse skupaj premalo za relevantno analizo); in odseke, za katere je bila podana ocena stanja.

Preglednica 3: Količina uporabnih podatkov o torni sposobnosti
Table 3: Skid resistance data used in the study

Vrsta podatka	KM
Ocene	25,14
Pokriti vkop, predor z betonskim voziščem	31,96
Kamionska cesta, zapora, odsek v izgradnji	21,24
Uporabljeni podatki	858,78
Skupaj podatkov	937,12

5.2.2 Geometrijski podatki

Geometrijski podatki so podani za vsakih 10 m, to je za stacionaže po koraku 10 m.

Preglednica 4: Baza geometrijskih podatkov o avtocestah
Table 4: Geometry data for motorways

CESTA	ODSEK	STAC_10	D48E_STAC_10	D48N_STAC_10	L_FALL	X_FALL	H_CURVE	V_CURVE	DATUM	HITROST	TAB	D48E_TAB	D48N_TAB	KOMENTAR
A1	0052	0	98107,88	456547,68	0,2	2,7	-21877	999999	29.11.2007	60,1				
A1	0052	10	98105,05	456540,15	0,2	2,7	-21877	999999	29.11.2007	60,1		98105,05	456540,15	
A1	0052	20	98100,9000	456528,89	-0,4	2,9	-21877	999999	29.11.2007	59,8				
A1	0052	30	98098,18	456521,36	-0,6	2,9	-21877	999999	29.11.2007	59,6				
A1	0052	40	98094,1500	456510,03	-0,5	3,1	-21877	999999	29.11.2007	59,4				
A1	0052	50	98091,5300	456502,5	0,1	2,9	-21877	999999	29.11.2007	59,5				
A1	0052	60	98087,5	456491,17	0,7	3	-20054	999999	29.11.2007	59,7				
A1	0052	70	98084,89	456483,56	0,3	2,9	-16043	999999	29.11.2007	59,8				
A1	0052	80	98080,97	456472,23	0,1	3	-17189	999999	29.11.2007	60,1				
A1	0052	90	98078,35	456464,7	-0,2	3,1	-16043	999999	29.11.2007	60,6				
A1	0052	100	98074,54	456453,29	0,1	3,1	-15040	999999	29.11.2007	61,1				

V preglednici so v posameznih zapisih nanizani podatki:

- CESTA Evidenčna številka ceste, ki ji pripada odsek,
- ODSEK Evidenčna številka odseka,
- STAC_10 Prostorska lokacija delne meritve, podana za vsakih 10 m, določena je s stacionažo začetka in velja do naslednje spremembe oziroma do konca odseka, če spremembe ni,
- D48E_STAC_10 Zemljepisna dolžina po Gauss Krueger-jevem koordinatnem sistemu
- D48N_STAC_10 Zemljepisna širina po Gauss Krueger-jevem koordinatnem sistemu
- L_FALL Vzdolžni nagib (m),
- X_FALL Prečni nagib (m),

H_CURVE	Radij horizontalne ukrivljenosti (m),
V_CURVE	Radij vertikalne ukrivljenosti (m),
DATUM	Datum meritve,
HITROST	Hitrost vozila pri meritvi (km/h),
TAB	Prostorska lokacija km tablice (m),
D48E_TAB	Zemljepisna dolžina mesta km tablice po Gauss Krueger-jevem koordinatnem sistemu
D48N_TAB	Zemljepisna širina mesta km tablice po Gauss Krueger-jevem koordinatnem sistemu
KOMENTAR	Različne opombe.

5.2.3 Podatki o voziščni konstrukciji

Podatki o voziščnih konstrukcijah so podani za odseke avtocest s homogeno konstrukcijo – za homogene odseke.

Preglednica 5: Podatki o voziščni konstrukciji

Table 5: Pavement structure database

Cesta	Odsek	Od_km	Do_km	Dolžina	PAV_TYPE	Mat1	Deb1	Leto1	Mat2	Deb2	Leto2	Mat3	Deb3	Leto3	Mat4	Deb4	Leto4	Mat5	Deb5	Leto5	Mat6	Deb6	Leto6
AZA	0001	0	3,45	3,45	ORIGBT	BT	17	1991	BD32	8	1991	P32	17	1991	-	0	1900	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0001	3,45	3,7	0,25	Ojac	BB8s	3	2006	BD22S	7	2006	BB11s	4	1991	BD22S	7	1991	P32	16	1991	-	0	1900
AZA	0001	3,7	3,854	0,154	Zamen4	DBM8s	4	2006	BB8	3	1981	BT	20	1981	-	0	1900	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0001	3,854	4,55	0,696	Ojac	BB8s	3	2006	BD22S	7	2006	BB11s	4	1991	BD22S	7	1991	P32	16	1991	-	0	1900
AZA	0001	4,55	5,361	0,811	ORIG	BB11s	4	1991	BD22	6	1991	P32	16	1991	-	0	1900	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0002	0	0,64	0,64	REIN	DBM8s	3	2000	BD32S	8	2000	BD22	6	1991	P32	16	1991	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0002	0,64	3,912	3,272	ORIG	DBM8s	3	1993	BD32S	8	1993	CS32	20	1993	P32	15	1993	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0002	3,912	4,149	0,237	ORIG	BB8s	3	1993	BB8	4	1993	BT	20	1993	-	0	1900	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0002	4,149	4,593	0,444	ORIG	DBM8s	3	1993	BD32S	8	1993	CS32	20	1993	P32	15	1993	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0002	4,593	4,74	0,147	ORIG	BB8s	3	1993	BB8	4	1993	BT	20	1993	-	0	1900	-	0	1900	-	0	1900
AZA	0002	4,74	4,943	0,203	ORIG	DBM8s	3	1993	BD32S	8	1993	CS32	20	1993	P32	15	1993	-	0	1900	-	0	1900

V preglednici so v posameznih zapisih nanizani podatki:

CESTA	Evidenčna številka ceste, ki ji pripada odsek,
ODSEK	Evidenčna številka odseka,
Od_km	Prostorska lokacija homogenega odseka, začetna stacionaža (m),
Do_km	Prostorska lokacija homogenega odseka, končna stacionaža (m),
Dolžina	Dolžina homogenega odseka (m),
PAV_TYPE	Označuje vrsto posega v konstrukcijo (modernizacija, preplastitev, ojačitev, rekonstrukcija ipd.),
Mat1(do 6)	Vrsta vgrajenega materiala v plasti 1 do 6 (šteto od zgoraj navzdol),
Deb1(do 6)	Debelina vgrajenega materiala v plasti 1 do 6 (šteto od zgoraj navzdol, cm),
Leto1(do 6)	Leto vgradnje materiala v plasti 1 do 6 (šteto od zgoraj navzdol). Osnova za izračun starosti obrabnozaporene plasti v letu analiziranih podatkov, t.j. v2008.

V tem primeru so k običajni oznaki ceste dodane še oznake za tip odseka. Možne oznake so:

O	Običajni odsek,
A	Odsek s fizično ločenimi voznimi pasovi - desni odsek,
V	Odsek s fizično ločenimi voznimi pasovi - levi odsek,
C	Odcep,
P	Priključek.

Voziščna konstrukcija je lahko sestavljena iz velikega števila različnih materialov, vpisani so v stolpce Mat1(do 6). V slovenske ceste vgrajeni materiali so lahko različni:

- bitumenski betoni,
- drobirji z bitumenskim mastiksom,
- drenažni asfalti,
- liti asfalti,
- tankoplastne prevleke,
- površinske prevleke,
- cementni betoni,
- stabilizacije z bitumenskim vezivom,
- stabilizacije s cementnim vezivom,
- drobljenci.

in številni drugi, ki pa se jih ne uporablja v voziščnih konstrukcijah avtocest, vsekakor pa v konstrukcijah ostalih cest v Sloveniji. Popolnejši seznam vseh materialov vsebuje priloga A.

5.3 Analize skupne baze

Pri pregledu različnih baz sem iz prej navedenih razlogov nekaj podatkov izločil. V različnih bazah so bili ti podatki vezani na različne avtocestne odseke. Zato je po združevanju vseh baz razumljivo ostalo na voljo za analize manj podatkov, kot v posameznih bazah.

5.3.1 Obrabnozaporne plasti

Pregled ugotovljenih materialov v obrabnozaporah in njihove dolžine (se pravi, po združevanju v skupno bazo) podaja preglednica 6. Imena asfaltnih zmesi so zapisana, kot so podana v Banki cestnih podatkov (BCP), v prvi stolpec preglednice pa sem dodal še oznake po sedanji nomenklaturi. V nadaljevanju naloge jih podajam v originalni obliki. Od navedenih materialov se trije pojavljajo na zelo kratkih razdaljah:

- cementni beton (BT),
- površinska prevleka (EPPE8), in
- tankoplastna prevleka (TPh8).

Njihove dolžine so tako kratke, da ne omogočajo korektnih analiz. Po njihovi izločitvi je ostalo še za 819,42 km avtocestnih odsekov, za katere so bile narejene analize v nadaljevanju.

Preglednica 6: Uporabljene dolžine vgrajenih materialov

Table 6: Pavement surface materials and their lengths which were used in the study

<i>Obrabna plast</i>	<i>Dolžina (km)</i>	<i>Upoštevana dolžina (km)</i>
BB11s (AC 11)	79,00	79,00
BB11sPmB (AC 11 PmB)	119,44	119,44
BB8s (AC 8)	12,76	12,76
BT (CC)	4,40	
DBM11s (SMA 11)	199,36	199,36
DBM8s (SMA 8)	408,86	408,86
EPPE8 (BE)	1,10	
TPh8 (SS 8)	0,54	
Skupaj	825,46	819,42

V preglednici navedeni materiali so bili vgrajeni v:

- 80 avtocestnih odsekov, klasificiranih kot odsek s fizično ločenimi voznimi pasovi - desni odsek,
- 80 avtocestnih odsekov, klasificiranih kot odsek s fizično ločenimi voznimi pasovi - levi odsek, in
- 6 priključkov.

5.3.2 Horizontalna ukrivljenost

Ukrivljenost krivin podajamo z radiji horizontalne ukrivljenosti. Ti na splošno vplivajo na sile, ki se pojavijo na merilni mehanizmu in merilno kolo, ampak praktični učinek imajo v bistvu relativno majhni radiji (npr. pod 200 m). Ti so precej pogosti na državnih cestah, na avtocestah so pa redki.

Kljub temu sem se tekom študije na podlagi dotodanjih rezultatov analiz odločil preveriti nekatere korelacije posebej za desne in posebej za leve krivine, da bi s tem morda odkril drugačne povezave med parametri vpliva in torne sposobnostjo, kot sem jih dobil v primeru enakovrednega upoštevanja vseh rezultatov. K temu so me navedle tudi znatne razlike v nekaterih statističnih podatkih po razdelitvi na desne in leve krivine, pa vpliv, ki jih imajo ene

in druge na meritev torne sposobnosti z napravo SCRIMTEX. Ker je merilno kolo na napravi nameščeno pod kotom 20°, naprava v desnih krivinah do določene mere podceni torno sposobnost, v levih pa preceni. To sicer velja le za krivine majhnih radijev ukrivljenosti, a teoretično lahko delitev na desne in leve krivine rezultira v nekoliko drugačnih korelacijah, kot če damo vse rezultate v isti koš, kar sem smatral za dovoljšen razlog za delitev v nadaljevanju naloge.

V skupni bazi je:

- okoli 40 % rezultatov v desnih krivinah,
- okoli 40 % rezultatov v levih krivinah, in
- okoli 20 % rezultatov v premi.

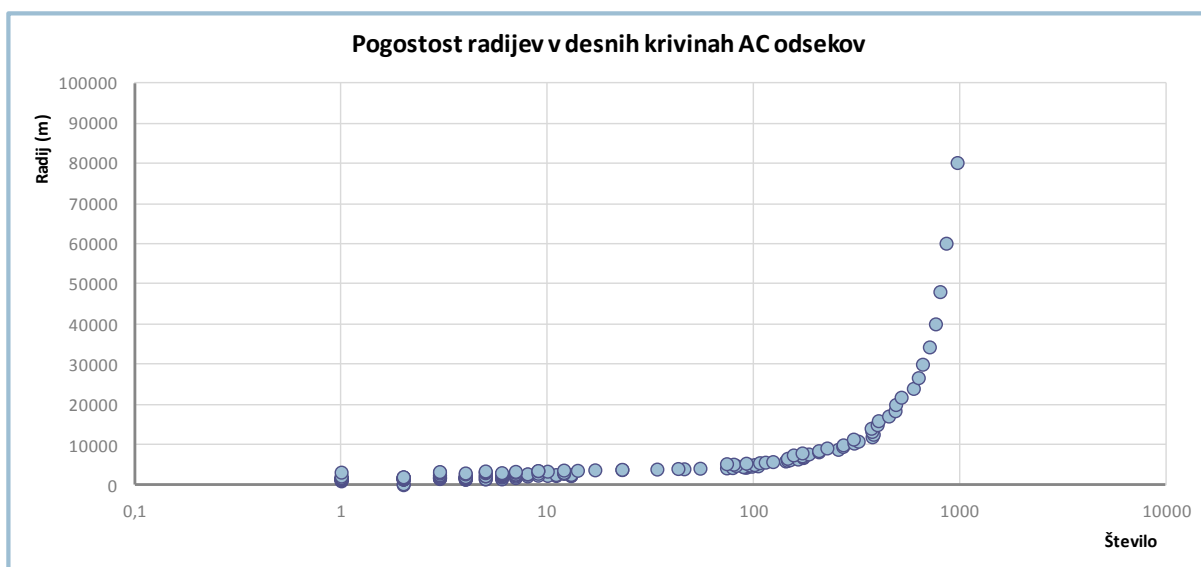
Pogostost posameznih radijev v levih in desnih krivinah prikazujem na naslednjih slikah. Za detajlnejši pregled so posebej prikazani radiji, manjši od 5000 m.

Če se osredotočimo le na radije, manjše od 500 m, pridemo do podatkov, ki bi lahko nakazovali nekoliko različno stanje.

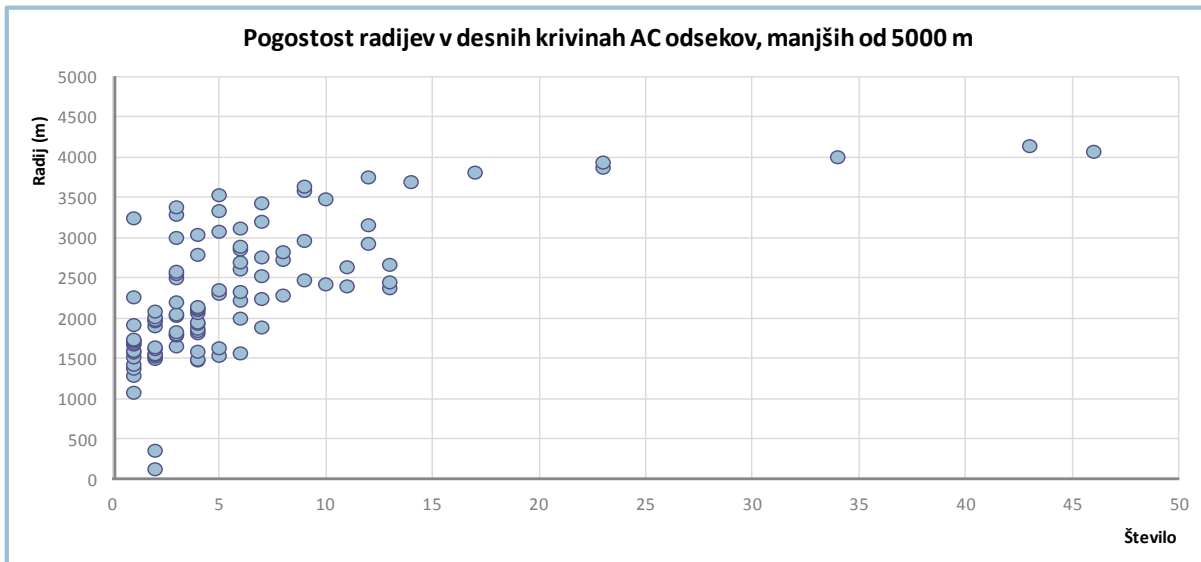
Preglednica 7: Najmanjši in največji radiji v območju do velikosti 500 m

Table 7: Min and max radii in the range of up to 500 m

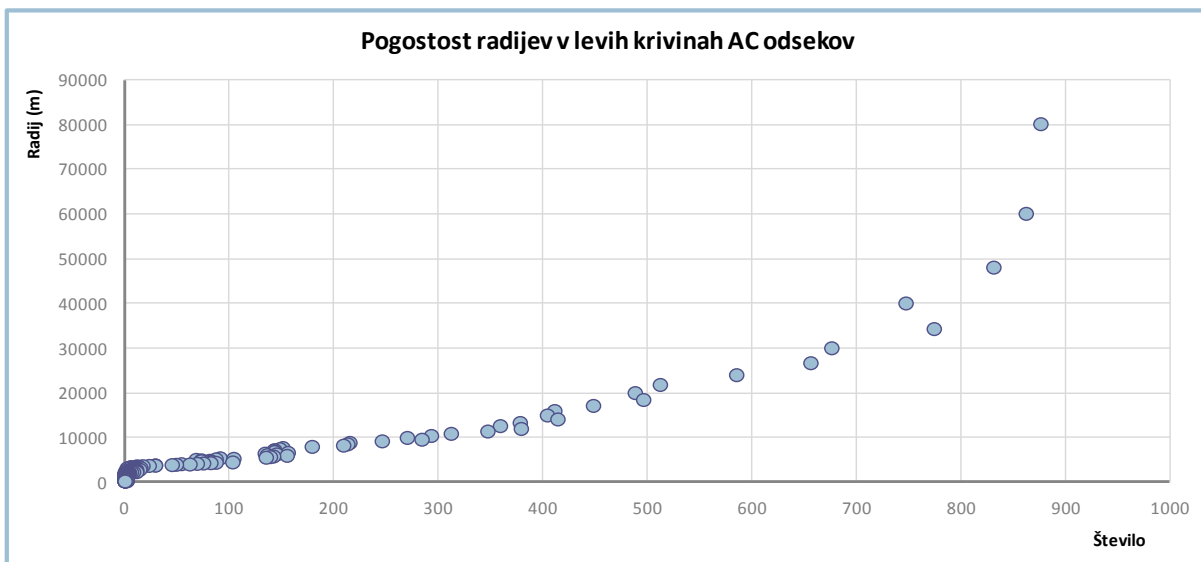
<i>Radiji horizontalnih zaokrožitev < 500 m</i>			
Leva krivina - radiji (m)	najmanjši		283
	največji		500
Desna krivina - radiji (m)	najmanjši		133
	največji		363



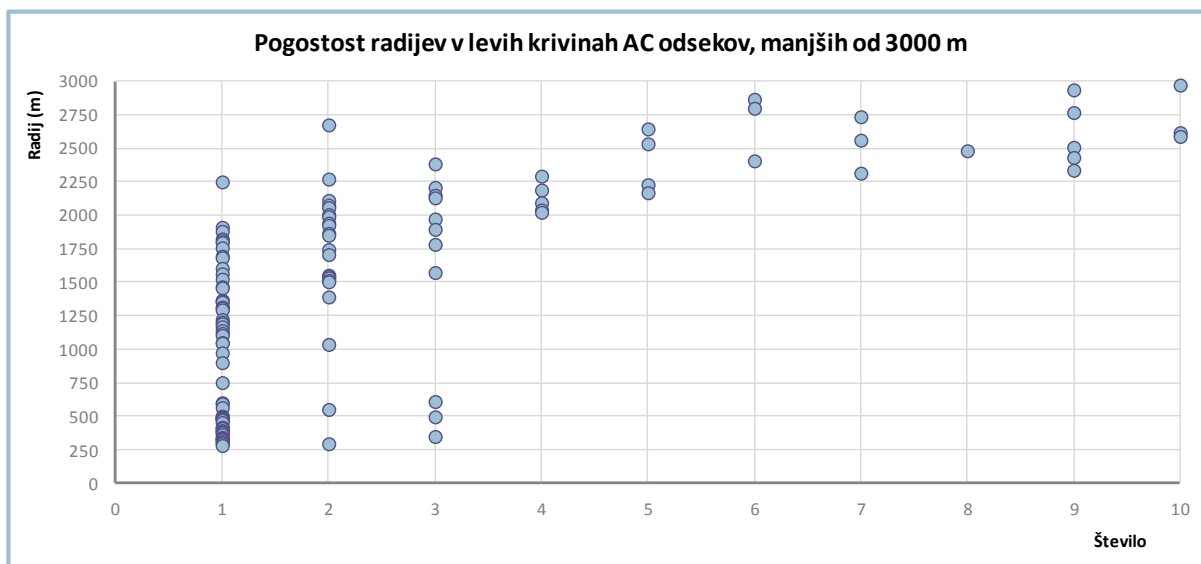
Slika 33: Pogostost radijev v desnih krivinah
Figure 33: Frequency of radii of curvature in right turns



Slika 34: Pogostost radijev (manjših od 5000 m) v desnih krivinah
Figure 34: Frequency of radii of curvature (smaller than 5000 m) in right turns



Slika 35: Pogostost radijev v levih krivinah
Figure 35: Frequency of radii of curvature in left turns

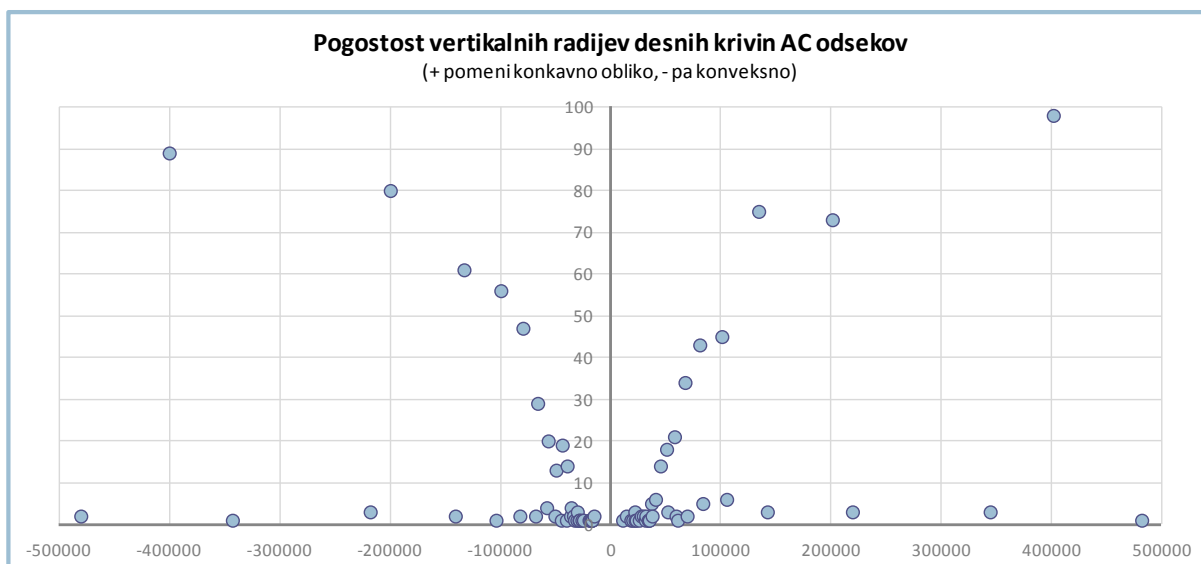


Slika 36: Pogostost radijev (manjših od 5000 m) v levih krivinah
Figure 36: Frequency of radii of curvature (smaller than 5000 m) in left turns

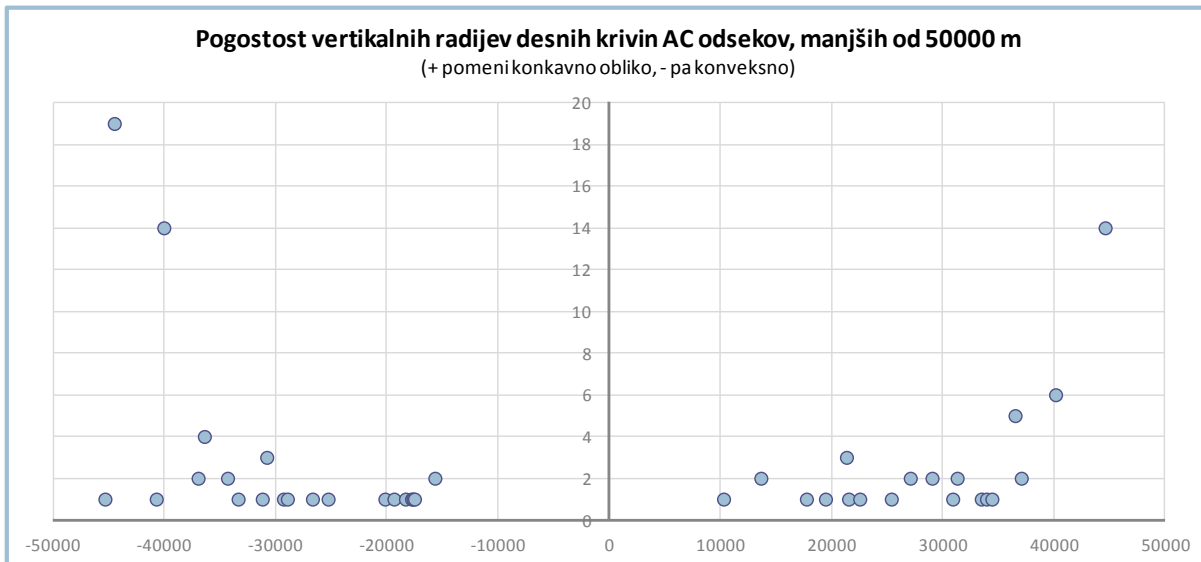
5.3.3 Vertikalna ukrivljenost

Vertikalna ukrivljenost vpliva na nihanje vertikalne obremenitve merilnega kolesa, pri višjih hitrostih meritev je vpliv toliko večji. Ta vpliv je sicer večji na državnih cestah, ki se pogosto prilagajajo osnovnemu terenu, po katerem so speljane; na avtocestah pa manjši, a sem ga vseeno smatral kot vreden preverjanja in dovoljšen razlog za delitev v nadaljevanju naloge.

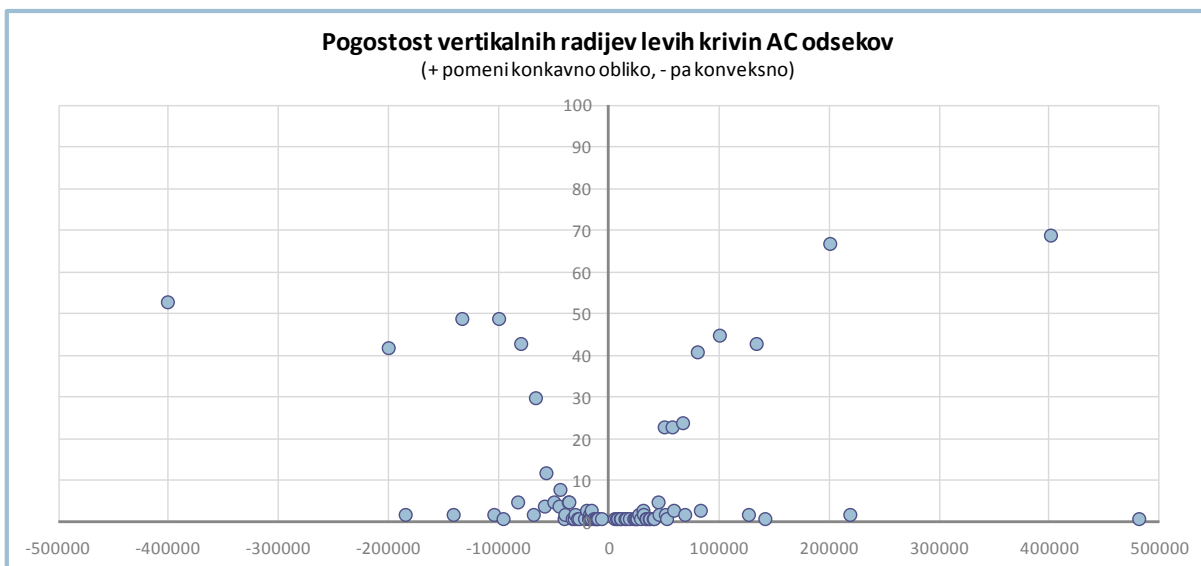
Pogostost posameznih vertikalnih radijev prikazujem na naslednjih slikah, posebej za desne in posebej za leve krivine (namen te delitve je razložen v prejšnjem poglavju). Za detajlnejši pregled so posebej prikazani radiji, manjši od 50000 m.



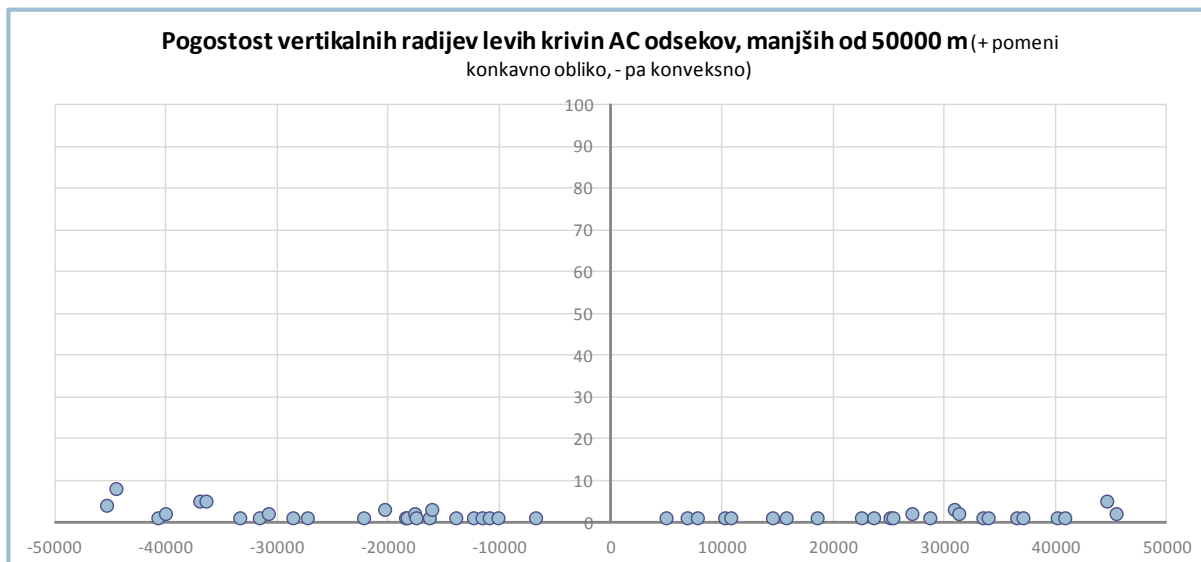
Slika 37: Pogostost vertikalnih radijev v desnih krivinah
Figure 37: Frequency of radii of vertical curvature in right turns



Slika 38: Pogostost vertikalnih radijev (manjših od 50000 m) v desnih krivinah
Figure 38: Frequency of radii of vertical curvature (smaller than 50000 m) in right turns



Slika 39: Pogostost vertikalnih radijev v levih krivinah
Figure 39: Frequency of radii of vertical curvature in left turns

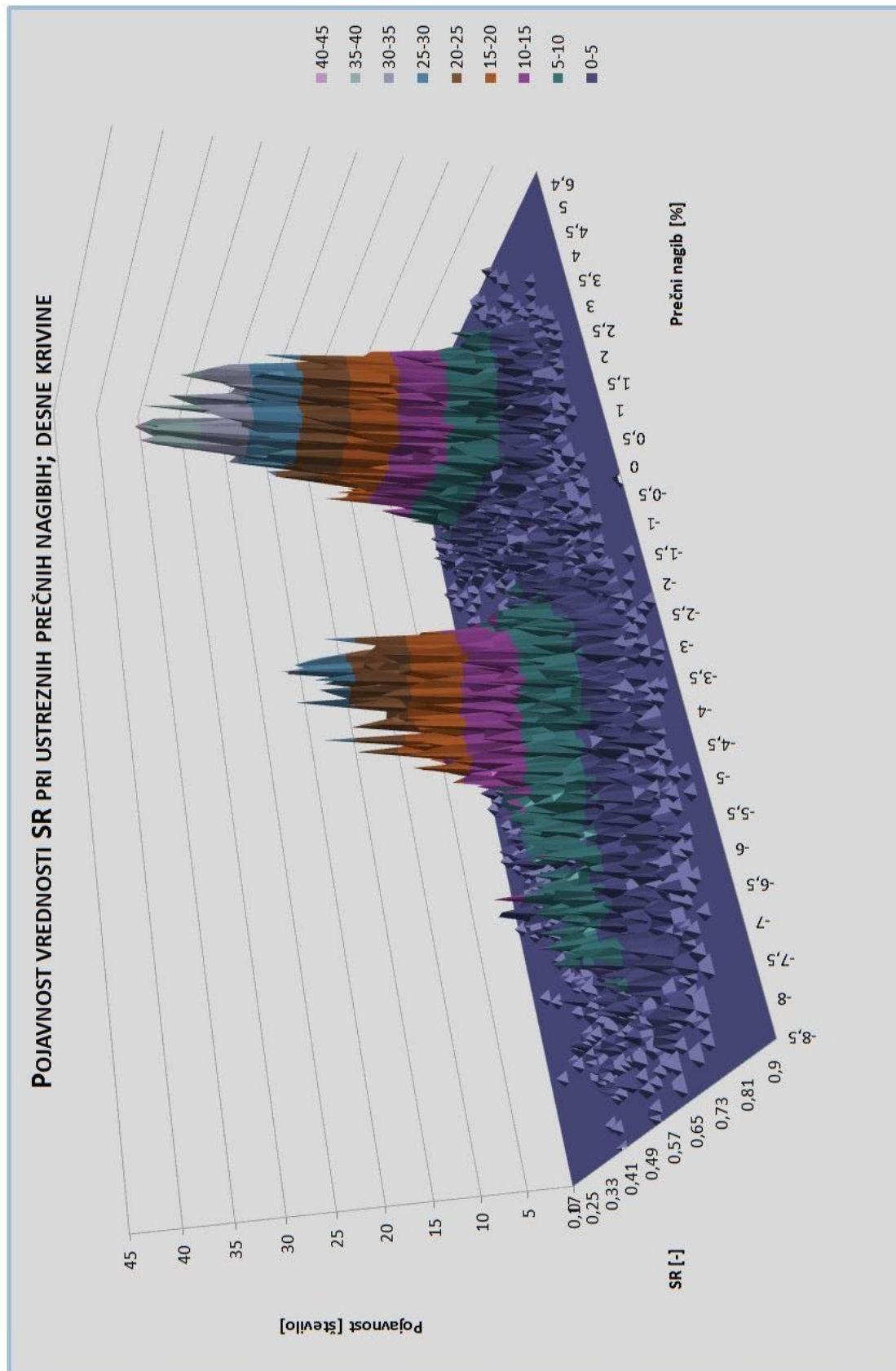


Slika 40: Pogostost vertikalnih radijev (manjših od 50000 m) v levih krivinah
Figure 40: Frequency of radii of vertical curvature (smaller than 50000 m) in left turns

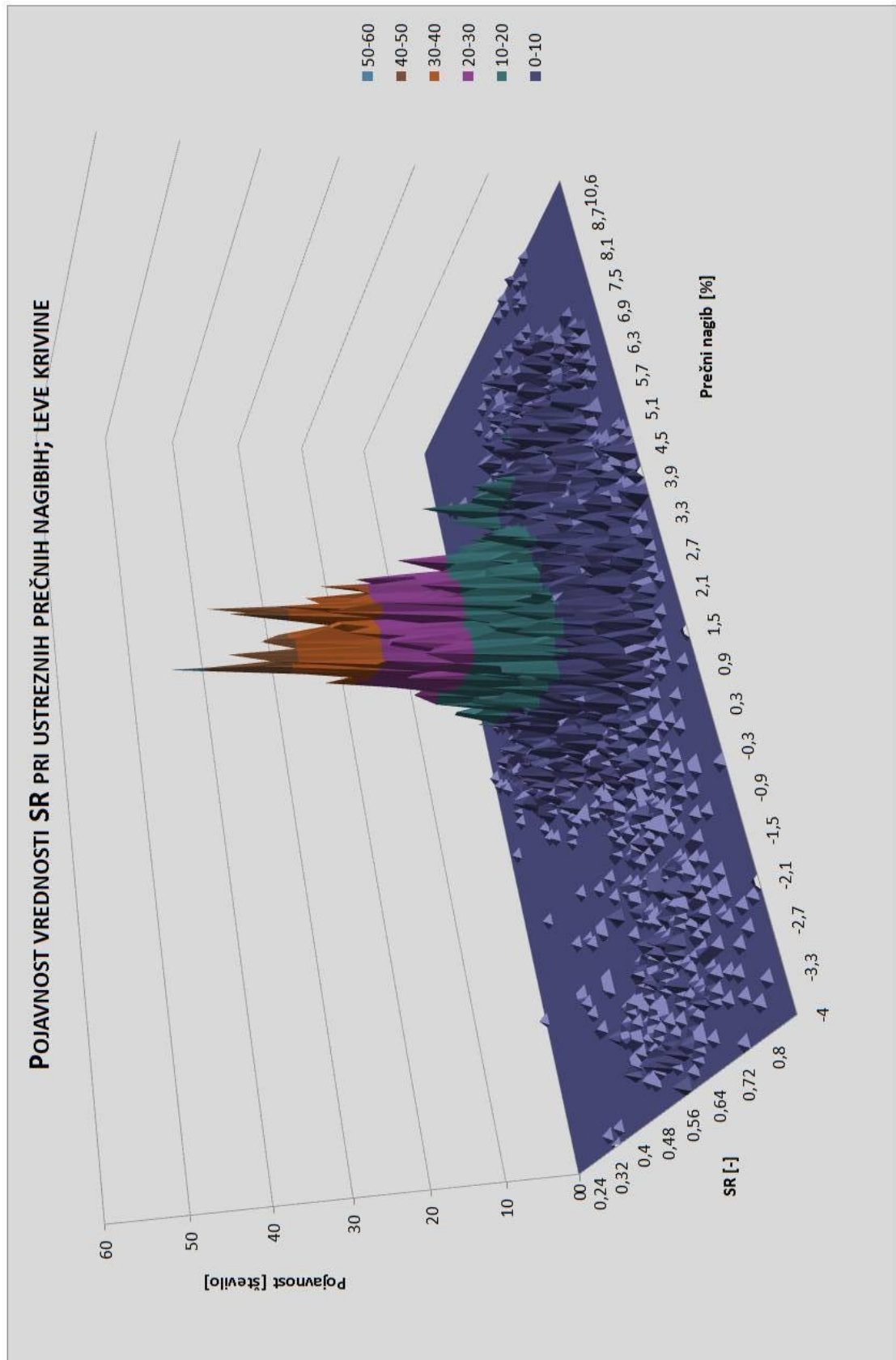
5.3.4 Torna sposobnost

Na začetku naloge je bil njen cilj ugotoviti morebitno korelacijo prečnega nagiba in torne sposobnosti. Zato sem preveril splošno sliko, in primerjal porazdelitev vrednosti SR (torna sposobnost) in prečnega nagiba, za desne in za leve krivine.

Rezultate prikazujeta slika 41 in slika 42. Očitna razlika je med vrsto krivine in izmerjenimi prečnimi nagibi. V desnih krivinah se prečni nagibi koncentrirajo okoli vrednosti $\pm 2,5$ % (kar je sicer minimalni nagib), v levih krivinah pa okoli vrednosti 2,5 %.



Slika 41: Porazdelitev vrednosti SR po prečnih nagibih, v desnih krivinah
Figure 41: Frequency distribution of SR per crossfall, in right turns



Slika 42: Porazdelitev vrednosti SR po prečnih nagibih, v levih krivinah
Figure 42: Frequency distribution of SR per crossfall, in left turns

Pri tem je potrebno upoštevati, da gre za podatke za avtoceste. Radiji ukrivljenosti so napram drugim državnim cestam precej veliki, avtoceste so bistveno bolj ravne. V takih pogojih je lahko vozišče brez posebne nevarnosti za promet nagnjeno na eno ali drugo stran.

Večji nagibi od minimalnega nakazujejo, da se radiji horizontalnih krivin zmanjšujejo (cesta postaja bolj ukrivljena, krivina ostrejša), manjši pa nakazujejo spremembo nagiba iz ene na drugo stran.

Dosedanje podatke (nagiba, radiji ukrivljenosti) lahko iz statističnega vidika pogledamo tudi za vsako obrabnozaprno plast posebej. V naslednji preglednici so podane najmanjše, največje in povprečne vrednosti prečnega in vzdolžnega nagiba ter radijev ukrivljenosti.

Preglednica 8: Najmanjša, največja in povprečna vrednosti nagibov in radijev po obrabnih plasteh

Table 8: Minimal, maximal and average slopes and radii values for different surfaces

Podatek		Najmanjši	Povprečni	Največji
		Vzdolžni nagib (%)		
Obrabne plasti	BB11s	-6,40	-0,17	5,50
	BB11sPmB	-6,60	-0,61	5,70
	BB8s	-5,30	-0,01	4,50
	DBM11s	-8,10	-0,49	5,90
	DBM8s	-7,10	-0,57	7,10
	Celotno omrežje	-8,10	-0,51	7,10
		Prečni nagib (%)		
Obrabne plasti	BB11s	-8,40	1,41	7,80
	BB11sPmB	-6,80	1,44	7,70
	BB8s	-7,60	1,41	4,50
	DBM11s	-7,50	1,23	8,70
	DBM8s	-8,50	0,90	11,40
	Celotno omrežje	-8,50	1,11	11,40
		Desne krivine - radiji (m)		
Obrabne plasti	BB11s	1084	21906	80214
	BB11sPmB	363	28892	80214
	BB8s	4297	23595	80214
	DBM11s	1823	22727	80214
	DBM8s	133	22669	80214
	Celotno omrežje	133	23495	80214
		Leve krivine - radiji (m)		
Obrabne plasti	BB11s	-283	-22630	-80214
	BB11sPmB	-471	-27373	-80214
	BB8s	-4718	-24417	-80214
	DBM11s	-296	-21905	-80214
	DBM8s	-391	-22732	-80214
	Celotno omrežje	-283	-23096	-80214

Pri vzdolžnih nagibih je največji razpon ugotovljen pri plasteh DBM8s in DBM11s. V desnih krivinah izstopata BB11sPmB in DBM8s z najmanjšima radijema, v levih krivinah pa BB8s, ki je vgrajena na odsekih, ki so precej ravni.

Ko podatke razgradimo po obrabnozaprskih plasteh in krivinah, ter pogledamo položaj in razpršenost podatkov torne sposobnosti, dobimo vrednosti, kot jih prikazuje preglednica 9.

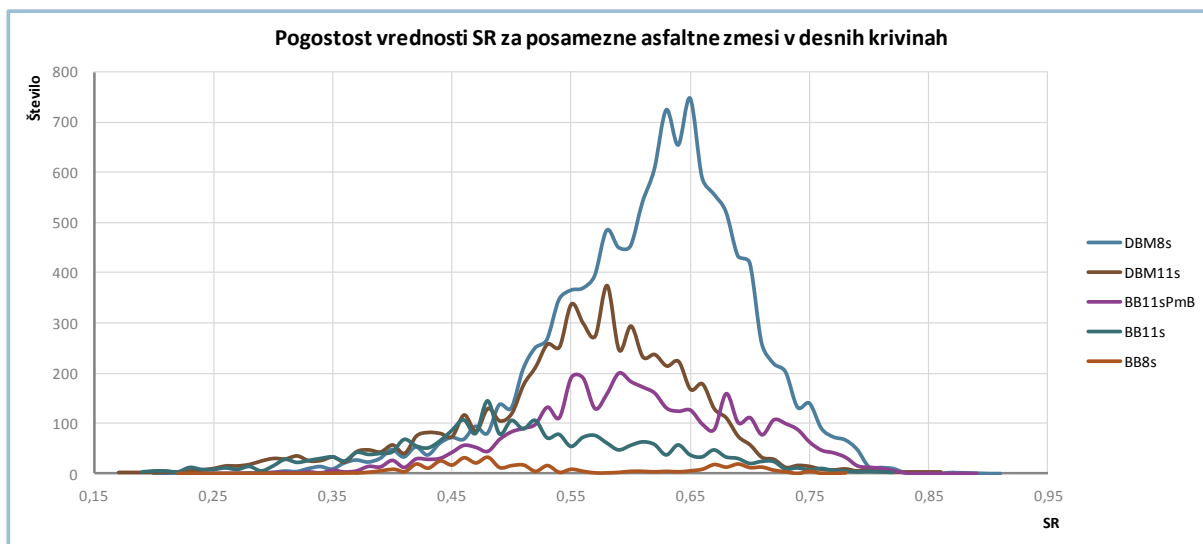
Preglednica 9: Povprečna vrednost, standardni odklik ter varianca torne sposobnosti po obrabnih plasteh

Table 9: Average, standard deviation and variance of skid resistance values for different surfaces

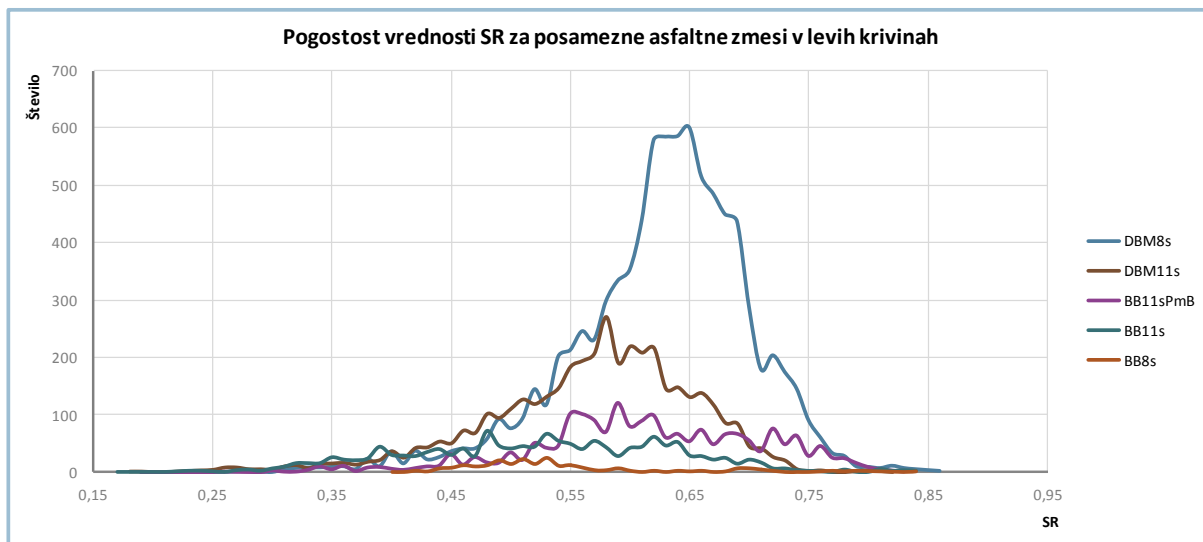
	Obrabna plast	Povprečna vrednost	Standardno odstopanje	Varianca
vse krivine	BB11s	0,51	0,11	0,013
	BB11sPmB	0,61	0,10	0,009
	BB8s	0,55	0,10	0,011
	DBM11s	0,56	0,09	0,009
	DBM8s	0,62	0,08	0,006
samo D krivine	BB11s	0,51	0,11	0,012
	BB11sPmB	0,60	0,09	0,009
	BB8s	0,54	0,11	0,012
	DBM11s	0,55	0,10	0,009
	DBM8s	0,62	0,08	0,007
samo L krivine	BB11s	0,52	0,11	0,013
	BB11sPmB	0,61	0,10	0,010
	BB8s	0,55	0,09	0,009
	DBM11s	0,56	0,09	0,008
	DBM8s	0,62	0,08	0,006

Varianca in standardni odklik pomenita povprečno vrednost kvadratov odklonov podatkov od povprečne vrednosti (varianca) oziroma njen kvadratni koren (standardni odklik). Povprečne vrednosti se po obrabnih plasteh nekoliko razlikujejo, standardni odkloni in variance niti ne. Tudi po razdelitvi vseh podatkov po vrsti krivin ni opaznih bistvenih razlik.

Vrednosti SR so po obrabnozaporih plasteh porazdeljene bolj ali manj v znani zvonasti obliki (normalna porazdelitev). Kot je iz naslednjih slik razvidno, na obliko porazdelitve vpliva predvsem količina podatkov.



Slika 43: Porazdelitev vrednosti SR po obrabnozapornih plasteh, v desnih krivinah
Figure 43: Frequency distribution of SR per surface type, in right turns

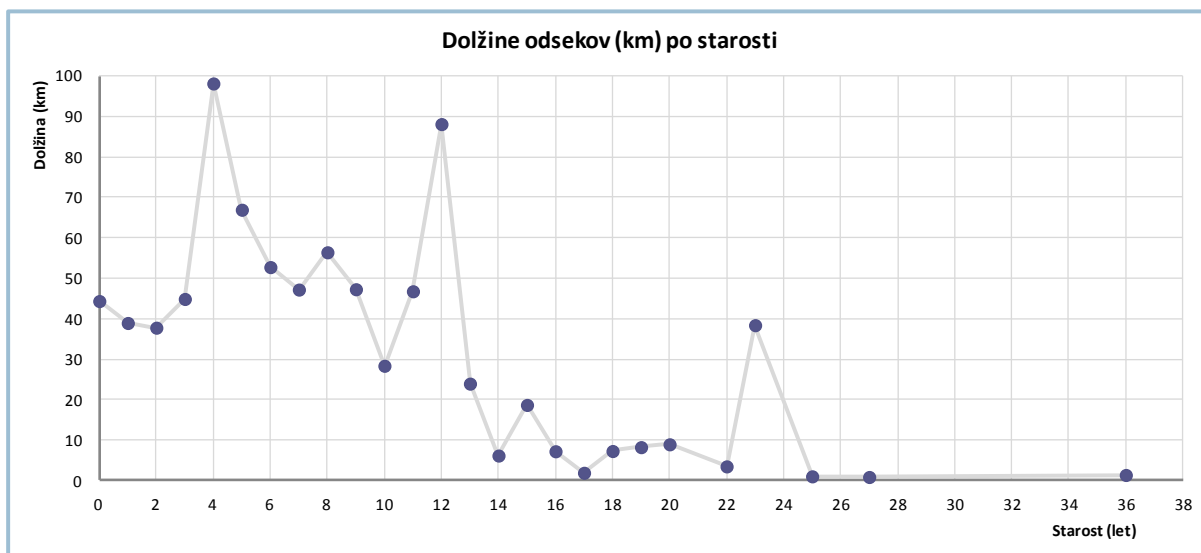


Slika 44: Porazdelitev vrednosti SR po obrabnozapornih plasteh, v levih krivinah
Figure 44: Frequency distribution of SR per surface type, in left turns

5.3.5 Starost obrabnozaporene plasti

V primeru vozni površin na stanje torne sposobnosti precej vpliva tudi njihova starost, zato sem nekaj korelacij poskusil pridobiti tudi na podlagi tega podatka. Starost samo pa sem lahko izračunal iz leta vgradnje površin iz baze podatkov o voziščni konstrukciji.

Porazdelitev dobe starosti prikazuje naslednja slika.



Slika 45: Porazdelitev starosti obrabnozapornih plasti
Figure 45: Age distribution of surfaces

Že prva primerjava SR in starosti je pokazala na velik razpon vrednosti SR znotraj iste starosti (in to za vsako obrabnozaporno plast) ter šibke korelacije med obema podatkoma. Zato sem starost razgradil v več skupin. Pri tem se je pojavilo vprašanje, kako pravzaprav razdeliti starost v različne razrede. Najstarejši odseki so bili za obravnavano leto stari po 36 let, najmlajši so bili na novo zgrajeni. Če bi leta preprosto razdelil na štiri ali pet razredov, bi prišel do po številu (oziroma po skupni dolžini) do precej različne količine podatkov za posamezni razred.

Namesto za enakomerno razdelitev po starosti sem želel bolj enakomerno razdelitev količine podatkov po razredih. Zato sem preveril, koliko podatkov bi dobil, če vse podatke razdelim po kvartilih in po kvintilih.

Kaj so kvartili?

Prvi kvartil (Q1) imenujemo tudi spodnji kvartil. To je vrednost, od katere je 25 % vrednosti slučajne spremenljivke manjših in 75 % vrednosti večjih.

Drugi kvartil (Q2) se imenuje tudi mediana. Ta kvartil razdeli populacijo na dva enaka dela. Ena polovica podatkov (dve četrtini) vrednosti slučajne spremenljivke je manjših in druga polovica (dve četrtini) podatkov je večjih od vrednosti kvartila.

Tretji kvartil (Q3) imenujemo tudi zgornji kvartil. To je vrednost, od katere je tri četrtine vrednosti slučajne spremenljivke manjših in ena četrtina večjih.

Kaj pa so kvintili?

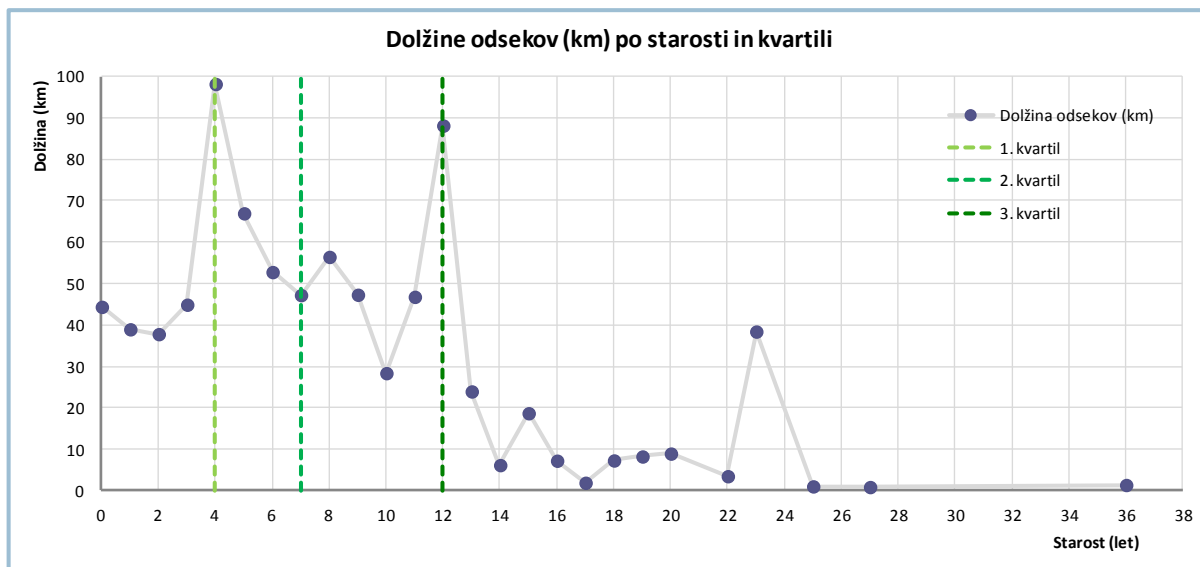
Prvi kvintil (QU1) je vrednost, od katere je 20 % vrednosti slučajne spremenljivke manjših in 80 % vrednosti večjih.

Drugi kvintil (QU2) je vrednost, od katere je 40 % vrednosti slučajne spremenljivke manjših in 60 % večjih.

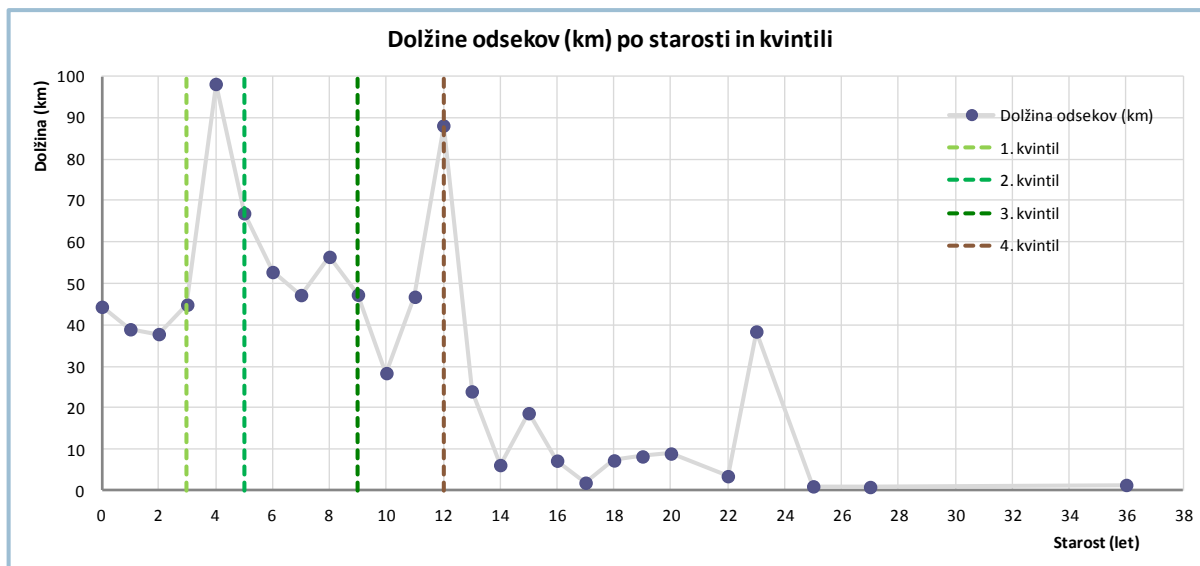
Tretji kvintil (QU3) je vrednost, od katere je 60 % vrednosti slučajne spremenljivke manjših in 40 % podatkov večjih.

Četrti kvintil (QU4) je vrednost, od katere je 80 % vrednosti slučajne spremenljivke manjših in 20 % podatkov večjih.

Naslednji sliki prikazujeta starost in vrednosti kvartilov oz. kvintilov. Na ta način si je lažje predstavljati, katera leta bi predstavljala mejne starosti posameznih starostnih razredov.



Slika 46: Starostni razredi pri porazdelitvi podatkov s pomočjo kvartilov
Figure 46: Age classes and quartiles for distribution of data in equal groups



Slika 47: Starostni razredi pri porazdelitvi podatkov s pomočjo kvintilov
Figure 47: Age classes and quintiles for distribution of data in equal groups

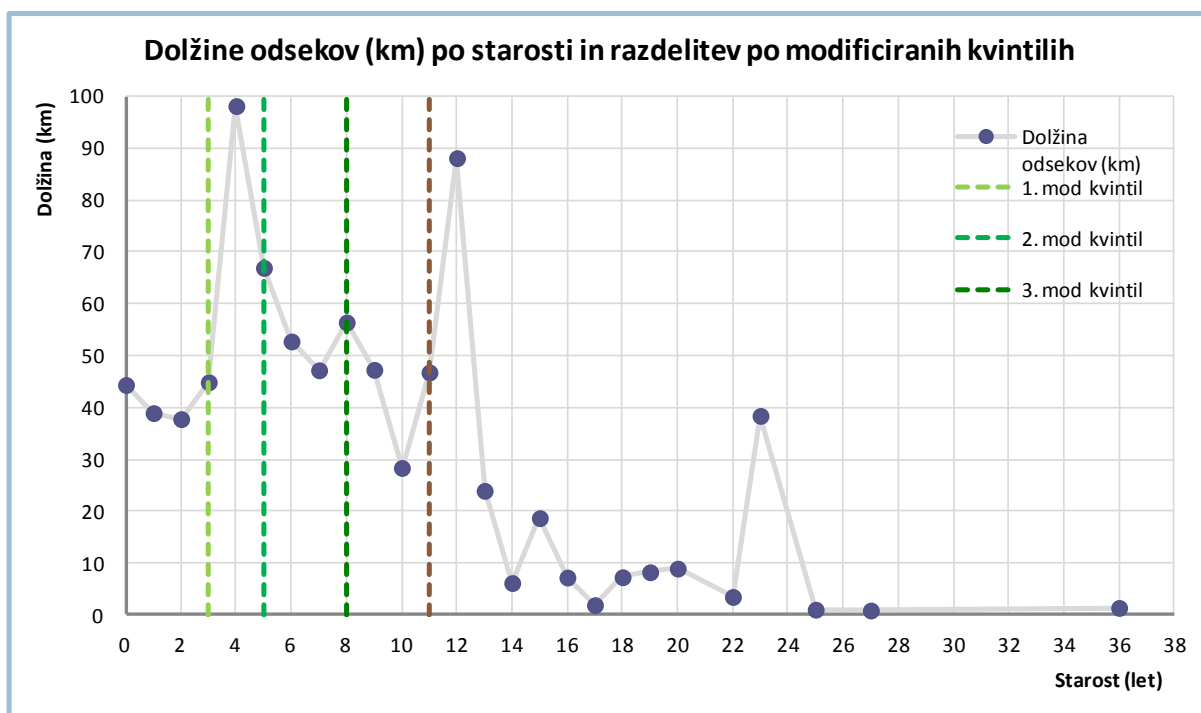
Starost obrabnih plasti je podana v letih (celih številkah), posameznih podatkov z enako starostjo pa je veliko, kar je vodilo do nekaj anomalij pri tem izračunu. Npr. od 1. kvintila (3 leta) je 20 % podatkov manjših, 80 % pa večjih. Vendar so v teh 20 % vse obrabne plasti, mlajše od 3 let, pa tudi nekaj starih 3 leta. V 80 % pa so vse obrabne plasti, starejše od 3 let, pa tudi veliko starih 3 leta. Zato sem dodatno primerjal dejansko število podatkov, ki bi jih v nadaljnjih analizah primerjal, če bi uporabil izračunane kvartile in kvintile. Tako sem prišel do

rezultatov, ki jih prikazuje preglednica 10. Tako je npr. podatkov o starosti, manjši od 1. kvintila (3 leta) za 14,7 % vseh podatkov.

Preglednica 10: Primerjava dejanskih podatkov ob upoštevanju različnih mejnih starosti
Table 10: Comparison of real amount of data when applying different limits for age classes

Oznaka	Delež podatkov / starost (do <i>n</i> let)					
	kvartil		kvintil		modificirani kvintil	
1.	20,1 %	4	14,7 %	3	20,1 %	3
2.	26,4 %	7	17,3 %	5	20,0 %	5
3.	27,4 %	12	27,1 %	9	18,9 %	8
4.	26,1 %	36	14,8 %	12	25,5 %	11
5.		---	26,1 %	36	15,4 %	36
Skupaj	100 %		100 %		100 %	

Kot je iz preglednice razvidno, striktno upoštevanje kvartilov ali kvintilov vseeno pripelje do precej različne porazdeljenosti podatkov za nadaljnje analize. Ob takih rezultatih sem nazadnje izbral modifikacijo izračunanih kvintilov in za meje starostnih razredov postavil navedene v prejšnji preglednici in na naslednji sliki.



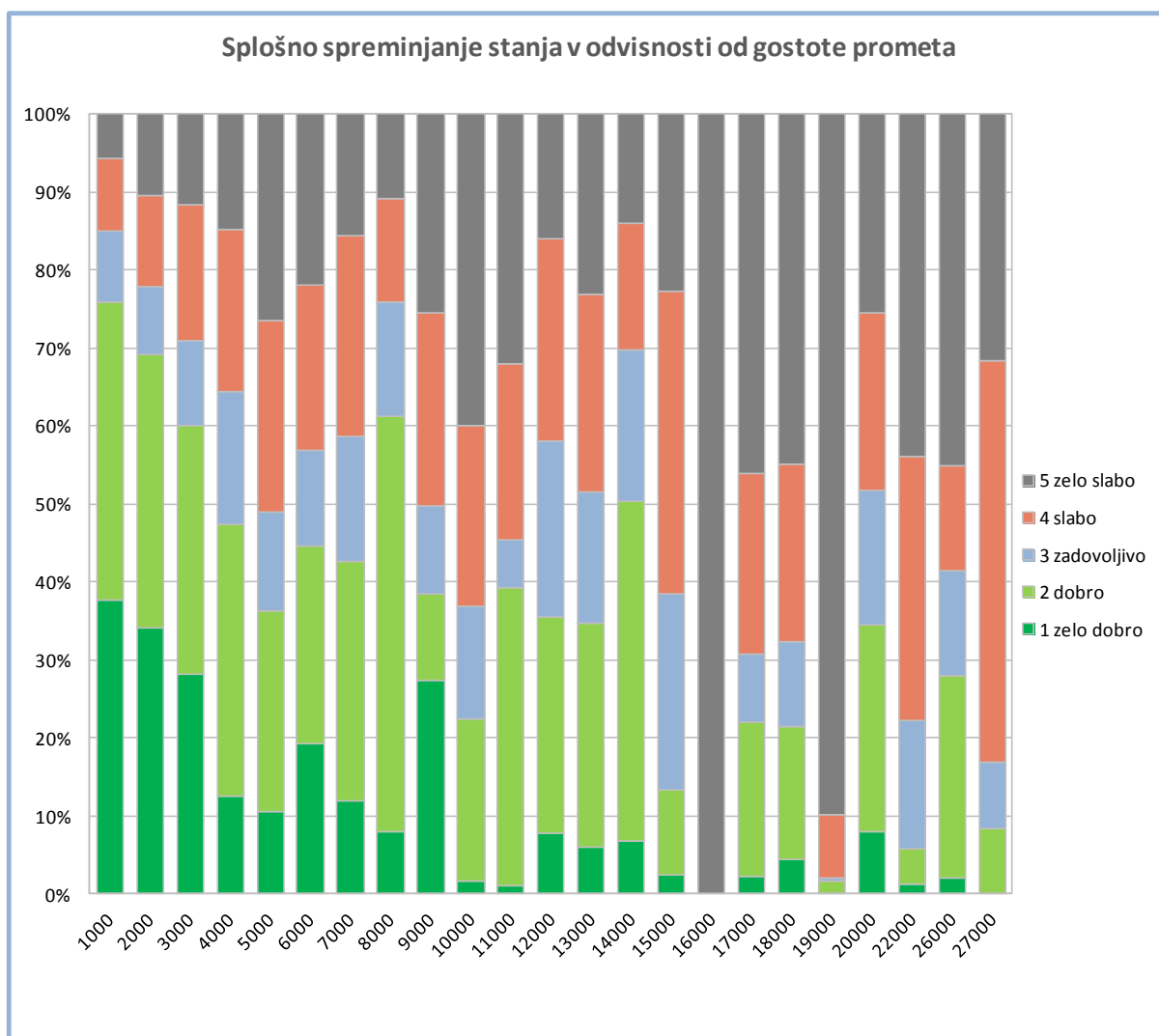
Slika 48: Starostni razredi pri porazdelitvi podatkov s pomočjo modificiranih kvintilov
Figure 48: Age classes according to modified quintiles

5.3.6 Prometne obremenitve

Prometne obremenitve so na avtocestnih odsekih običajno bistveno višje kot na odsekih ostalih državnih cest. Kljub temu so tudi na avtocestah velike razlike od odseka do odseka. Hkrati pa je prometna obremenitev (v nalogi je kot mera zanjo upoštevan PLDP – povprečni

dnevni letni promet) bistven parameter, ki vpliva na obrabo izpostavljenih zrn v vozni površini, in s tem tudi na torno sposobnost.

To je razvidno tudi iz enega izmed rezultatov seminarske naloge [28], kjer sem na različne načine primerjal podatke o vozni površini za državne ceste v upravljanju DRSI. Pri eni izmed primerjav sem preveril, kako se splošno stanje glede torne sposobnosti spreminja s prometom. Primerjava je potrdila, da se stanje izrazito poslabšuje, ko se količina prometa povečuje (kot prikazuje slika 49). Pri nekaterih razredih prometa je zaradi majhnih dolžin stanje očitno popačeno, npr. pri PLDP 16000 ali 19000.



Slika 49: Splošno stanje torne sposobnosti glede na gostoto prometa
Figure 49: Influence of traffic on pavement skid resistance

Podobno kot pri starosti je tudi pri prometni obremenitvi razpon PLDP na avtocestah precej velik. V tem primeru sem podatke razdelil na štiri razrede, v odvisnosti od PLDP:

- PLDP > 60000,
- 60000 > PLDP > 35000,
- 35000 > PLDP > 15000, in
- PLDP < 15000.

5.4 Iskanje korelacij

5.4.1 Velikost povezanosti spremenljivk

Za določanje korelacij med torno sposobnostjo in posameznimi vplivnimi parametri sem se poslužil funkcij in regresijske analize v programski opremi MS Excel.

Regresijska analiza je statistični postopek določanja povezav med spremenljivkami. Vključuje različne tehnike modeliranja in analiziranja spremenljivk, pri čemer so postopki vedno osredotočeni na povezavo med odvisno in eno ali več neodvisnih spremenljivk [29].

Hkrati sem izračunaval tudi Pearsonov koeficient korelacije, matematično in statistično številsko mero, ki predstavlja velikost linearne povezanosti spremenljivk X in Y, merjenih na istem predmetu preučevanja [30].

Koeficient je definiran kot vsota vseh produktov standardnih odklonov obeh vrednosti v razmerju s stopnjami prostosti oziroma kot razmerje med kovarianco in produktom obeh standardnih odklonov [31]:

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$







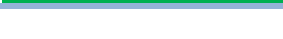
kjer je

- cov ... kovarianca spremenljivk
- σ_x ... standardni odklon spremenljivke X
- σ_y ... standardni odklon spremenljivke Y

Kovarianca pa je merilo, s katerim določamo, kako sta dve naključni spremenljivki povezani [32].

Vrednost Pearsonovega koeficienta korelacije se lahko nahaja med vrednostima -1 in 1, Pearsonov koeficient 0 pa označuje ničelni vpliv ene spremenljivke na drugo. Izračunano povezanost lahko opišemo tudi tako [30]:

Preglednica 11: Ovrednotenje stopenj povezanosti s Pearsonovim koeficientom korelacije
Table 11: Interpretation of correlation based on the Pearson product-moment correlation coefficient

MEJNO OBMOČJE	STOPNJA POVEZANOSTI	BARVNA KODA
0,00	ni povezanosti	
0,01-0,19	neznatna povezanost	
0,20-0,39	nizka/šibka povezanost	
0,40-0,69	srednja/zmerna povezanost	
0,70-0,89	visoka/močna povezanost	
0,90-0,99	zelo visoka/zelo močna povezanost	
1,00	popolna (funkcijska) povezanost	

Barvne kode in stopnje povezanosti sem uporabil pri analizah v nadaljevanju.

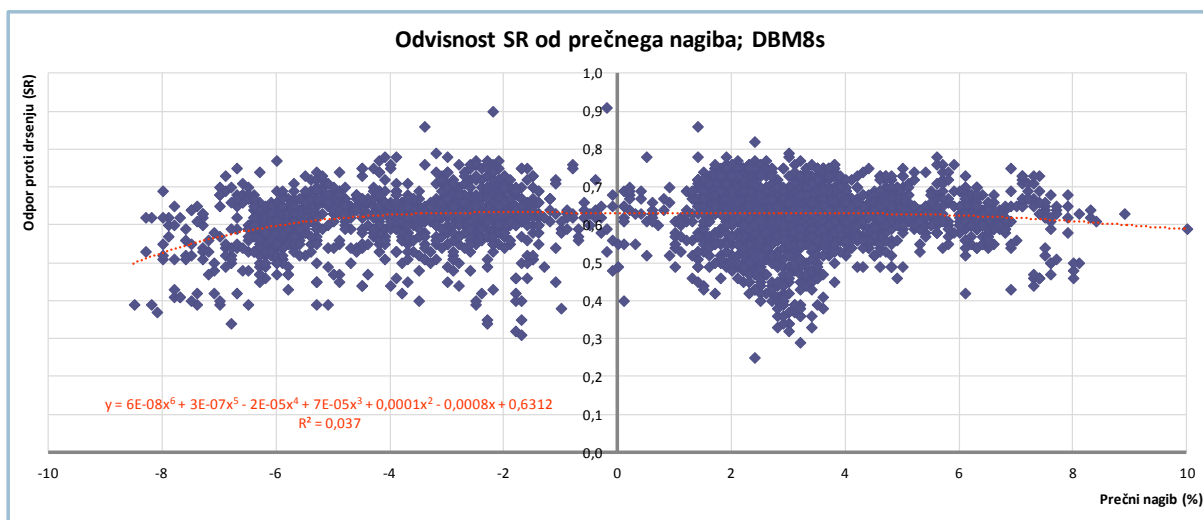
5.4.2 Osnovne korelacije

Iskanje korelacij sem začel z regresijsko analizo in določanjem Pearsonovega koeficienta korelacije med torno sposobnostjo (in SR kot mero zanjo) ter:

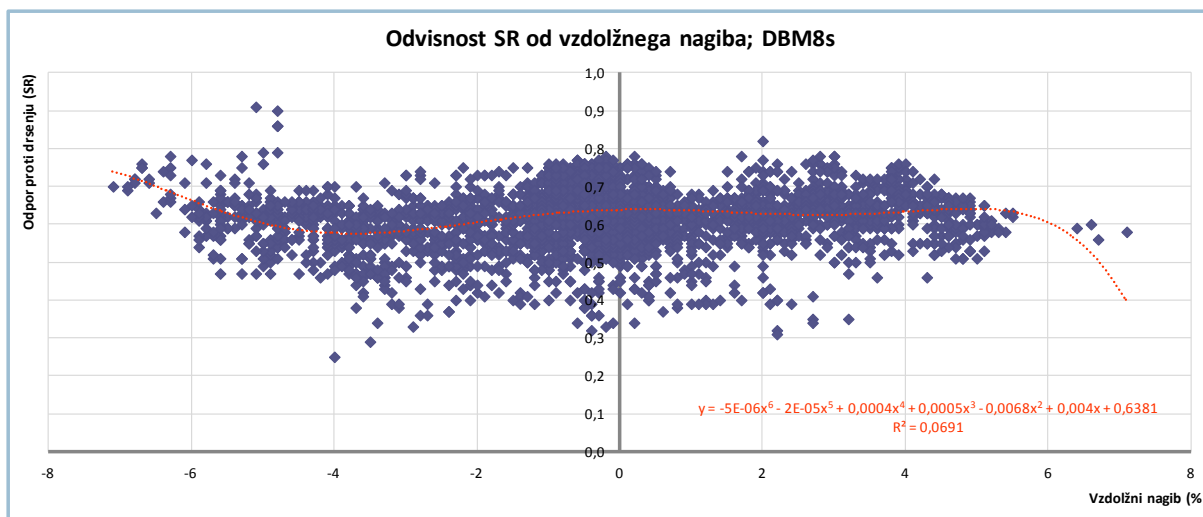
- prečnim nagibom,
- vzdolžnim nagibom,
- horizontalnim radijem ukrivljenosti,
- vertikalnim radijem ukrivljenosti, in
- starostjo vozne površine.

To sem naredil za vsako od petih neizločenih obrabnozapravnih plasti, ki se pojavljajo na avtocestah in za katere je bilo na voljo dovolj podatkov (vgrajene so na dovolj velikem številu km, glej poglavje 5.3.1).

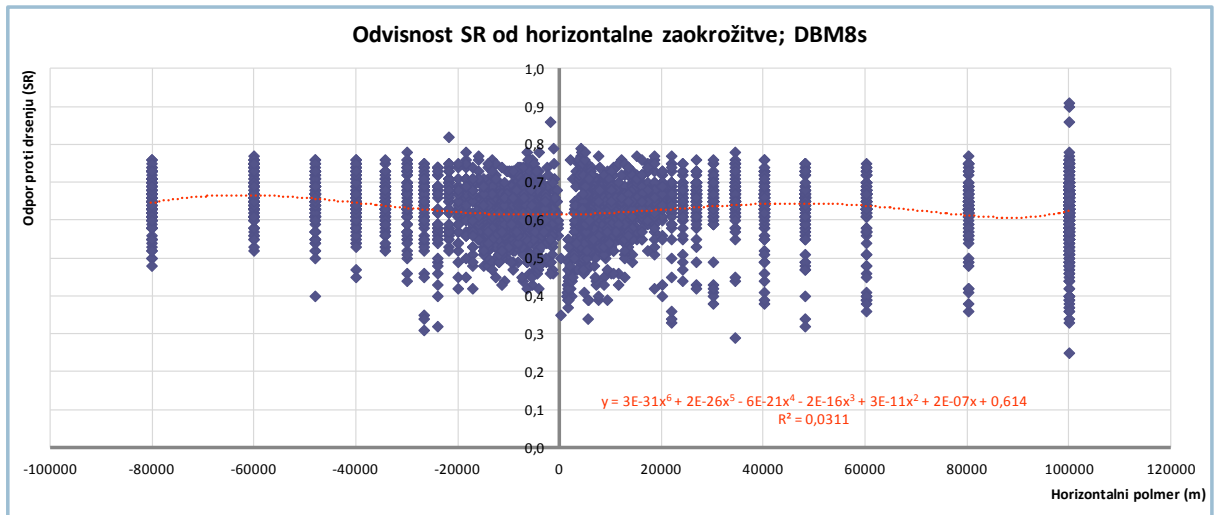
Za najpogostejšo izmed njih, DBM8s, so rezultati prikazani na naslednjih slikah.



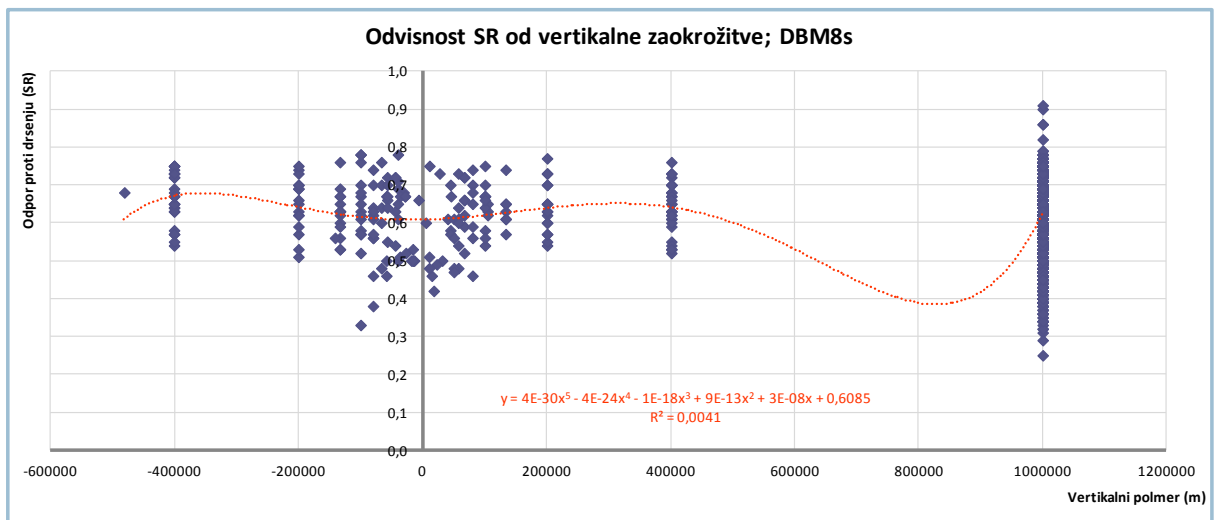
Slika 50: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s
Figure 50: Correlation between SR and crossfall, for SMA8



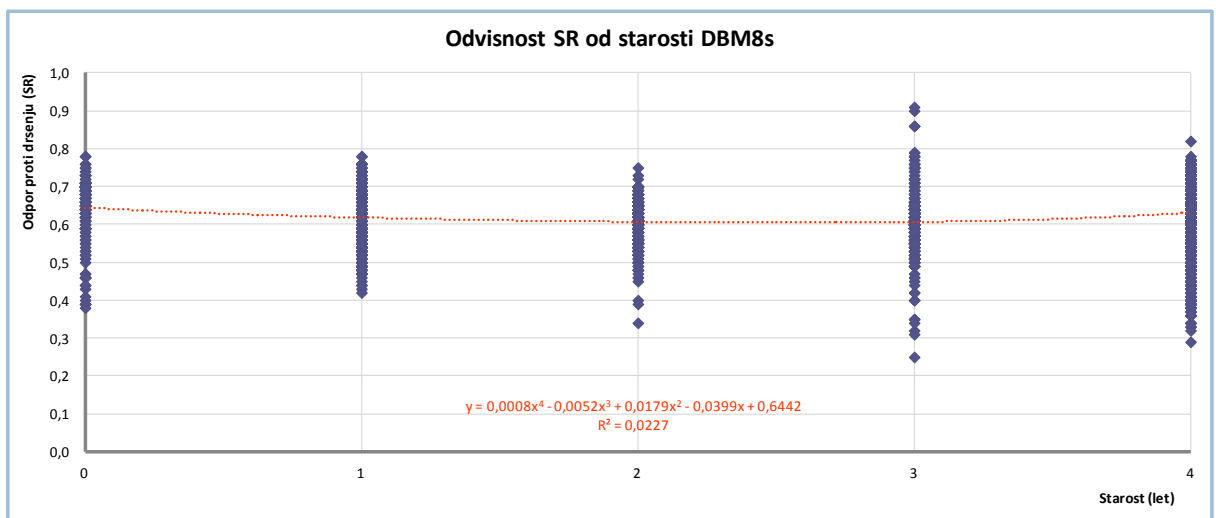
Slika 51: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s
Figure 51: Correlation between SR and slope, for SMA8



Slika 52: Odvisnost SR od horizontalnih radijev, za DBM8s
Figure 52: Correlation between SR and horizontal curvature, for SMA8



Slika 53: Odvisnost SR od vertikalnih radijev, za DBM8s
Figure 53: Correlation between SR and vertical curvature, for SMA8



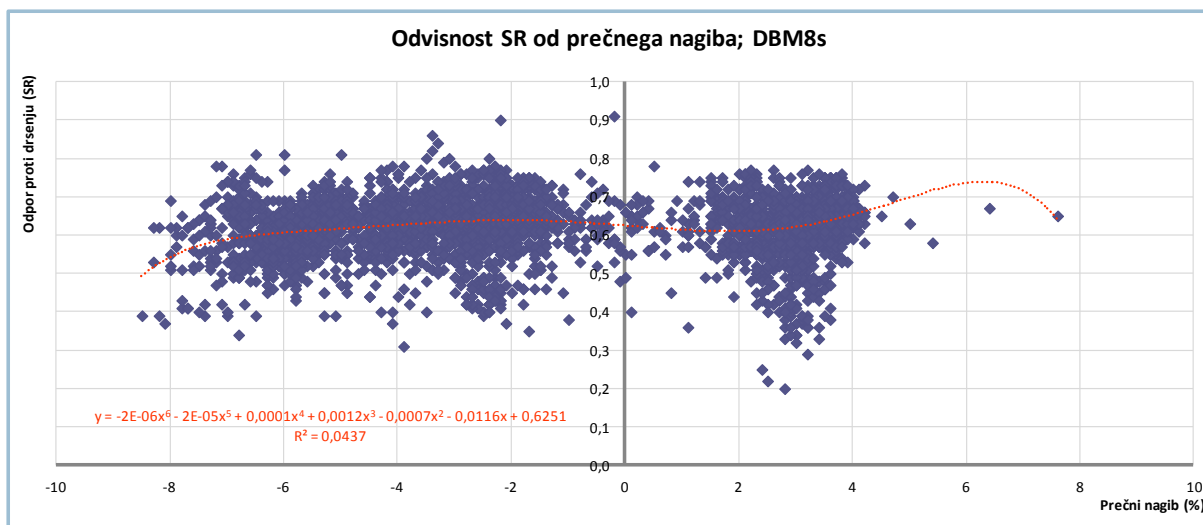
Slika 54: Odvisnost SR od starosti, za DBM8s
Figure 54: Correlation between SR and pavement surface age, for SMA8

Vsaka od zgornjih slik prikazuje grafikone torne sposobnosti in posamezen vplivni parameter, trendno črto, ki se najbolj prilagaja podatkom, enačbo trendne črte in koeficient korelacije. Kljub iskanju različnih trendnih črt sem ugotovil, da so rezultati meritev torne sposobnosti toliko razpršeni, da povezanosti med SR in parametri praktično ni.

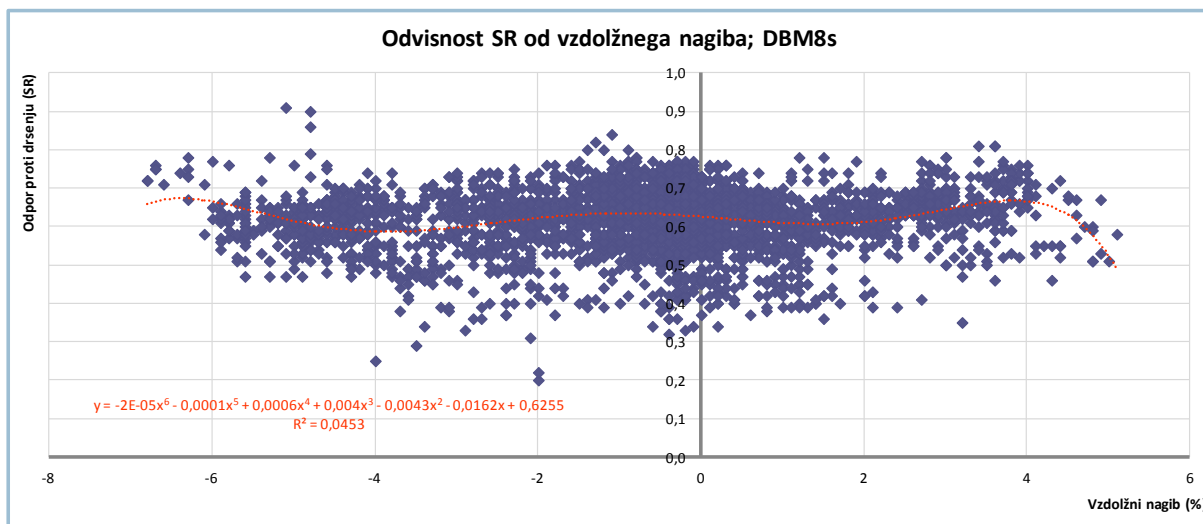
Priloga B vsebuje grafikone za vse obravnavane obrabnozaprone plasti.

Nadaljnje korelacije sem iskal za iste vplivne parametre in obrabnozaprone plasti, le da sem tokrat vse podatke razdelil na dve skupini: za desne in za leve krivine. Vse grafikone vsebujeta priloga C in priloga D, tu so prikazani rezultati le za najpogostejšo plast, DBM8s.

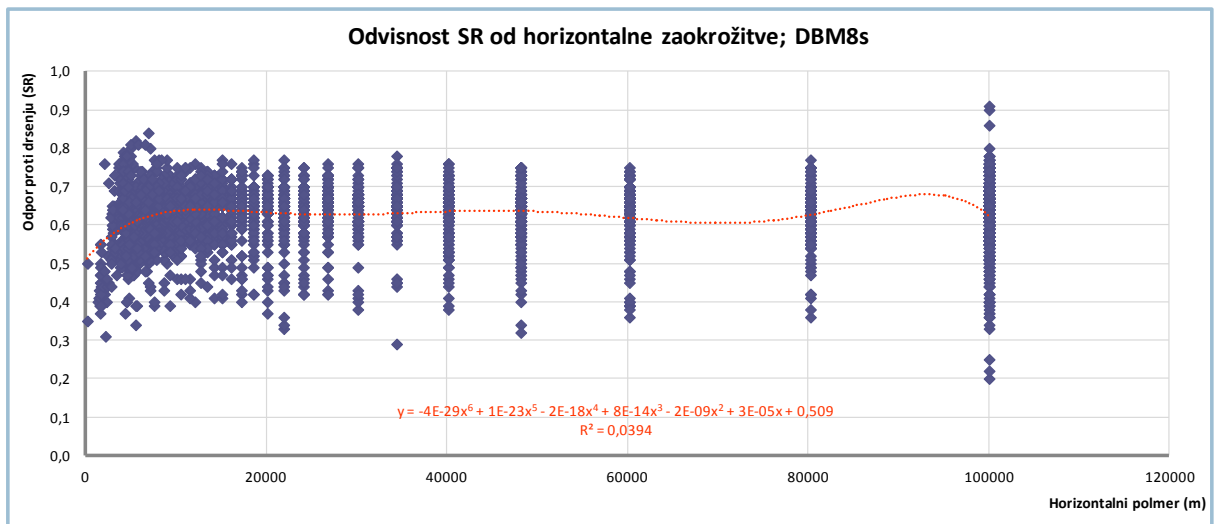
Rezultati za desne krivine:



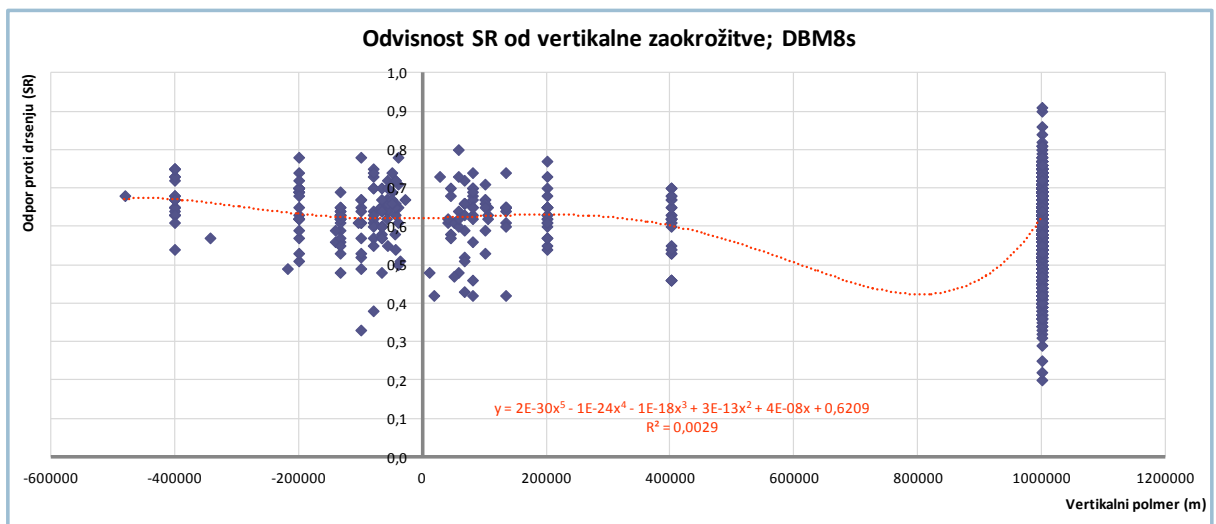
Slika 55: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, desne krivine
Figure 55: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, right turns



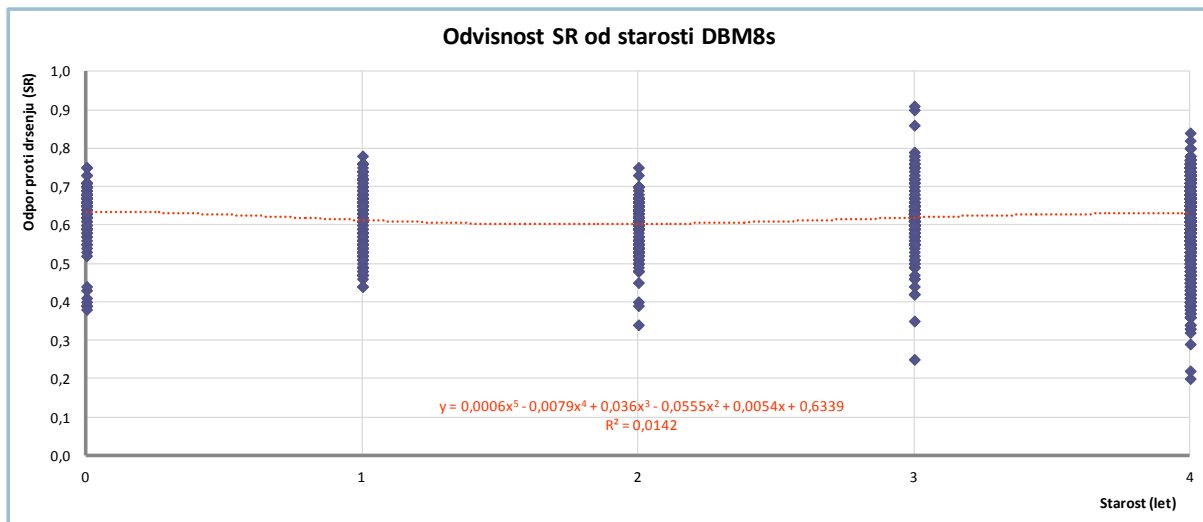
Slika 56: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, desne krivine
Figure 56: Correlation between SR and slope, for SMA8, right turns



Slika 57: Odkvisnost SR od horizontalnih radijev, za DBM8s, desne krivine
Figure 57: Correlation between SR and horizontal curvature, for SMA8, right turns

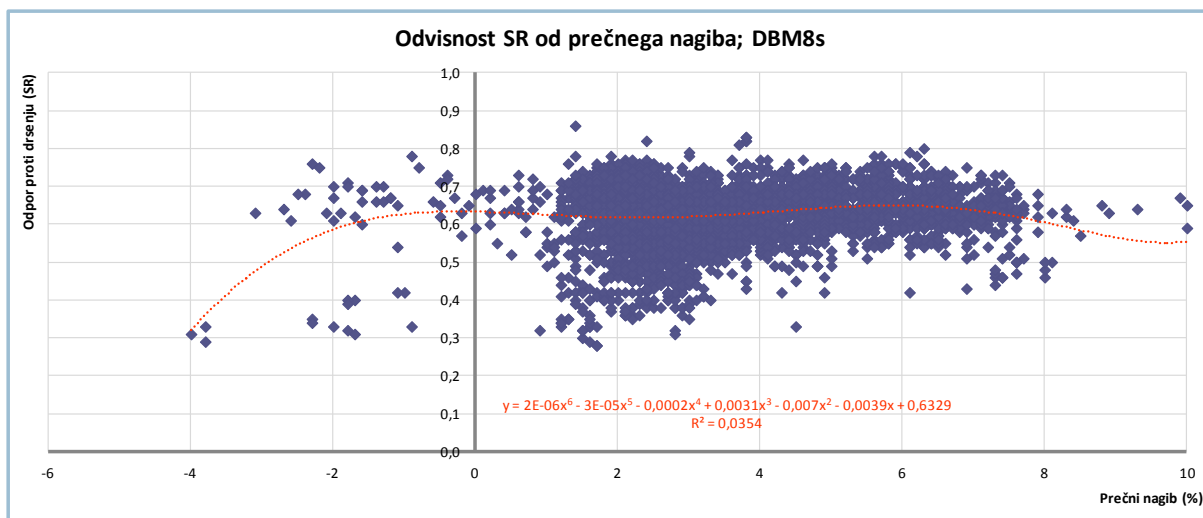


Slika 58: Odkvisnost SR od vertikalnih radijev, za DBM8s, desne krivine
Figure 58: Correlation between SR and vertical curvature, for SMA8, right turns

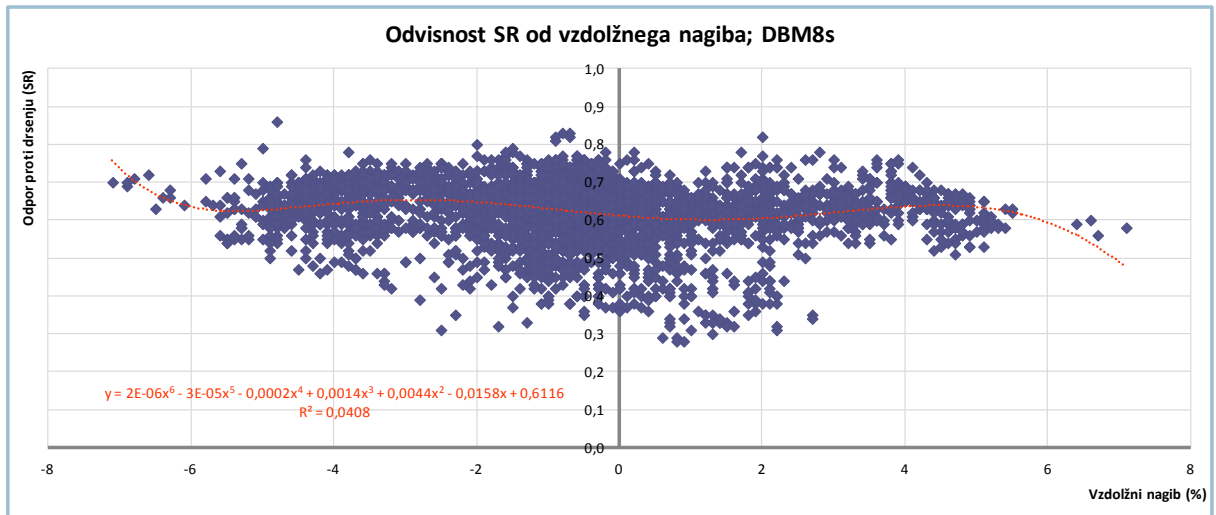


Slika 59: Odvisnost SR od starosti, za DBM8s, desne krivine
Figure 59: Correlation between SR and pavement surface age, for SMA8, right turns

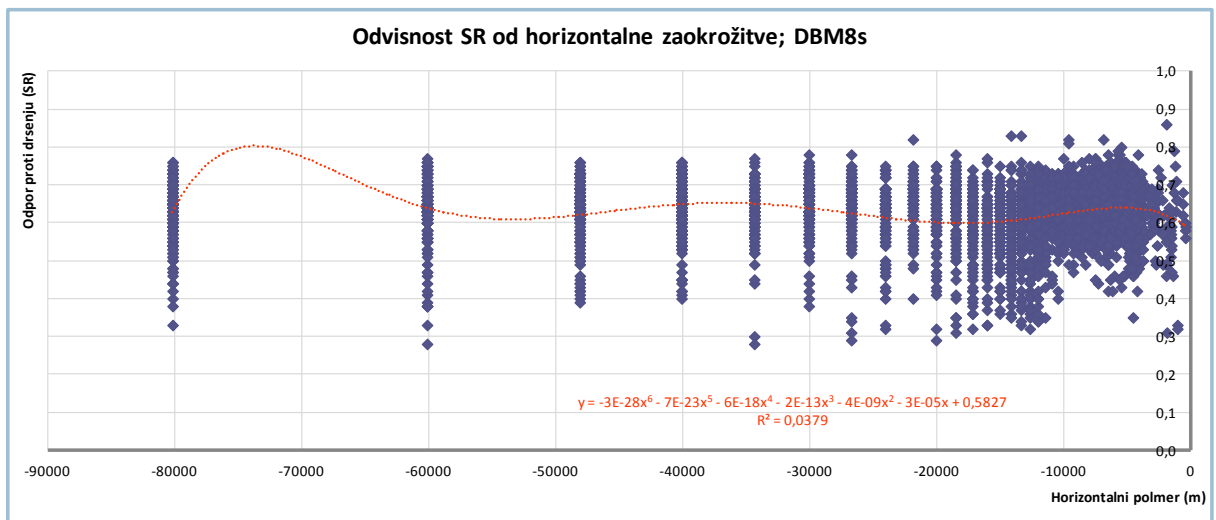
Rezultati za leve krivine:



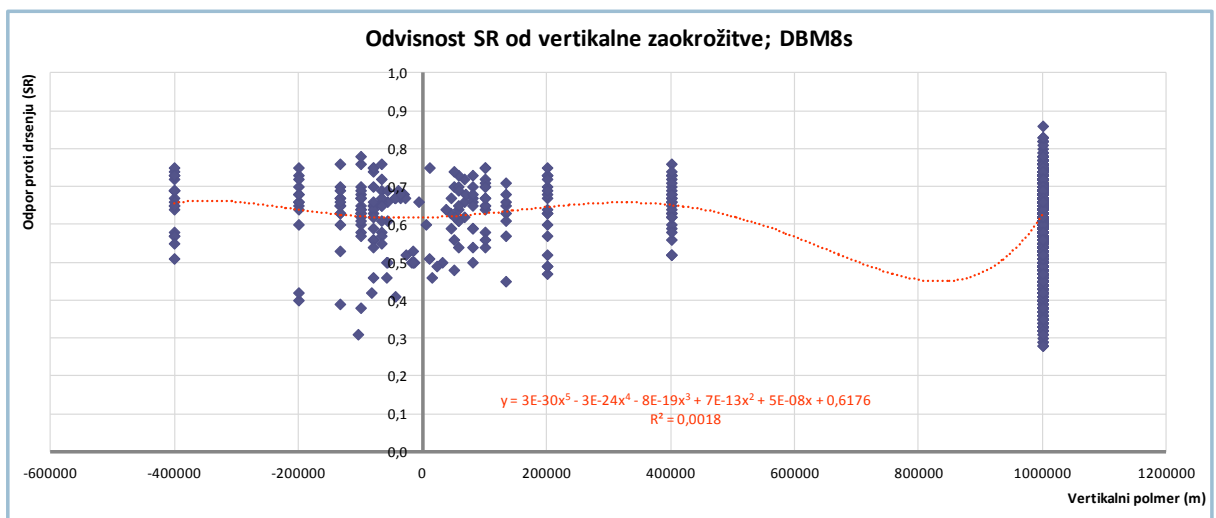
Slika 60: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, leve krivine
Figure 60: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, left turns



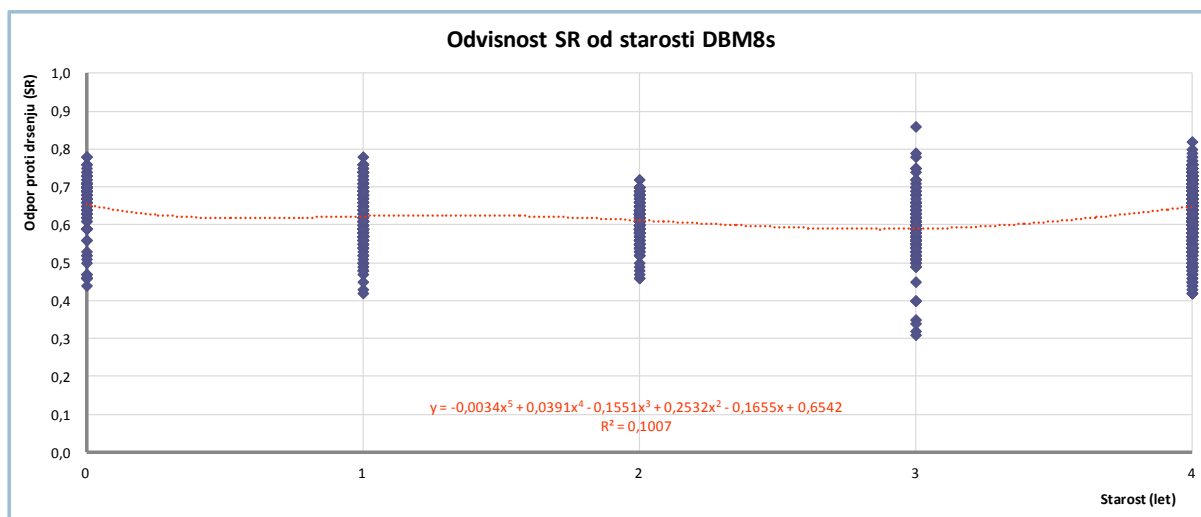
Slika 61: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, leve krivine
Figure 61: Correlation between SR and slope, for SMA8, left turns



Slika 62: Odvisnost SR od horizontalnih radijev, za DBM8s, leve krivine
Figure 62: Correlation between SR and horizontal curvature, for SMA8, left turns



Slika 63: Odvisnost SR od vertikalnih radijev, za DBM8s, leve krivine
Figure 63: Correlation between SR and vertical curvature, for SMA8, left turns



Slika 64: Odvisnost SR od starosti, za DBM8s, leve krivine

Figure 64: Correlation between SR and pavement surface age, for SMA8, left turns

Pri slikah odvisnosti od starosti še posebej izstopa dejstvo, da je posameznih starosti za posamezne obrabne plasti zelo omejeno število. Hkrati pa je pri vseh starostih razpon ugotovljenih vrednosti torne sposobnosti precejšen, zaradi česar korelacije med parametroma praktično ni.

5.4.3 Dodatne korelacije - starost

Kot že rečeno, sem osnovne korelacije iskal med torno sposobnostjo in naslednjimi parametri:

- prečnim nagibom,
- vzdolžnim nagibom,
- horizontalnim radijem ukrivljenosti,
- vertikalnim radijem ukrivljenosti, in
- starostjo vozne površine.

Glede na ugotovljene rezultate, sem se odločil za izvedbo še dodatnih korelacij. Pri tem sem se osredotočil samo na prečni in vzdolžni nagib, kot vplivna parametra, sem pa uvedel delitev podatkov na podlagi starosti obrabnozaprornih plasti (glej poglavje 5.3.5).

Hitro sem ugotovil, da je le ena plast vgrajena v dovolj veliko količino odsekov, da hkrati pokriva vse starostne razrede in da je njena skupna dolžina dovolj velika za izvedbo korelacij. Za ostale plasti manjka vsaj en starostni razred z dovolj podatki za nadaljnjo analizo. Kombinacije starost/obrabnozaprorna plast, ki sem jih dalje analiziral, prikazuje naslednja preglednica.

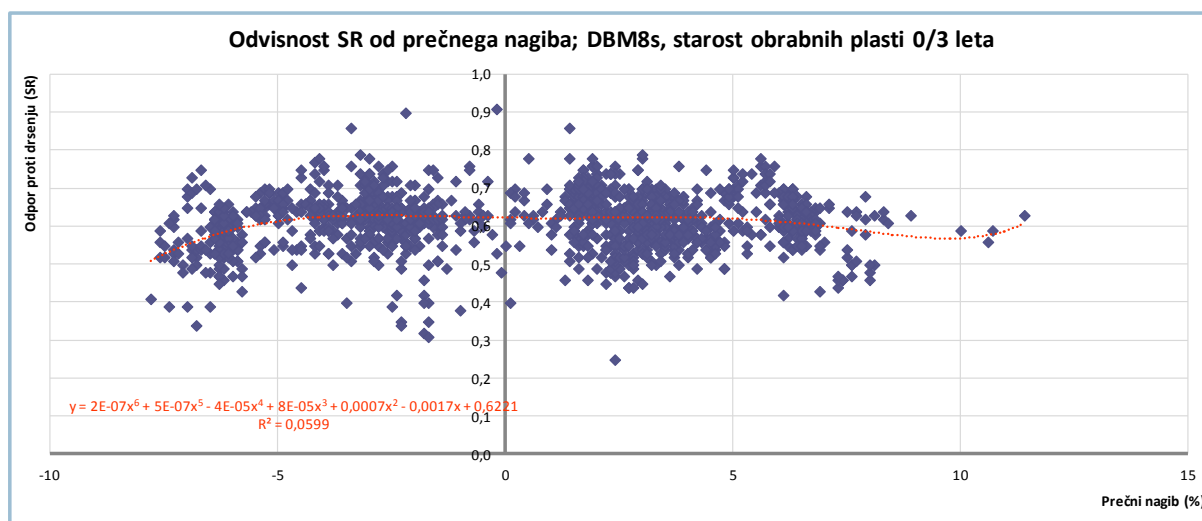
Preglednica 12: Pregled plasti za analizo z vključenimi starostnimi razredi
Table 12: Overview of surfaces included in further analysis with age classes added

Obrabna plast	Skupna dolžina upoštevanih odsekov (km) za posamezne starostne razrede				
	0/3 let	4/5 let	6/8 let	9/11 let	12/36 let
BB11s	0,00	0,00	0,34	2,62	76,04
BB8s	1,00	0,00	0,00	0,14	11,62
BB11sPmB	0,00	0,00	0,00	4,04	115,40
DBM11s	133,74	14,38	26,08	24,76	0,40
DBM8s	28,34	147,80	129,82	90,82	12,08
Skupaj	163,08	162,18	156,24	122,38	215,54

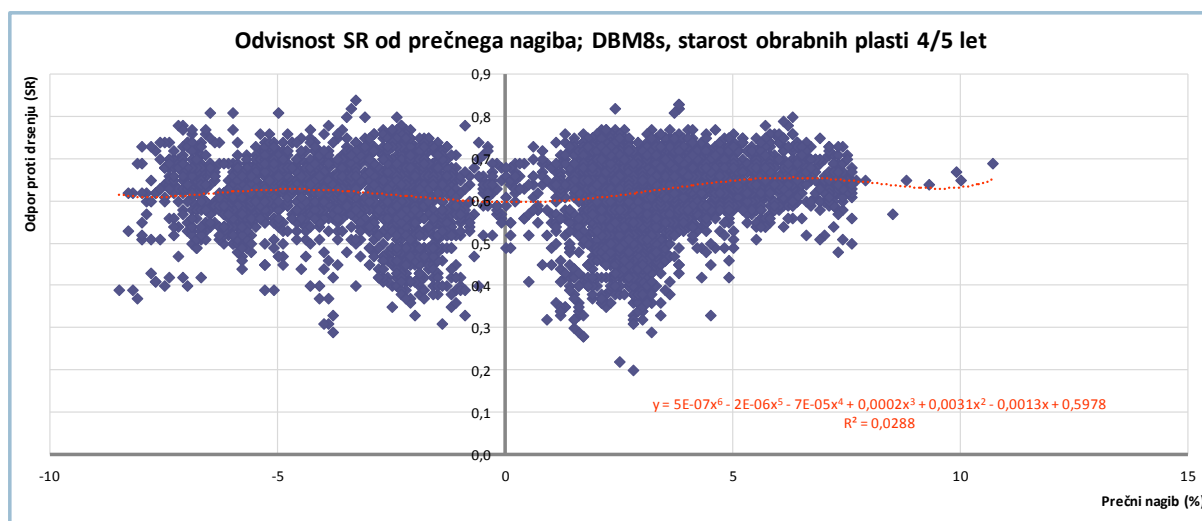
* prekratka skupna dolžina za relevantne rezultate; podatki izločeni iz analize

V nadaljevanju so prikazani rezultati za DBM8s, kjer je bilo na voljo dovolj podatkov za analizo v vseh starostnih razredih. Vse rezultate pa vsebuje priloga E.

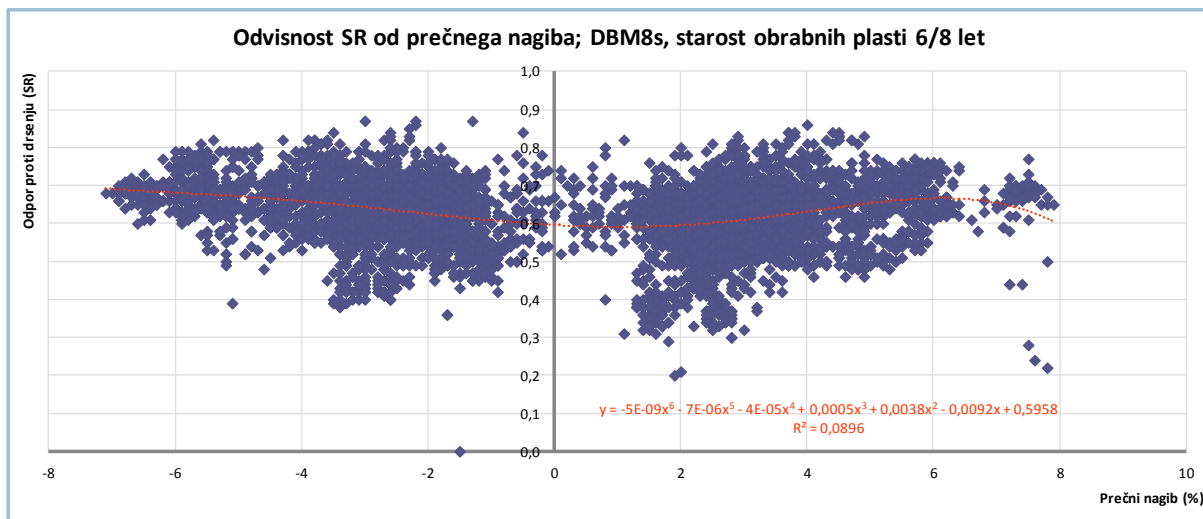
Korelacije s prečnim nagibom



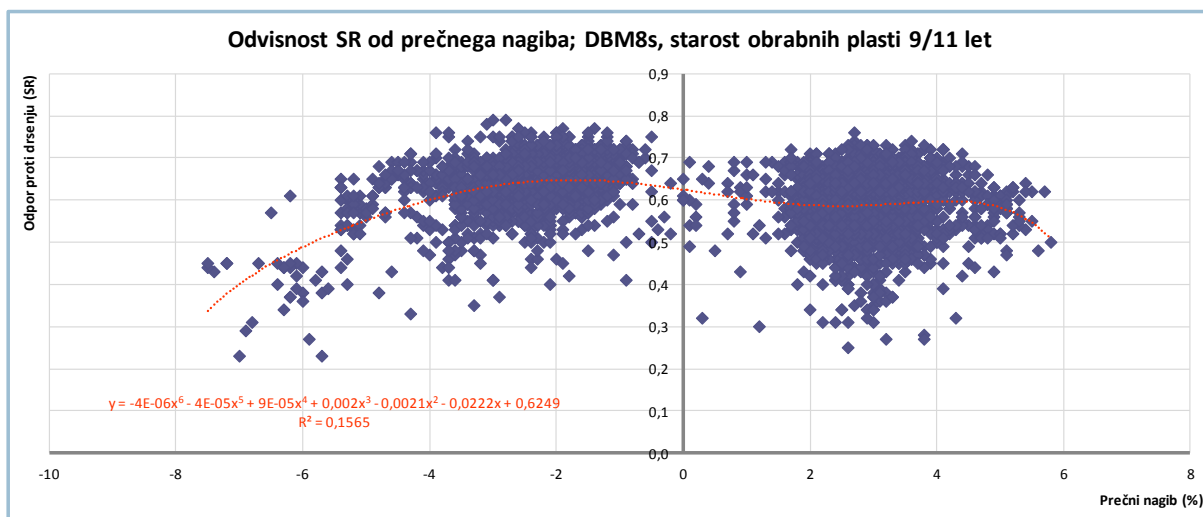
Slika 65: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 0/3 leta
Figure 65: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 0/3 years



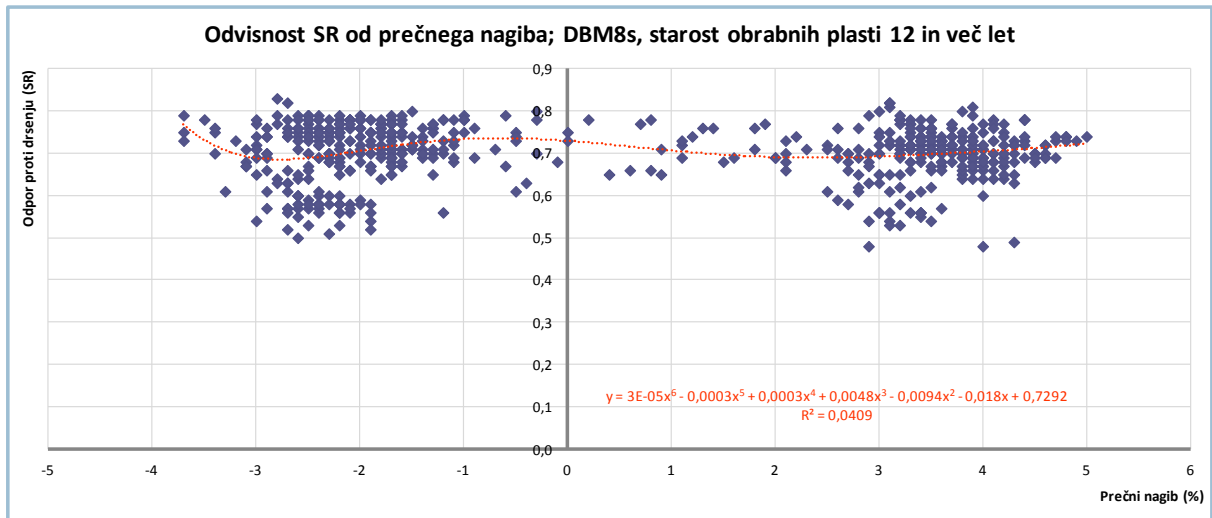
Slika 66: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 4/5 let
Figure 66: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 4/5 years



Slika 67: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 6/8 let
Figure 67: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 6/8 years

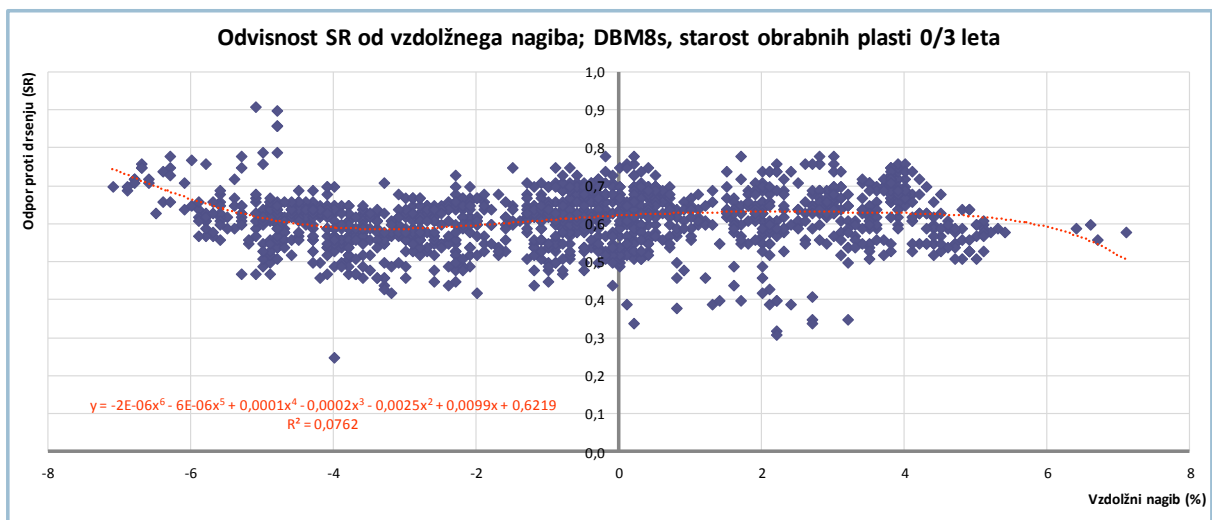


Slika 68: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost 9/11 let
Figure 68: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age 9/11 years

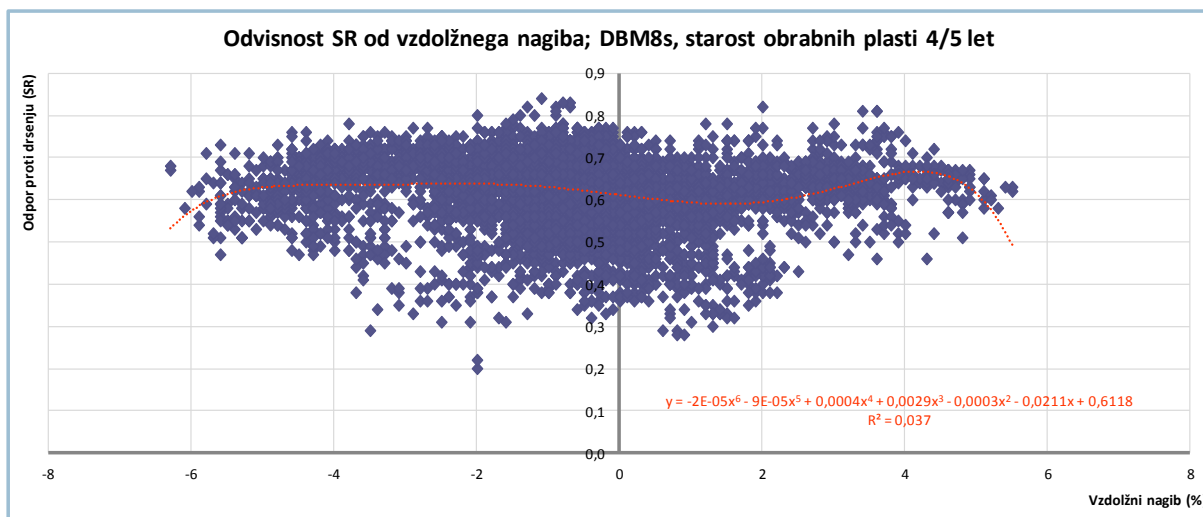


Slika 69: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, starost več kot 11 let
Figure 69: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, age above 11 years

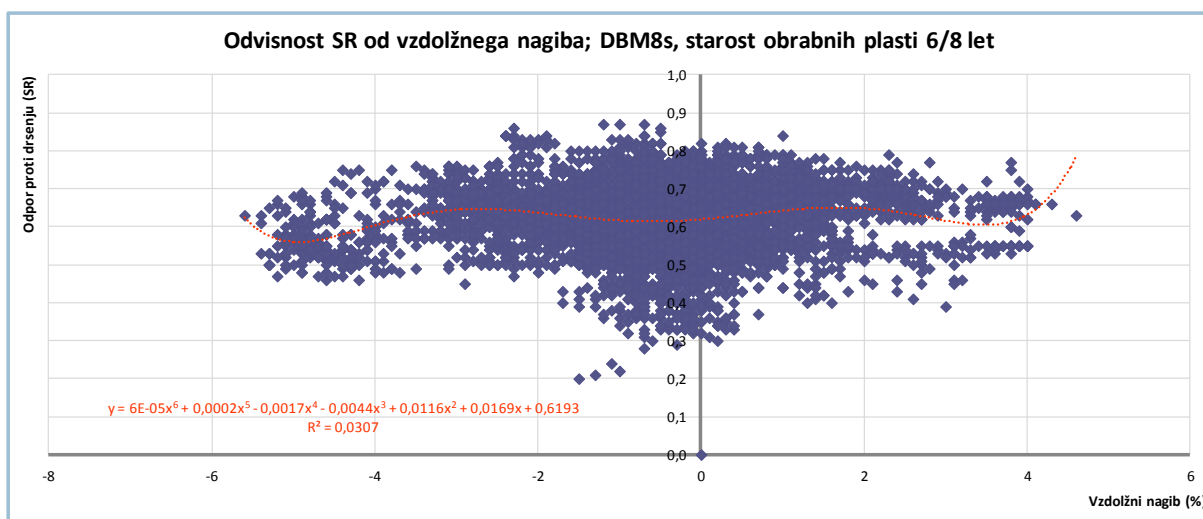
Korelacije z vzdolžnim nagibom



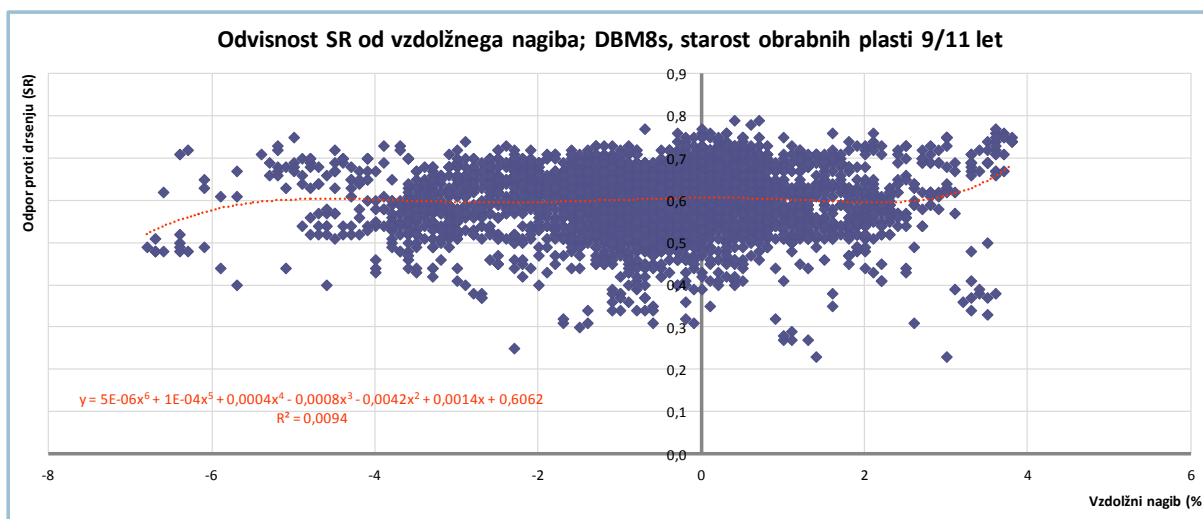
Slika 70: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 0/3 leta
Figure 70: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 0/3 years



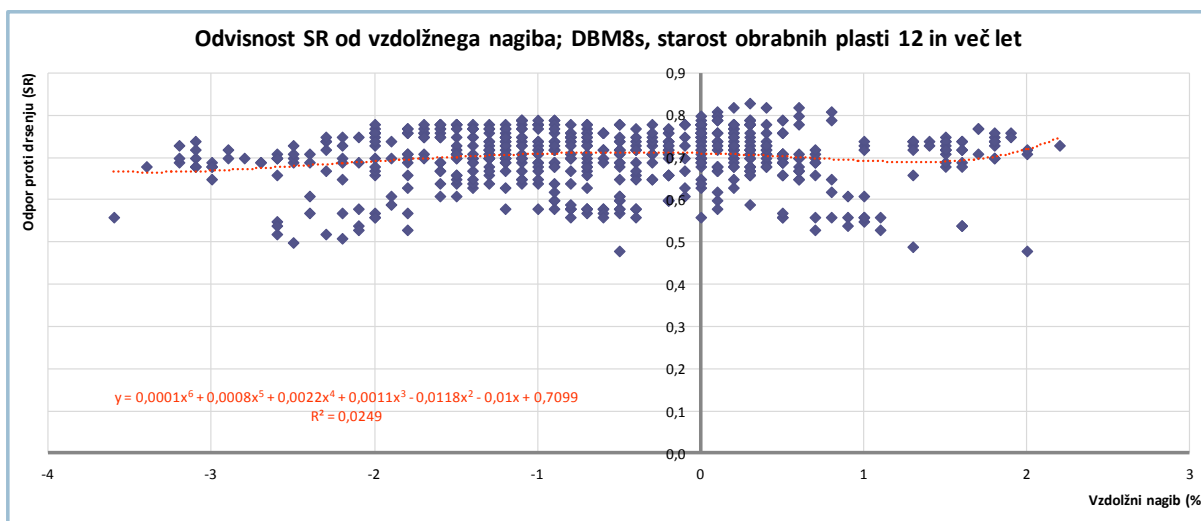
Slika 71: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 4/5 let
Figure 71: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 4/5 years



Slika 72: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 6/8 let
Figure 72: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 6/8 years



Slika 73: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost 9/11 let
Figure 73: Correlation between SR and slope, for SMA8, age 9/11 years



Slika 74: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost več kot 11 let
Figure 74: Correlation between SR and slope, for SMA8, age above 11 years

5.4.4 Dodatne korelacije – prometne obremenitve

Podobno kot pri starostnih razredih (glej poglavje 5.4.3) sem se tudi tu osredotočil samo na prečni in vzdolžni nagib, kot vplivna parametra. Sem pa uvedel delitev podatkov na podlagi prometnih obremenitev (glej poglavje 5.3.6) in jih pripravil posebej za desne in posebej za leve krivine.

Pri tem se je podobno zgodilo, da posamezne plasti ne pokrivajo vseh starostnih razredov, pri čemer je stanje različno za desne in leve krivine. V naslednjih preglednicah so z rumeno označene kombinacije, ki jih nisem upošteval, z zeleno pa tiste, ki sem jih vključil v nadaljnjo analizo.

Preglednica 13: Pregled plasti za analizo z vključenimi prometnimi razredi, desne krivine

Table 13: Overview of surfaces included in further analysis with traffic classes added, right turns

Obrabna plast	Upoštevane kombinacije obrabnih plasti in prometnih obremenitev (PLDP)			
	PLDP > 60000	60000 > PLDP > 35000	35000 > PLDP > 15000	15000 > PLDP
BB11s				
BB8s				
BB11sPmB				
DBM11s				
DBM8s				

* prekratka skupna dolžina za relevantne rezultate; podatki izločeni iz analize

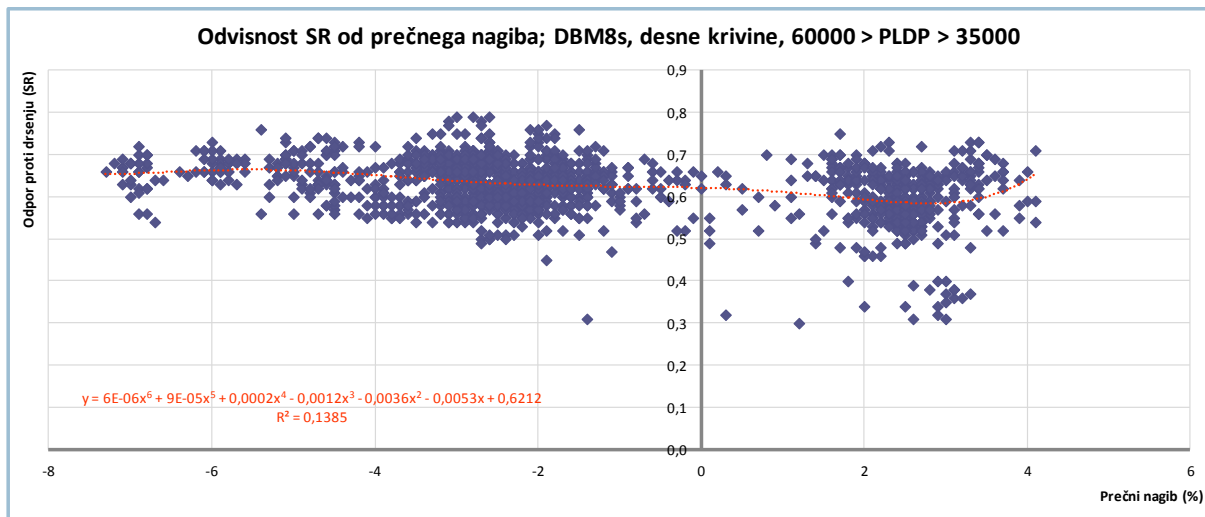
Preglednica 14: Pregled plasti za analizo z vključenimi prometnimi razredi, leve krivine
Table 14: Overview of surfaces included in further analysis with traffic classes added, left turns

Obrabna plast	Upoštevane kombinacije obrabnih plasti in prometnih obremenitev (PLDP)			
	PLDP > 60000	60000 > PLDP > 35000	35000 > PLDP > 15000	15000 > PLDP
BB11s	Yellow	Green	Yellow	Yellow
BB8s	Yellow	Green	Yellow	Yellow
BB11sPmB	Yellow	Green	Yellow	Yellow
DBM11s	Yellow	Green	Yellow	Yellow
DBM8s	Yellow	Green	Yellow	Green

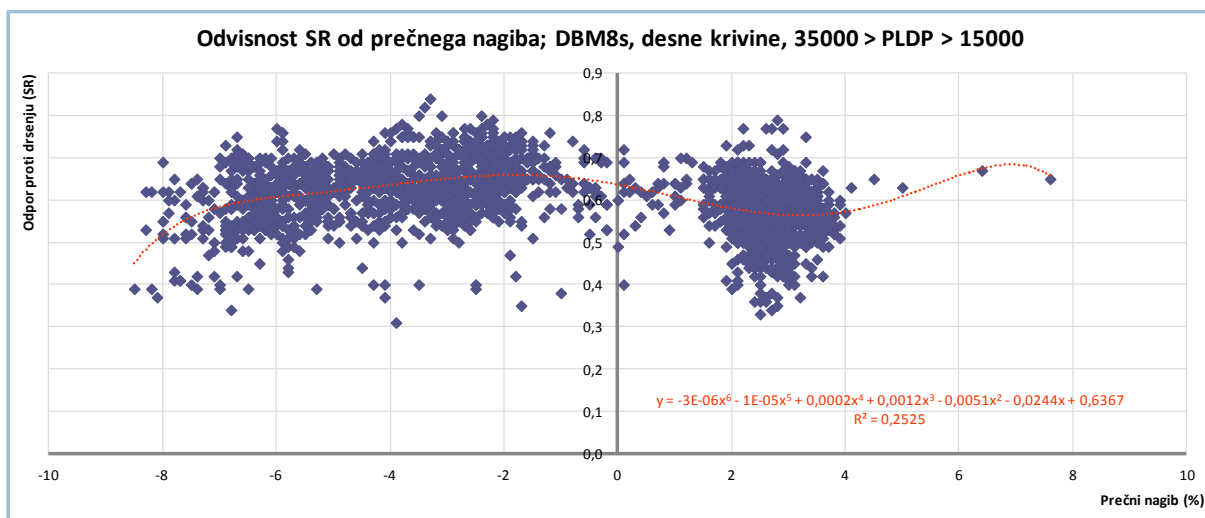
*prekratka skupna dolžina za relevantne rezultate; podatki izločeni iz analize

V nadaljevanju so prikazani rezultati za DBM8s za desne krivine, kjer je bilo na voljo dovolj podatkov za analizo v skoraj vseh starostnih razredih. Vse rezultate pa vsebujejo priloga G, priloga H, priloga I in priloga J.

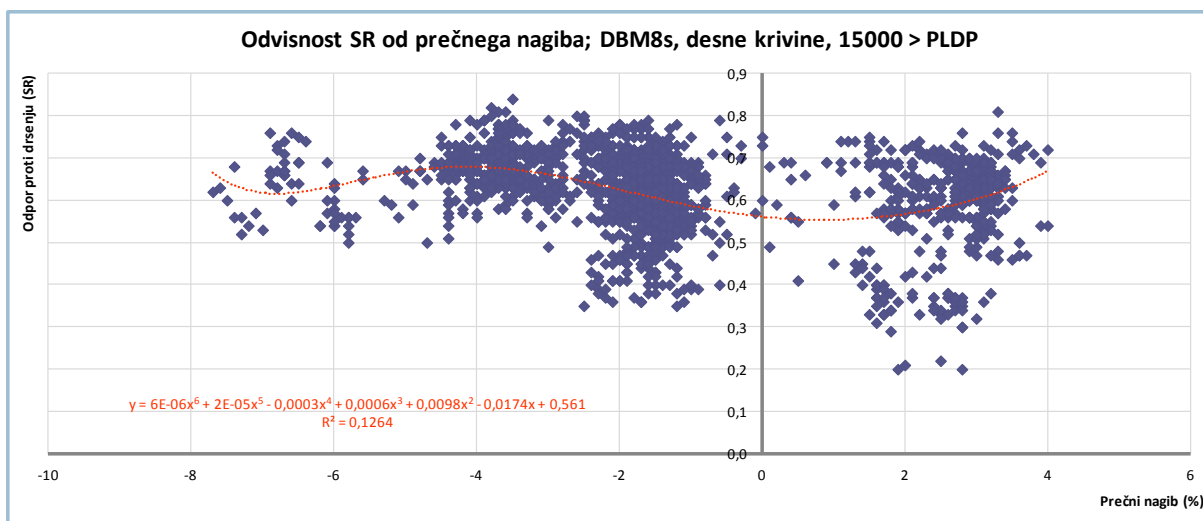
Korelacije s prečnim nagibom



Slika 75: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, starost več kot 11 let
Figure 75: Correlation between SR and slope, for SMA8, age above 11 years

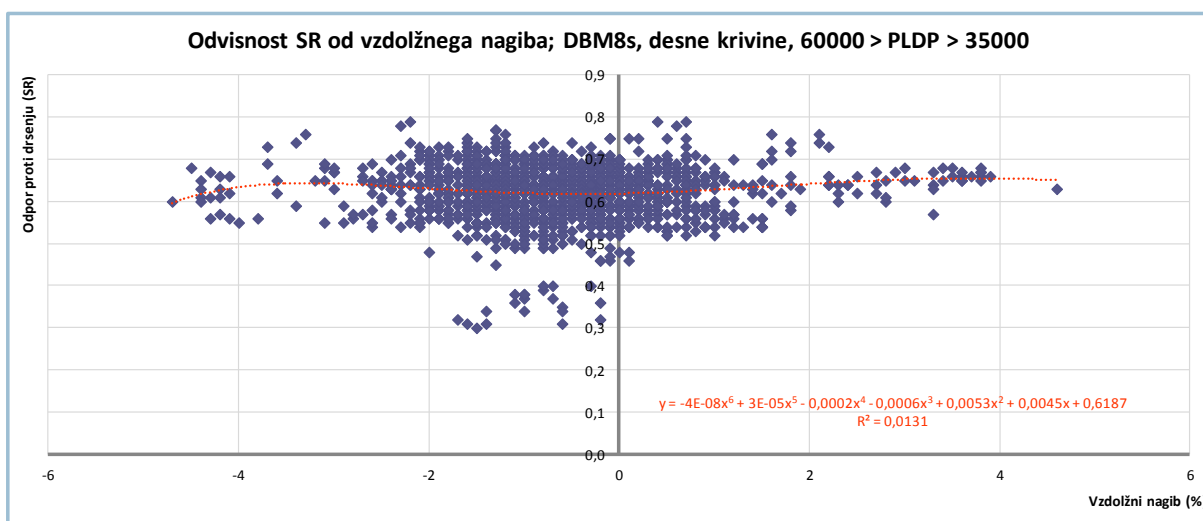


Slika 76: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, 35000>PLDP>15000
Figure 76: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, 35000>AADT>15000

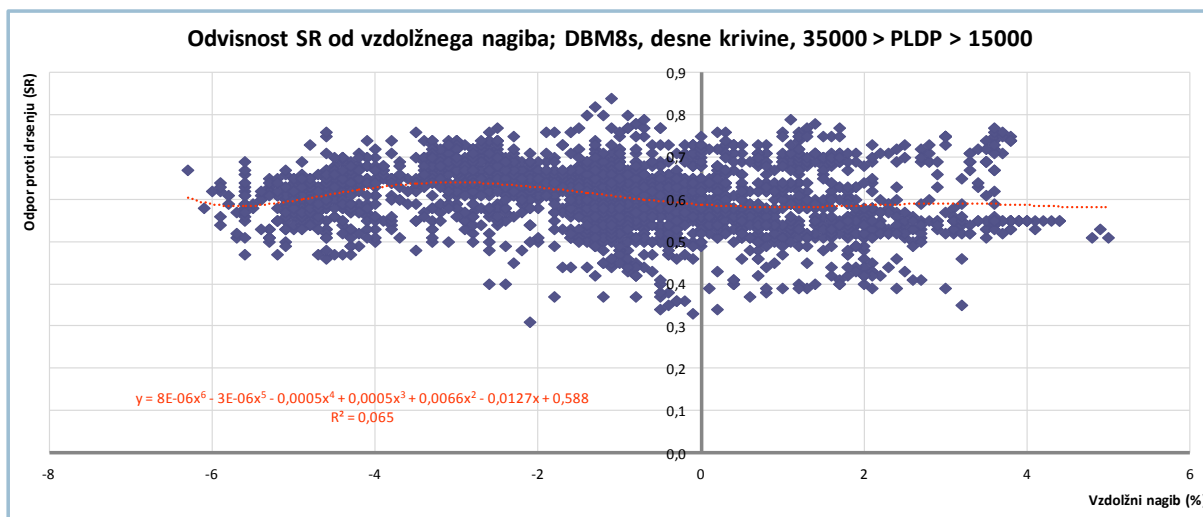


Slika 77: Odvisnost SR od prečnega nagiba, za DBM8s, 15000>PLDP
Figure 77: Correlation between SR and crossfall, for SMA8, 15000>AADT

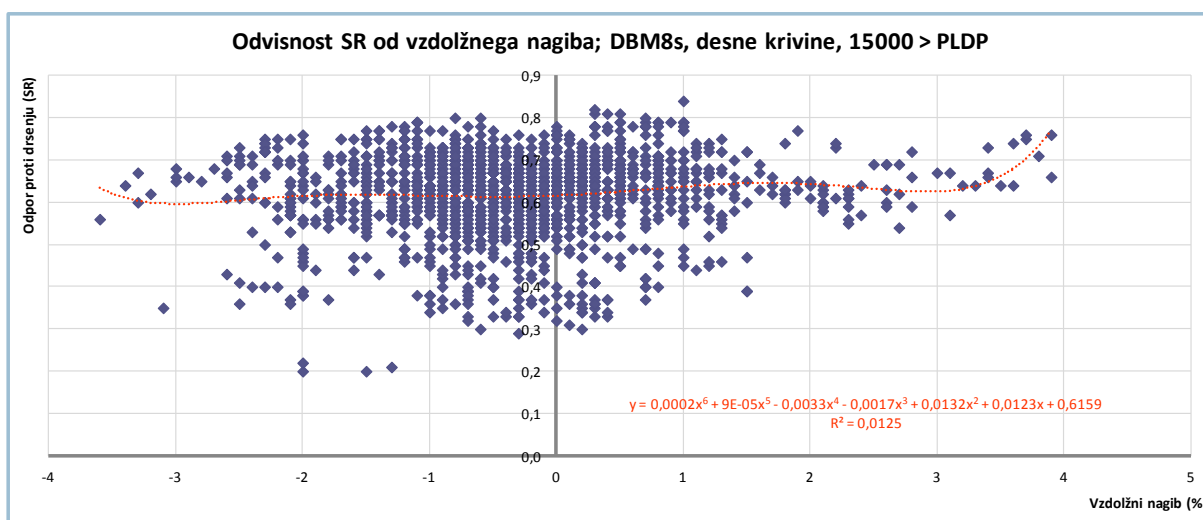
Korelacije z vzdolžnim nagibom



Slika 78: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, 60000>PLDP>35000
Figure 78: Correlation between SR and slope, for SMA8, 60000>AADT>35000



Slika 79: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, 35000>PLDP>15000
Figure 79: Correlation between SR and slope, for SMA8, 35000>AADT>15000



Slika 80: Odvisnost SR od vzdolžnega nagiba, za DBM8s, 15000>PLDP
Figure 80: Correlation between SR and slope, for SMA8, 15000>AADT

5.4.5 Zbir pripravljenih korelacij

Pri svojem delu sem preveril obstoj večjega števila morebitnih korelacij med torno sposobnostjo in različnimi vplivnimi parametri. Ob tem sem iz osnovnih korelacij prešel na dodatne, ter podatke razdelil na podpodročja (glede na vrsto krivin, starost in prometne obremenitve), z mislijo, da bom z izvedenimi delitvami prišel do boljših rezultatov.

V tem poglavju sem zaradi lažjega pregleda zbral vse ugotovljene enačbe in korelacijske koeficiente. V naslednjih preglednicah sem posamezne vplivne parametre označil z grafičnimi oznakami.

Njihov pomen je:



prečni nagib,



vzdolžni nagib,



horizontalna ukrivljenost,



vertikalna ukrivljenost,








starost obrabnozapornih plasti.

Zbrane enačbe in korelacijski koeficienti se nanašajo na iskanje povezanosti med torno sposobnostjo in:

- prečnim ter vzdolžnim nagibom, horizontalnim in vertikalnim radijem ukrivljenosti, ter starostjo vozne površine (osnovne korelacije, glej poglavje 5.4.2),
- osnovne korelacije, samo za desne krivine,
- osnovne korelacije, samo za leve krivine,
- prečnim in vzdolžnim nagibom, ločeno po obrabnozapornih površinah in starostnih razredih (dodatne korelacije, glej poglavje 5.4.3),
- prečnim nagibom, po prometnih razredih in obrabnozapornih površinah ter ločeno po vrsti krivin (dodatne korelacije, glej poglavje 5.4.4)
- vzdolžnim nagibom, po prometnih razredih in obrabnozapornih površinah ter ločeno po vrsti krivin (dodatne korelacije, glej poglavje 5.4.4).






Preglednica 15: Osnovne korelacije, vsi podatki
Table 15: Initial correlations, all data included

Korelacijske enačbe med izbranimi parametri in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti, upoštevani so vsi podatki.






	$Y = 4E-06x^6 - 0,0004x^5 + 0,0178x^4 - 0,3736x^3 + 4,2623x^2 - 24,925x + 58,822$ $Y = -0,0007x^6 + 0,0577x^5 - 2,1084x^4 + 40,769x^3 - 440,15x^2 + 2516x - 5949,1$ $Y = 2E-06x^6 - 0,0002x^5 + 0,0048x^4 - 0,0625x^3 + 0,3543x^2 - 0,6758x + 1,0291$ $Y = -0,0247x^2 + 0,0176x + 0,578$ $Y = 0,0008x^4 - 0,0052x^3 + 0,0179x^2 - 0,0399x + 0,6442$	$R^2 = 0,3409$ $R^2 = 0,0421$ $R^2 = 0,6270$ $R^2 = 0,0330$ $R^2 = 0,0227$	BB11s BB11sPmB BB8s DBM11s DBM8s
	$Y = -3E-06x^6 - 1E-05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0008x^3 - 0,0018x^2 - 0,0125x + 0,519$ $Y = 2E-06x^6 - 1E-05x^5 - 0,0002x^4 + 0,001x^3 + 0,0049x^2 - 0,0143x + 0,5833$ $Y = 6E-06x^6 + 6E-05x^5 + 0,0004x^4 + 0,0022x^3 - 0,0061x^2 - 0,0457x + 0,6028$ $Y = -4E-06x^6 - 2E-05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0013x^3 - 0,0038x^2 - 0,0141x + 0,5901$ $Y = 6E-08x^6 + 3E-07x^5 - 2E-05x^4 + 7E-05x^3 + 0,0001x^2 - 0,0008x + 0,6312$	$R^2 = 0,0325$ $R^2 = 0,0463$ $R^2 = 0,2781$ $R^2 = 0,0224$ $R^2 = 0,0370$	BB11s BB11sPmB BB8s DBM11s DBM8s
	$Y = 3E-05x^6 + 8E-07x^5 - 0,0015x^4 + 0,0001x^3 + 0,0229x^2 + 0,0123x + 0,4875$ $Y = -6E-06x^6 - 8E-05x^5 + 9E-07x^4 + 0,003x^3 + 0,0042x^2 - 0,016x + 0,5943$ $Y = 9E-05x^6 + 0,0001x^5 - 0,0031x^4 - 0,0015x^3 + 0,0264x^2 - 0,0209x + 0,5268$ $Y = 2E-06x^6 - 3E-05x^5 - 8E-05x^4 + 0,001x^3 + 0,0019x^2 - 0,002x + 0,5643$ $Y = -5E-06x^6 - 2E-05x^5 + 0,0004x^4 + 0,0005x^3 - 0,0068x^2 + 0,004x + 0,6381$	$R^2 = 0,1278$ $R^2 = 0,0368$ $R^2 = 0,1022$ $R^2 = 0,0158$ $R^2 = 0,0691$	BB11s BB11sPmB BB8s DBM11s DBM8s
	$Y = 2E-31x^6 - 3E-26x^5 - 3E-22x^4 + 2E-16x^3 - 1E-11x^2 - 3E-07x + 0,5308$ $Y = -5E-31x^6 + 8E-27x^5 + 7E-21x^4 - 5E-17x^3 - 3E-11x^2 + 8E-08x + 0,6247$ $Y = -3E-30x^6 + 5E-26x^5 + 3E-20x^4 - 2E-16x^3 - 1E-10x^2 - 1E-07x + 0,5863$ $Y = 1E-30x^6 - 4E-26x^5 - 1E-20x^4 + 3E-16x^3 + 2E-11x^2 - 6E-07x + 0,5654$ $Y = 3E-31x^6 + 2E-26x^5 - 6E-21x^4 - 2E-16x^3 + 3E-11x^2 + 2E-07x + 0,614$	$R^2 = 0,0287$ $R^2 = 0,0186$ $R^2 = 0,108$ $R^2 = 0,0158$ $R^2 = 0,0311$	BB11s BB11sPmB BB8s DBM11s DBM8s
	$Y = -1E-35x^6 + 1E-29x^5 - 2E-24x^4 - 1E-18x^3 + 5E-13x^2 - 1E-07x + 0,5155$ $Y = 1E-35x^6 - 2E-29x^5 + 2E-24x^4 + 4E-18x^3 - 9E-13x^2 - 2E-07x + 0,6234$ $Y = -2E-34x^6 + 3E-28x^5 - 8E-23x^4 - 3E-17x^3 + 8E-12x^2 + 4E-07x + 0,4908$ $Y = -1E-36x^6 + 1E-29x^5 - 9E-24x^4 - 1E-18x^3 + 2E-12x^2 - 3E-08x + 0,5491$ $Y = 4E-30x^5 - 4E-24x^4 - 1E-18x^3 + 9E-13x^2 + 3E-08x + 0,6085$	$R^2 = 0,0016$ $R^2 = 0,0027$ $R^2 = 0,0174$ $R^2 = 0,0019$ $R^2 = 0,0041$	BB11s BB11sPmB BB8s DBM11s DBM8s

Preglednica 16: Osnovne korelacije, desne krivine
Table 16: Initial correlations, right turns





Korelacijske enačbe med izbranimi parametri in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti, upoštevane so samo DESNE krivine.

	$y = 5E-06x^6 - 0,0005x^5 + 0,019x^4 - 0,4049x^3 + 4,6876x^2 - 27,872x + 66,896$ $y = 0,0011x^5 - 0,0818x^4 + 2,408x^3 - 35,044x^2 + 252,27x - 718,38$ $y = 2E-06x^6 - 0,0002x^5 + 0,0047x^4 - 0,0612x^3 + 0,3355x^2 - 0,5661x + 0,8751$ $y = 0,0032x^5 - 0,0421x^4 + 0,1944x^3 - 0,3702x^2 + 0,2237x + 0,5643$ $y = 0,0006x^5 - 0,0079x^4 + 0,036x^3 - 0,0555x^2 + 0,0054x + 0,6339$	<p>BB11s R² = 0,3184</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0508</p> <p>BB8s R² = 0,6571</p> <p>DBM11s R² = 0,0512</p> <p>DBM8s R² = 0,0142</p>
	$y = 4E-06x^6 + 5E-05x^5 + 0,0002x^4 - 0,0002x^3 - 0,0021x^2 - 0,0127x + 0,5086$ $y = -2E-05x^6 - 0,0002x^5 + 0,0005x^4 + 0,0042x^3 - 0,0011x^2 - 0,03x + 0,5958$ $y = 2E-06x^6 + 3E-05x^5 + 0,0005x^4 + 0,0027x^3 - 0,0097x^2 - 0,0523x + 0,6133$ $y = -7E-06x^6 - 3E-05x^5 + 0,0004x^4 + 0,0017x^3 - 0,0062x^2 - 0,0155x + 0,5742$ $y = -2E-06x^6 - 2E-05x^5 + 0,0001x^4 + 0,0012x^3 - 0,0007x^2 - 0,0116x + 0,6251$	<p>BB11s R² = 0,0651</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0627</p> <p>BB8s R² = 0,3590</p> <p>DBM11s R² = 0,0371</p> <p>DBM8s R² = 0,0437</p>
	$y = 7E-05x^6 - 0,0003x^5 - 0,0028x^4 + 0,0059x^3 + 0,0305x^2 - 0,0013x + 0,4748$ $y = -8E-06x^6 - 0,0001x^5 + 3E-06x^4 + 0,0034x^3 + 0,0049x^2 - 0,0131x + 0,5926$ $y = 0,0001x^6 + 0,0002x^5 - 0,0046x^4 - 0,0016x^3 + 0,0408x^2 - 0,027x + 0,5056$ $y = -2E-06x^6 + 5E-06x^5 + 0,0001x^4 - 0,0002x^3 - 0,0012x^2 + 0,0041x + 0,5469$ $y = -2E-05x^6 - 0,0001x^5 + 0,0006x^4 + 0,004x^3 - 0,0043x^2 - 0,0162x + 0,6255$	<p>BB11s R² = 0,1840</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0422</p> <p>BB8s R² = 0,1925</p> <p>DBM11s R² = 0,0135</p> <p>DBM8s R² = 0,0453</p>
	$y = -8E-29x^6 + 2E-23x^5 - 3E-18x^4 + 1E-13x^3 - 4E-09x^2 + 4E-05x + 0,3699$ $y = 1E-29x^6 - 4E-24x^5 + 3E-19x^4 - 1E-14x^3 + 1E-10x^2 + 2E-06x + 0,5891$ $y = -1E-28x^6 + 4E-23x^5 - 4E-18x^4 + 2E-13x^3 - 5E-09x^2 + 5E-05x + 0,4654$ $y = -1E-28x^6 + 4E-23x^5 - 5E-18x^4 + 3E-13x^3 - 7E-09x^2 + 9E-05x + 0,2281$ $y = -4E-29x^6 + 1E-23x^5 - 2E-18x^4 + 8E-14x^3 - 2E-09x^2 + 3E-05x + 0,509$	<p>BB11s R² = 0,0414</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0116</p> <p>BB8s R² = 0,1622</p> <p>DBM11s R² = 0,1622</p> <p>DBM8s R² = 0,0394</p>
	$y = -8E-36x^6 + 9E-30x^5 + 2E-25x^4 - 1E-18x^3 - 1E-14x^2 - 5E-09x + 0,5273$ $y = 3E-35x^6 - 2E-29x^5 - 1E-23x^4 + 4E-18x^3 + 9E-13x^2 - 1E-07x + 0,5856$ $y = -5E-34x^6 + 8E-28x^5 - 3E-22x^4 - 4E-17x^3 + 2E-11x^2 + 5E-07x + 0,4174$ $y = 1E-35x^6 + 3E-30x^5 - 2E-23x^4 - 9E-19x^3 + 3E-12x^2 + 7E-08x + 0,5017$ $y = 2E-30x^5 - 1E-24x^4 - 1E-18x^3 + 3E-13x^2 + 4E-08x + 0,6209$	<p>BB11s R² = 0,0015</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0013</p> <p>BB8s R² = 0,0264</p> <p>DBM11s R² = 0,0027</p> <p>DBM8s R² = 0,0029</p>

Preglednica 17: Osnovne korelacije, leve krivine
Table 17: Initial correlations, left turns



Korelacijske enačbe med izbranimi parametri in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti, upoštevane so samo LEVE krivine.	
	$Y = 2E-06x^6 - 0,0002x^5 + 0,0051x^4 - 0,0589x^3 - 0,0557x^2 + 5,9573x - 30,811$ $Y = 0,0002x^5 - 0,0156x^4 + 0,4836x^3 - 7,4217x^2 + 56,317x - 168,37$ $Y = 2E-05x^5 - 0,0016x^4 + 0,0462x^3 - 0,5483x^2 + 2,4845x - 1,3068$ $Y = 4E-06x^6 - 3E-05x^5 - 0,0008x^4 + 0,0094x^3 - 0,0238x^2 - 0,0149x + 0,5927$ $Y = -0,0034x^5 + 0,0391x^4 - 0,1551x^3 + 0,2532x^2 - 0,1655x + 0,6542$
	$Y = 2E-05x^6 - 0,0004x^5 + 0,0015x^4 + 0,0037x^3 - 0,024x^2 - 0,0045x + 0,5912$ $Y = -2E-05x^6 + 0,0003x^5 - 0,0016x^4 - 0,0027x^3 + 0,0308x^2 - 0,0154x + 0,5203$ $Y = 0,0021x^6 - 0,0185x^5 + 0,0461x^4 - 0,0063x^3 - 0,07x^2 + 0,0049x + 0,5486$ $Y = -5E-07x^6 - 1E-05x^5 + 0,0002x^4 - 0,0002x^3 - 0,0018x^2 - 0,0018x + 0,5784$ $Y = 2E-06x^6 - 3E-05x^5 - 0,0002x^4 + 0,0031x^3 - 0,007x^2 - 0,0039x + 0,6329$
	$Y = 2E-05x^6 + 5E-05x^5 - 0,0013x^4 - 0,0013x^3 + 0,0215x^2 + 0,0139x + 0,4979$ $Y = -4E-06x^6 - 7E-05x^5 + 1E-05x^4 + 0,0031x^3 + 0,0034x^2 - 0,0252x + 0,5973$ $Y = -0,0001x^6 + 0,0002x^5 + 0,0033x^4 - 0,0046x^3 - 0,019x^2 + 0,0073x + 0,5571$ $Y = -5E-06x^6 - 5E-05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0019x^3 - 0,0006x^2 - 0,0086x + 0,5656$ $Y = 2E-06x^6 - 3E-05x^5 - 0,0002x^4 + 0,0014x^3 + 0,0044x^2 - 0,0158x + 0,6116$
	$Y = -2E-28x^6 - 5E-23x^5 - 4E-18x^4 - 2E-13x^3 - 4E-09x^2 - 3E-05x + 0,4549$ $Y = 3E-29x^6 + 6E-24x^5 + 4E-19x^4 + 4E-15x^3 - 2E-10x^2 - 3E-06x + 0,6256$ $Y = -5E-28x^6 - 1E-22x^5 - 1E-17x^4 - 5E-13x^3 - 1E-08x^2 - 0,0001x + 0,3123$ $Y = -3E-28x^6 - 6E-23x^5 - 5E-18x^4 - 2E-13x^3 - 5E-09x^2 - 6E-05x + 0,3613$ $Y = -3E-28x^6 - 7E-23x^5 - 6E-18x^4 - 2E-13x^3 - 4E-09x^2 - 3E-05x + 0,5827$
	$Y = -2E-35x^6 + 3E-29x^5 + 6E-25x^4 - 2E-18x^3 + 3E-13x^2 - 3E-07x + 0,5093$ $Y = -2E-35x^6 + 6E-30x^5 + 2E-23x^4 + 4E-19x^3 - 3E-12x^2 - 2E-07x + 0,6618$ $Y = -7E-33x^6 + 1E-26x^5 - 4E-21x^4 + 3E-16x^3 + 5E-11x^2 - 2E-06x + 0,3725$ $Y = -2E-35x^6 + 3E-29x^5 - 7E-24x^4 - 4E-18x^3 + 2E-12x^2 + 3E-08x + 0,5491$ $Y = 3E-30x^5 - 3E-24x^4 - 8E-19x^3 + 7E-13x^2 + 5E-08x + 0,6176$
	<p>BB11s R² = 0,4281</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0341</p> <p>BB8s R² = 0,5902</p> <p>DBM11s R² = 0,1298</p> <p>DBM8s R² = 0,1007</p>
	<p>BB11s R² = 0,0258</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0696</p> <p>BB8s R² = 0,2983</p> <p>DBM11s R² = 0,0073</p> <p>DBM8s R² = 0,0354</p>
	<p>BB11s R² = 0,0985</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0563</p> <p>BB8s R² = 0,0421</p> <p>DBM11s R² = 0,0346</p> <p>DBM8s R² = 0,0408</p>
	<p>BB11s R² = 0,0331</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0471</p> <p>BB8s R² = 0,3479</p> <p>DBM11s R² = 0,1038</p> <p>DBM8s R² = 0,0379</p>
	<p>BB11s R² = 0,0004</p> <p>BB11sPmB R² = 0,0046</p> <p>BB8s R² = 0,0216</p> <p>DBM11s R² = 0,0022</p> <p>DBM8s R² = 0,0018</p>

Preglednica 18: Dodatne korelacije - starost, za BB11s in BB11sPmB
Table 18: Additional correlations – age subdivision, for BB11s and BB11sPmB









	Starost (let)	Korelacijska enačba	Koeficient korelacije
BB11s 	0/3	-	-
	4/5	-	-
	6/8	-	-
	9/11	-	-
	12 in več	$y = 3E-06x^6 - 8E-06x^5 + 0,0002x^4 + 0,0005x^3 - 0,0034x^2 - 0,0092x + 0,5246$	$R^2 = 0,0239$
	0/3	-	-
	4/5	-	-
	6/8	-	-
	9/11	-	-
	12 in več	$y = 2E-05x^6 - 2E-05x^5 - 0,0011x^4 + 0,0007x^3 + 0,0184x^2 + 0,0103x + 0,4869$	$R^2 = 0,1313$
BB11sPmB 	0/3	-	-
	4/5	-	-
	6/8	-	-
	9/11	-	-
	12 in več	$y = 2E-06x^6 - 1E-05x^5 - 0,0002x^4 + 0,001x^3 + 0,0053x^2 - 0,0151x + 0,585$	$R^2 = 0,0504$
	0/3	-	-
	4/5	-	-
	6/8	-	-
	9/11	-	-
	12 in več	$y = 6E-06x^6 - 8E-05x^5 + 2E-05x^4 + 0,0032x^3 + 0,0044x^2 - 0,0176x + 0,5951$	$R^2 = 0,0479$

Preglednica 19: Dodatne korelacije - starost, za BB8s



Table 19: Additional correlations – age subdivision, for BB8s

BB8s	Starost (let)	Korelacijska enačba	Koeficient korelacije
	0/3	-	-
	4/5	-	-
	6/8	-	-
	9/11	-	-
	12 in več	$y = 5E-06x^6 + 5E-05x^5 + 0,0004x^4 + 0,0025x^3 - 0,0083x^2 - 0,0461x + 0,6083$	$R^2 = 0,2503$
	0/3	-	-
	4/5	-	-
	6/8	-	-
	9/11	-	-
	12 in več	$y = 6E-05x^6 + 0,0001x^5 - 0,002x^4 - 0,0013x^3 + 0,0159x^2 - 0,0111x + 0,5306$	$R^2 = 0,0258$


Preglednica 20: Dodatne korelacije - starost, za DBM11s in DBM8s
Table 20: Additional correlations – age subdivision, for DBM11s and DBM8s

DBM11s	Starost (let)	Korelacijska enačba	Koeficient korelacije
	0/3	$y = -9E-07x^6 - 5E-06x^5 + 7E-05x^4 + 0,0005x^3 - 0,0024x^2 - 0,0055x + 0,5697$	$R^2 = 0,0189$
	4/5	$y = 4E-05x^6 + 0,0005x^5 - 0,0019x^4 - 0,0001x^3 + 0,0198x^2 - 0,0338x + 0,5487$	$R^2 = 0,0884$
	6/8	$y = 4E-06x^6 - 1E-05x^5 + 0,0003x^4 + 0,0006x^3 - 0,006x^2 - 0,0048x + 0,6306$	$R^2 = 0,0421$
	9/11	$y = 1E-06x^6 - 3E-05x^5 - 6E-05x^4 + 0,0017x^3 + 0,0021x^2 - 0,0192x + 0,545$	$R^2 = 0,1336$
	12 in več	-	-
	0/3	$y = -5E-06x^6 - 2E-05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0009x^3 - 0,0016x^2 - 0,0027x + 0,5518$	$R^2 = 0,0156$
	4/5	$y = 0,0001x^6 + 0,0003x^5 - 0,0035x^4 - 0,0026x^3 + 0,0229x^2 + 0,005x + 0,5376$	$R^2 = 0,2256$
	6/8	$y = -3E-05x^6 - 2E-05x^5 + 0,0012x^4 + 0,0015x^3 - 0,0123x^2 - 0,0142x + 0,6172$	$R^2 = 0,0653$
	9/11	$y = -0,0011x^6 - 0,0019x^5 + 0,0082x^4 + 0,007x^3 - 0,0064x^2 + 0,0049x + 0,5547$	$R^2 = 0,0477$
	12 in več	-	-
DBM8s	Starost (let)	Korelacijska enačba	Koeficient korelacije
	0/3	$y = 2E-07x^6 + 5E-07x^5 - 4E-05x^4 + 8E-05x^3 + 0,0007x^2 - 0,0017x + 0,6221$	$R^2 = 0,0599$
	4/5	$y = 5E-07x^6 - 2E-06x^5 - 7E-05x^4 + 0,0002x^3 + 0,0031x^2 - 0,0013x + 0,5978$	$R^2 = 0,0288$
	6/8	$y = -5E-09x^6 - 7E-06x^5 - 4E-05x^4 + 0,0005x^3 + 0,0038x^2 - 0,0092x + 0,5958$	$R^2 = 0,0896$
	9/11	$y = -4E-06x^6 - 4E-05x^5 + 9E-05x^4 + 0,002x^3 - 0,0021x^2 - 0,0222x + 0,6249$	$R^2 = 0,1565$
	12 in več	$y = 3E-05x^6 - 0,0003x^5 + 0,0003x^4 + 0,0048x^3 - 0,0094x^2 - 0,018x + 0,7292$	$R^2 = 0,0409$
	0/3	$y = 2E-06x^6 - 6E-06x^5 + 0,0001x^4 - 0,0002x^3 - 0,0025x^2 + 0,0099x + 0,6219$	$R^2 = 0,0762$
	4/5	$y = -2E-05x^6 - 9E-05x^5 + 0,0004x^4 + 0,0029x^3 - 0,0003x^2 - 0,0211x + 0,6118$	$R^2 = 0,0370$
	6/8	$y = 6E-05x^6 + 0,0002x^5 - 0,0017x^4 - 0,0044x^3 + 0,0116x^2 + 0,0169x + 0,6193$	$R^2 = 0,0307$
	9/11	$y = 5E-06x^6 + 1E-04x^5 + 0,0004x^4 - 0,0008x^3 - 0,0042x^2 + 0,0014x + 0,6062$	$R^2 = 0,0094$
	12 in več	$y = 0,0001x^6 + 0,0008x^5 + 0,0022x^4 + 0,0011x^3 - 0,0118x^2 - 0,01x + 0,7099$	$R^2 = 0,0249$

Preglednica 21: Dodatne korelacije – promet in prečni nagib, za desne in leve krivine
Table 21: Additional correlations – traffic and crossfall subdivision, for right and left turns

 Korelacijske enačbe med prečnim nagibom in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti in prometne razrede, upoštevane so desne krivine.			
PLDP > 60000	$y = 4E-05x^6 + 0,0003x^5 - 0,0002x^4 - 0,0044x^3 - 0,0024x^2 + 0,0181x + 0,4788$	R ² = 0,0697	DBM11s
60000 > PLDP > 35000	$y = 2E-05x^6 + 0,0002x^5 + 0,0008x^4 - 0,0018x^3 - 0,0106x^2 - 0,0169x + 0,5366$	R ² = 0,1351	BB11s
	$y = -6E-07x^6 - 2E-05x^5 + 0,0001x^4 + 0,001x^3 - 0,0062x^2 - 0,0023x + 0,5876$	R ² = 0,1363	DBM11s
	$y = 6E-06x^6 + 9E-05x^5 + 0,0002x^4 - 0,0012x^3 - 0,0036x^2 - 0,0053x + 0,6212$	R ² = 0,1385	DBM8s
35000 > PLDP > 15000	$y = -3E-05x^6 - 0,0002x^5 + 0,0008x^4 + 0,0067x^3 - 0,0048x^2 - 0,0433x + 0,6798$	R ² = 0,0167	BB11sPmB
	$y = -1E-05x^6 - 0,0001x^5 + 0,0003x^4 + 0,0041x^3 + 0,0013x^2 - 0,0306x + 0,5674$	R ² = 0,0724	DBM11s
	$y = -3E-06x^6 - 1E-05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0012x^3 - 0,0051x^2 - 0,0244x + 0,6367$	R ² = 0,2525	DBM8s
15000 > PLDP	$y = 7E-05x^6 - 4E-05x^5 - 0,0019x^4 + 0,0011x^3 + 0,0052x^2 - 0,0206x + 0,5706$	R ² = 0,5205	BB11sPmB
	$y = 6E-06x^6 + 2E-05x^5 - 0,0003x^4 + 0,0006x^3 + 0,0098x^2 - 0,0174x + 0,561$	R ² = 0,1264	DBM8s
 Korelacijske enačbe med prečnim nagibom in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti in prometne razrede, upoštevane so leve krivine.			
60000 > PLDP > 35000	$y = 0,0022x^6 - 0,0343x^5 + 0,1849x^4 - 0,3693x^3 - 0,0353x^2 + 0,8543x - 0,0384$	R ² = 0,1065	BB11s
	$y = -7E-05x^6 + 0,0007x^5 - 0,0011x^4 - 0,0065x^3 + 0,0105x^2 + 0,0145x + 0,5359$	R ² = 0,0330	DBM11s
	$y = 5E-05x^6 - 0,0005x^5 + 0,0012x^4 + 0,0026x^3 - 0,0156x^2 + 0,0109x + 0,648$	R ² = 0,1000	DBM8s
35000 > PLDP > 15000	$y = 0,0002x^6 - 0,0018x^5 + 0,0026x^4 + 0,0169x^3 - 0,0235x^2 - 0,0553x + 0,6651$	R ² = 0,2238	BB11sPmB
	$y = 1E-05x^6 - 0,0001x^5 - 0,0005x^4 + 0,0039x^3 + 0,0037x^2 - 0,0202x + 0,5976$	R ² = 0,1676	DBM11s
	$y = 2E-06x^6 - 2E-05x^5 - 0,0002x^4 + 0,0029x^3 - 0,0045x^2 - 0,012x + 0,649$	R ² = 0,0366	DBM8s
15000 > PLDP	$y = -7E-05x^6 + 0,0007x^5 - 0,0004x^4 - 0,0108x^3 + 0,0225x^2 + 0,0222x + 0,5621$	R ² = 0,0610	DBM8s

Preglednica 22: Dodatne korelacije – promet in vzdolžni nagib, za desne in leve krivine
Table 22: Additional correlations – traffic and slope subdivision, for right and left turns

 Korelacijske enačbe med vzdolžnim nagibom in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti in prometne razrede, upoštevane so desne krivine.			
PLDP > 60000	$Y = -4E-05x^6 + 1E-05x^5 + 0,0015x^4 - 0,0012x^3 - 0,0158x^2 + 0,0097x + 0,4863$	$R^2 = 0,0815$	DBM11s
60000 > PLDP > 35000	$Y = 0,0002x^6 - 0,0002x^5 - 0,007x^4 + 0,0037x^3 + 0,0506x^2 + 0,0314x + 0,482$	$R^2 = 0,3270$	BB11s
	$Y = -5E-05x^6 - 6E-05x^5 + 0,0015x^4 + 0,0001x^3 - 0,0194x^2 - 0,0004x + 0,5723$	$R^2 = 0,1217$	DBM11s
	$Y = -4E-08x^6 + 3E-05x^5 - 0,0002x^4 - 0,0006x^3 + 0,0053x^2 + 0,0045x + 0,6187$	$R^2 = 0,0131$	DBM8s
35000 > PLDP > 15000	$Y = -5E-06x^6 - 2E-05x^5 + 0,0001x^4 + 0,0021x^3 - 0,0006x^2 - 0,0294x + 0,6687$	$R^2 = 0,3630$	BB11sPmB
	$Y = -5E-06x^6 - 6E-05x^5 + 0,0023x^3 + 0,0013x^2 - 0,0188x + 0,575$	$R^2 = 0,1050$	DBM11s
	$Y = 8E-06x^6 - 3E-06x^5 - 0,0005x^4 + 0,0005x^3 + 0,0066x^2 - 0,0127x + 0,588$	$R^2 = 0,0650$	DBM8s
15000 > PLDP	$Y = 8E-06x^6 - 3E-06x^5 - 0,0005x^4 + 0,0005x^3 + 0,0066x^2 - 0,0127x + 0,588$	$R^2 = 0,1404$	BB11sPmB
	$Y = 0,0002x^6 + 9E-05x^5 - 0,0033x^4 - 0,0017x^3 + 0,0132x^2 + 0,0123x + 0,6159$	$R^2 = 0,0125$	DBM8s
 Korelacijske enačbe med vzdolžnim nagibom in SR ter Pearsonovi koeficienti korelacije. Za obravnavane obrabne plasti in prometne razrede, upoštevane so leve krivine.			
60000 > PLDP > 35000	$Y = -0,0002x^6 + 0,0019x^5 - 0,0024x^4 - 0,0174x^3 + 0,036x^2 + 0,0697x + 0,4922$	$R^2 = 0,2837$	BB11s
	$Y = -1E-04x^6 - 0,0001x^5 + 0,0025x^4 + 0,0021x^3 - 0,0159x^2 - 0,0006x + 0,5599$	$R^2 = 0,0346$	DBM11s
	$Y = 2E-05x^6 + 0,0002x^5 + 0,0007x^4 + 0,0003x^3 - 0,0092x^2 - 0,016x + 0,6236$	$R^2 = 0,1253$	DBM8s
35000 > PLDP > 15000	$Y = 0,0003x^6 + 0,0041x^5 + 0,0185x^4 + 0,0304x^3 + 0,0072x^2 - 0,0243x + 0,6393$	$R^2 = 0,1406$	BB11sPmB
	$Y = 3E-06x^6 + 8E-06x^5 - 0,0001x^4 - 3E-05x^3 - 0,0019x^2 - 0,0096x + 0,6208$	$R^2 = 0,2860$	DBM11s
	$Y = -6E-06x^6 - 5E-06x^5 + 7E-05x^4 + 0,0005x^3 + 0,0014x^2 - 0,0151x + 0,6185$	$R^2 = 0,1192$	DBM8s
15000 > PLDP	$Y = -8E-05x^6 - 0,0007x^5 - 0,0016x^4 + 0,0027x^3 + 0,0085x^2 - 0,0153x + 0,6149$	$R^2 = 0,0262$	DBM8s

5.4.6 Pregled pripravljenih korelacij

Tako zbrane enačbe in korelacijske koeficiente sem nazadnje še ovrednotil, pri tem pa sem presojal s pomočjo razdelitve, kot jo prikazuje preglednica 11. Za posamezne vrednostne razrede sem določil tudi barvno shemo (glej isto preglednico), ki mi je bila pri veliki količini analiziranih povezav v pomoč za hitrejšo presojo pridobljenih rezultatov. V naslednjih preglednicah so predstavljeni končni rezultati poskusa določitve povezav med torno sposobnostjo in različnimi vplivnimi parametri. Združil sem jih v skupine, sledeč že prej predstavljenemu poteku iskanja korelacij.

Osnovne korelacije

Preglednica 23: Evalvacija osnovnih korelacij, vsi podatki

Table 23: Evaluation of initial correlations, all data included



Preglednica 24: Evalvacija osnovnih korelacij, desne krivine

Table 24: Evaluation of initial correlations, right turns



Preglednica 25: Evalvacija osnovnih korelacij, leve krivine

Table 25: Evaluation of initial correlations, left turns



V tem sklopu praktično nisem ugotovil nobene dovolj močne povezanosti med torno sposobnostjo in različnimi vplivnimi parametri: prečnim nagibom, vzdolžnim nagibom, horizontalno ukrivljenostjo, vertikalno ukrivljenostjo ali starostjo. Pri tem je pomembno tudi to, da povezav nisem iskal za celotno omrežje, v smislu za vse obrabnozaporne plasti hkrati. Različne, v obrabnozaporne plasti vgrajene asfaltne zmesi imajo zaradi svoje sestave in zgradbe različen profil površine, kar samo po sebi nakazuje na razlike v obnašanju plasti. Pričakovati je torej bilo, da bom našel boljše povezave ob delitvi podatkov po vgrajenih asfaltnih zmesih.

Kljub temu je večina povezav pravzaprav tako neznatnih, da praktično rečemo, da so neobstoječa. Ob pregledu povezav za vse upoštevane podatke (preme, desne in leve krivine) sem za kombinacije vplivni parameter-asfaltna zmes-vrst krivine ugotovil:



- le dve kombinaciji s šibko povezanostjo in eno s srednjo povezanostjo pri upoštevanju vseh podatkov,
- le dve kombinaciji s šibko povezanostjo in eno s srednjo povezanostjo pri upoštevanju samo desnih krivin, in
- le po dve kombinaciji s šibko povezanostjo in s srednjo povezanostjo pri upoštevanju samo levih krivin.

Od vseh zmesi le BB8s nakazuje na morebitno nekakšno povezavo med torno sposobnostjo in starostjo.

Dodatne korelacije – starost

Preglednica 26: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev na starostne razrede

Table 26: Evaluation of additional correlations, age subdivision

PARAMETER	STAROST (LET)	OBRABNA PLAST				
		BB8s	BB11s	BB11sPmB	DBM8s	DBM11s
	0/3	-	-	-	-	-
	4/5	-	-	-	-	-
	6/8	-	-	-	-	-
	9/11	-	-	-	-	-
	12 in več	-	-	-	-	-
	0/3	-	-	-	-	-
	4/5	-	-	-	-	-
	6/8	-	-	-	-	-
	9/11	-	-	-	-	-
	12 in več	-	-	-	-	-

V tem sklopu sem ugotavljal povezanost med torno sposobnostjo in prečnim ter vzdolžnim nagibom. Podatke sem razdelil po vgrajenih asfaltnih zmesih, glede na starost pa v starostne razrede. Ker je bilo ob taki delitvi za nekatere kombinacije asfaltna zmes-starostni razred na voljo premalo podatkov za ustrezno analizo, je v zgornji preglednici precej polj praznih.

Kljub temu je večina povezav spet neznatnih, tudi tokrat lahko praktično rečemo, da so neobstoječa. Ob pregledu povezav za vse upoštevane podatke sem za kombinacije vplivni parameter-asfaltna zmes-starostni razred ugotovil:

- le eno kombinacijo s šibko povezanostjo pri povezavah torne sposobnosti in prečnega nagiba, in
- le eno kombinacijo s šibko povezanostjo pri povezavah torne sposobnosti in vzdolžnega nagiba.

Dodatne korelacije – prometne obremenitve


Preglednica 27: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na prečni nagib, desne krivine

Table 27: Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, crossfall, right turns

DESNE KRIVINE	OBRABNA PLAST				
	BB11s	BB11sPmB	BB8s	DBM11s	DBM8s
PLDP > 60000	-	-	-	-	-
60000 > PLDP > 35000	-	-	-	-	-
35000 > PLDP > 15000	-	-	-	-	-
15000 > PLDP	-	-	-	-	-


Preglednica 28: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na vzdolžni nagib, desne krivine

Table 28: Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, slope, right turns

 DESNE KRIVINE	BB11s	BB11sPmB	BB8s	DBM11s	DBM8s
PLDP > 60000	-	-	-	-	-
60000 > PLDP > 35000					
35000 > PLDP > 15000					
15000 > PLDP					


Preglednica 29: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na prečni nagib, leve krivine

Table 29: Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, crossfall, left turns

 LEVE KRIVINE	BB11s	BB11sPmB	BB8s	DBM11s	DBM8s
PLDP > 60000	-	-	-	-	-
60000 > PLDP > 35000					
35000 > PLDP > 15000					
15000 > PLDP					

Preglednica 30: Evalvacija dodatnih korelacij, delitev po prometnih obremenitvah, na vzdolžni nagib, leve krivine

Table 30: Evaluation of additional correlations, traffic subdivision, slope, left turns

 LEVE KRIVINE	BB11s	BB11sPmB	BB8s	DBM11s	DBM8s
PLDP > 60000	-	-	-	-	-
60000 > PLDP > 35000					
35000 > PLDP > 15000					
15000 > PLDP					

Tudi v tem sklopu sem ugotavljal povezanost med torno sposobnostjo in prečnim ter vzdolžnim nagibom. Tokrat sem podatke razdelil po vgrajenih asfaltnih zmesih, glede na prometno obremenitev v prometne razrede, po vrsti krivin pa sem posebej obravnaval podatke za desne in posebej za leve krivine. Ker je bilo tudi ob taki delitvi za nekatere kombinacije asfaltna zmes-prometni razred na voljo premalo podatkov za ustrezno analizo, je v zgornjih preglednicah precej polj praznih.

Večina povezav je, kot že v prejšnjih primerih, neznatnih, pravzaprav praktično rečemo, da so neobstoječa. Ob pregledu povezav za vse upoštevane podatke sem za kombinacije vplivni parameter-asfaltna zmes-prometni razred ugotovil:

- le eno kombinacijo s šibko povezanostjo in eno z zmerno povezanostjo pri povezavah torne sposobnosti in prečnega nagiba v desnih krivinah,
- le dve kombinaciji s šibko povezanostjo pri povezavah torne sposobnosti in vzdolžnega nagiba v desnih krivinah,
- le eno kombinacijo s šibko povezanostjo pri povezavah torne sposobnosti in prečnega nagiba v levih krivinah,
- le dve kombinaciji s šibko povezanostjo pri povezavah torne sposobnosti in vzdolžnega nagiba v levih krivinah.

6 ZAKLJUČEK

Prometno varnost lahko zagotavljamo le ob celovitem razumevanju sistema voznik - vozilo - cesta z okoljem. Nesreče so lahko posledica voznikovih dejanj, napak ali težav z vozili, ali zaradi voznega okolja. Svoj del k prometni varnosti vsekakor prispeva tudi vozna površina, po kateri se premikajo vozila. Pri tem so posebej pomembne torne lastnosti, s čimer opisujemo torno sposobnost ter grobo hrapavost vozišč oz. njihovih voznih površin.

V predhodni raziskovalni nalogi *“Analiza rezultatov meritev tornih lastnosti ter primerjava z meritvami pojemkov in zavornih poti”* smo na podlagi meritev torne sposobnosti in dosegljivih pojemkov pri polnem zaviranju za testne odseke izvedli korelacije in v končni fazi predlog novega načina določitve mejnih vrednosti torne sposobnosti ter same mejne vrednosti.

V tej nalogi sem poskusil določiti vpliv prečnega in vzdolžnega nagiba na izmerjeno torno sposobnost. Teoretično je ta vpliv lahko zelo velik in lahko precej vpliva na izračun končnih značilnih vrednosti koeficientov bočnega trenja SR - pogojne, mejne in prevzemne vrednosti, ki so uporabne za presojo ustreznosti voznih površin na cestah v Sloveniji.

Kot osnovo sem vzel rezultate meritev tornih lastnosti, ki smo jih na avtocestah v letu 2008 izvedli z napravo SCRIMTEX na Zavodu za gradbeništvo Slovenije. Te rezultate sem primerjal z geometrijskimi podatki avtocest; s starostjo asfaltnih zmesi, vgrajenih v obrabnozaprone plasti vozišč; s prometnimi obremenitvami obravnavanih odsekov.

Iskanje korelacij je potekalo z regresijsko analizo in določanjem koeficienta korelacije med torno sposobnostjo in vplivnimi parametri. Zbrane enačbe in korelacijski koeficienti se nanašajo na iskanje povezanosti med torno sposobnostjo in:

- prečnim ter vzdolžnim nagibom, horizontalnim in vertikalnim radijem ukrivljenosti, ter starostjo vozne površine (poimenovane kot osnovne korelacije),
- osnovne korelacije, posebej za desne in posebej za leve krivine,
- prečnim in vzdolžnim nagibom, ločeno po asfaltnih zmesih in starostnih razredih (poimenovane kot dodatne korelacije s podrazdelitvijo glede starosti),
- prečnim in vzdolžnim nagibom, po prometnih razredih in asfaltnih zmesih ter ločeno po vrsti krivin (poimenovane kot dodatne korelacije s podrazdelitvijo glede prometne obremenitve).

Tako zbrane enačbe in korelacijske koeficiente sem nazadnje še ovrednotil v smislu jakosti povezanosti torne sposobnosti in posameznih parametrov.

Na podlagi obstoječih in dosegljivih podatkov sem preveril 131 različnih kombinacij vplivov na torno sposobnost. Med njimi sem ugotovil:

- 14 kombinacij, ki nakazujejo šibko povezanost torne sposobnosti/vplivni parameter, in
- le 5 kombinacij, ki nakazujejo zmerno povezanost.

Za vse ostale kombinacije velja, da je povezanost s torno sposobnostjo neznatna.

S takšnimi rezultati zaenkrat nima smisla spreminjati oziroma dopolnjevati zgoraj navedenih značilnih vrednosti koeficientov bočnega trenja SR.

7 SUMMARY

Traffic safety can be ensured only with a comprehensive understanding of the system driver - vehicle - road environment. Accidents on roads happen due to the driver's actions, errors and problems with the vehicles or happen on account of adverse events in the driving environment. A part of the road safety can certainly be attributed to the pavement surface and its own performance. Particularly important contributing pavement surface properties are skid resistance and macrotexture.

The preceding project "Analysis of the skid resistance measurements and comparison with deceleration and stopping distances" has carried out measurements of skid resistance and achievable deceleration in the full braking conditions on test sections, has developed correlations between both, and has ultimately proposed a new method for determining the characteristic skid resistance values and the threshold values themselves.

For this thesis, I tried to determine the influence of crossfall and slope on the results of skid resistance measurements. This impact can be notable and may significantly affect the calculation of the characteristic skid resistance values – the limit, minimal and acceptance values - which are used in the assessment of pavement performance of roads in Slovenia.

The results of skid resistance measurements on motorways in 2008, performed with the SCRIMTEX device, served as a basis of the work. These results were compared with the pavement geometric data; with age of asphalt mixtures, built-in the pavement surface; and with traffic load of concerned road sections.

The research about correlations was performed by regression analysis and determination of the coefficient of correlation between skid resistance and influential parameters. The derived equations and coefficients quantify the relationship between skid resistance and:

- crossfall and slope, horizontal and vertical radii of curvature, and the age of the pavement surface (referred to as the basic correlations),
- basic correlations, separately performed for right and for left curves,
- crossfall and slope, separately performed for asphalt mixtures and age classes (referred to as the additional correlations with the subdivision according to the age),
- crossfall and slope, the traffic classes and asphalt mixtures, and separately performed according to the curve type (referred to as additional correlations with the subdivision according to the traffic loads).

The final part of the work consists of evaluation of collection of the derived equations and correlation coefficients, in terms of quantifying the relationship between the skid resistance and individual parameters.

Among the examined 131 different combinations of influence on skid resistance for the motorways pavements:

- 14 combinations indicate a weak correlation between skid resistance/influential parameter, and
- only 5 combinations indicate a moderate correlation.

For all other combinations the relationship was found to be insignificant, non existing.

With these results at the moment there is no need to change or complement the above-mentioned skid resistance characteristic values.

VIRI

UPORABLJENI VIRI

- [1] Report on state-of-the-art of test methods. 2008. European Community's Seventh Framework Programme. Projekt TYROSAFE, Deliverable D04. http://tyrosafe.fehrl.org/?m=49&id_directory=977 (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [2] Pavement Friction Management. 2010. FHWA. Technical Advisory T5040.38 <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/t504038.cfm> (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [3] Lastnosti voznih površin, Torna sposobnost. 2003. RS, Ministrstvo za promet, DRSC. TSC 06.620: 2003 http://www.di.gov.si/si/delovna_podrocja_in_podatki/ceste_in_promet/tehnice_specifikacije_za_ceste/ (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [4] Brozovič, R., Kokot, D., Jamnik, J., Rijavec, R. in Ambrož, M. 2011. Analiza rezultatov meritev tornih lastnosti ter primerjava z meritvami pojemkov in zavornih poti. Raziskovalni projekt. DRSC: 88 str.
- [5] Report on different parameters influencing skid resistance, rolling resistance and noise emissions. 2008. European Community's Seventh Framework Programme. Projekt TYROSAFE, Deliverable D10. http://tyrosafe.fehrl.org/?m=49&id_directory=977 (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [6] Kokot, D., Rijavec, R., Ambrož, M., Jamnik, J., Brozovič, R. 2012. Korelacija med pojemki in torno sposobnostjo nekaterih asfaltnih voznih površin. V: Referati, 11. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, Slovenija, 24.-25. oktober 2012. Ljubljana, DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str. 1-7.
- [7] Kokot, D., Rijavec, R., Ambrož, M. 2012. Determination of correlation between road pavement skid resistance and braking deceleration. V: 7th Symposium on Pavement Surface Characteristics: SURF 2012. Norfolk, VA, September 19 - 22, 2012, (Conference Proceedings (VTTI)). Norfolk, VA: VTTI. Str. 1-10. <http://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/50460> (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [8] Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91/2005: 9303-9319.
- [9] Temeljni pogoji za določanje cestnih elementov v odvisnosti od voznodinamičnih pogojev, ekonomike cest, prometne obremenitve in prometne varnosti ter preglednosti. 2003. RS, Ministrstvo za promet, DRSC. TSC 03.200: predlog 2003.
- [10] Geometrijski elementi cestne osi in vozišča. 2003. RS, Ministrstvo za promet, DRSC. TSC 03.300: predlog 2003.
- [11] Wallman, C.G., Ålstöm, H. 2001. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. VTI, Stockholm, Švedska: 47 str.
- [12] Hall, J.W., Jr. et al. 2007. Guide For Pavement Friction. NCHRP, Washington DC, ZDA: 135 str. http://redlightrobber.com/red/links_pdf/Guide-for-Pavement-Friction-NCHRP-108.pdf (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [13] Model for Estimating Expectable Braking Distance. 2006. European Commission Sixth Framework Programme. Projekt INTRO, Deliverable 2.1. intro.fehrl.org/?id_file=1570&m=7&mode=download (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [14] Rijavec, R., Kokot, D., Ambrož, M., Jamnik, J., Brozovič, R. 2012. Predlog mejnih stanj torne sposobnosti asfaltnega vozišča za napravo SCRIMTEX. V: Referati, 11. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, Slovenija, 24.-25. oktober 2012. Ljubljana, DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str. 1-9.
- [15] Report on policies and standards concerning skid resistance, rolling resistance and noise emissions. 2008. European Community's Seventh Framework Programme. Projekt TYROSAFE, Deliverable D06. http://tyrosafe.fehrl.org/?m=49&id_directory=977 (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [16] ASTM E 2100-04:2015. Standard Practice for Calculating the International Runway Friction Index <http://www.piarc.org/en/> (Dostopano 1. julija 2016).
- [17] <http://www.piarc.org/en/> (Dostopano 1. julija 2016).
- [18] Projekt TYROSAFE: <http://tyrosafe.fehrl.org> (Dostopano 1. julija 2016).

- [19] Projekt ROSANNE: <http://www.rosanne-project.eu/> (Dostopano 1. julija 2016).
- [20] Kokot, D. 2001. Navodila za delo z napravo SCRIMTEX. ZAG. Interna navodila.
- [21] Hosking, J. R. and Woodford, G. C. 1976. Measurement of skidding resistance. Part I. Guide to the use of SCRIM. Transport and Road Research Laboratory laboratory report LR737, Crowthorne, VB: 25 str.
- [22] Hosking, J. R. and Woodford, G. C. 1976. Measurement of skidding resistance. Part II. Factors affecting the slipperiness of a road surface. Transport and Road Research Laboratory laboratory report LR738, Crowthorne, VB: 14 str.
- [23] Hosking, J. R. and Woodford, G. C. 1976. Measurement of skidding resistance. Part III. Factors affecting SCRIM measurements. Transport and Road Research Laboratory laboratory report LR739, Crowthorne, VB: 23 str.
- [24] Kokot, D., Leben, B. in Vodopivec, V. 2006. Ugotavljanje sovisnosti odpora proti drsenju in hitrosti pri meritvah odpora proti drsenju vozniških površin. V: Gostinčar, Andreja (ur.). Zbornik referatov. 8. slovenski kongres o cestah in prometu. Portorož, 25.-27. oktobra 2006. DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, 2006, str. 666-673.
- [25] Kokot, D., Leben, B. in Vodopivec, V. 2004. Meritve torne sposobnosti vozniških površin z napravo SCRIMTEX na testnih poljih v okolici Ljubljane. V: Vilhar, Matija (ur.). Zbornik referatov, 7. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 20.-22. oktober 2004. DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, 2004, str. 217-227.
- [26] Najafi, S., Flintsch G.W. in McGhee K.K. 2013. Assessment of operational characteristics of continuous friction measuring equipment (CFME). International Journal of Pavement Engineering, 14:8, str. 706-714.
<http://dx.doi.org/10.1080/10298436.2012.667097> (Pridobljeno 1. julija 2016)
- [27] Sanders, P.D., Brittain, S. in Premathilaka, A. 2015. Performance review of skid resistance measurement devices. TRL report PPR737: 34 str.
<http://assets.highways.gov.uk/specialist-information/knowledge-compendium/2014-2015/Performance+review+of+skid+measurement+devices+final+report.pdf>
(Pridobljeno 1. julija 2016)
- [28] Kokot, D. 2014. Seminarska naloga za predmet Materiali v cestogradnji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, podiplomski študij - prometna smer.
- [29] http://www.law.uchicago.edu/files/files/20.Sykes_.Regression.pdf (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [30] <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/pearson-correlation-coefficient-statistical-guide.php> (Dostopano 1. julija 2016).
- [31] www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/pearsons.pdf (Pridobljeno 1. julija 2016).
- [32] http://ci.columbia.edu/ci/premba_test/c0331/s7/s7_5.html (Dostopano 1. julija 2016).

OSTALI VIRI

- [33] Kokot, D. 2011. Recommendations for harmonised EU policy on skid resistance. Proroad safety, The role and importance of dissemination of knowledge to ensure better road safety, CVV Vransko, marec 2011.
- [34] SCRIMTEX, Operation and Maintenance Manual. 1996. WDM Limited, UK: 76 str.
- [35] British Standard BS 7941-1:1999. Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces – Part 1: Side-way force coefficient routine investigation machine.
- [36] CEN. 2009. CEN/TS 15901-6: Road and airfield surface characteristics — Part 6: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideway force coefficient (SFCS): SCRIM®.
- [37] Weise, M, Ressel, W. 2012. Dependency between road surface geometry and skid resistance. Road and rail infrastructure II, Book Series: Road and Rail Infrastructure. Edited by: Lakusic, S. Pages: 251-258.