

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidatka:

Anja Malovrh

Prometne obremenitve voziščne konstrukcije

Diplomska naloga št.: 3060

Mentor:
prof. dr. Janez Žmavc

Somentor:
mag. Aleš Žnidarič

Ljubljana, 24. 4. 2009

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **ANJA MALOVRH** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
»PROMETNE OBREMENITVE VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE«.

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

Ljubljana, 03.04.2009

(podpis)

ZAHVALA

Za pomoč in strokovno vodstvo pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu in somentorju mag. Alešu Žnidariču.

Iskreno se zahvaljujem svojim dragim staršem, ki so mi stali ob strani in mi omogočili študij. Zahvala gre tudi sestri, fantu in prijateljem, ki so mi skozi vsa študijska leta stali ob strani, mi nudili pomoč in me moralno vzpodbujali.

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.8:656.1.021(043.2)
Avtor:	Anja Malovrh
Mentor:	prof. dr. Janez Žmavc
Somentor:	mag. Aleš Žnidarič
Naslov:	Prometne obremenitve voziščne konstrukcije
Obseg in oprema:	78 str., 24 pregl., 3 graf., 37 sl., 3 en.
Ključne besede:	prometna obremenitev, voziščna konstrukcija, štetje prometa, tehtanje vozil, faktor ekvivalentnosti, merodajna prometna obremenitev

Izvleček

Za uspešno upravljanje s cestami in objekti na njih moramo poznati realne prometne obremenitve. V Republiki Sloveniji že več kot 30 let pridobivamo podatke o številu vozil z avtomatskimi števci prometa. Podatke o skupnih masah in osnih potiskih vozil pri poznani strukturi prometa pa nato ocenimo po Tehnični specifikaciji za prometne obremenitve (TSC) 06.511. V zadnjem času točne podatke o prometnih obremenitvah in obremenitvah vozil pridobivamo s pomočjo sistemov za tehtanje vozil med vožnjo (WIM sistemov). WIM sistemi tehtajo vsa vozila v prostem prometnem toku in so edini tehtalni sistemi, ki zagotavljajo zanesljive, neizkrivljene podatke o težah vseh tovornih vozil. Razlike med faktorji ekvivalentnosti (FE) iz TSC 06.511 in faktorji dobljenimi s pomočjo tehtanj se pojavljajo zaradi povečanja prometa, zaradi vedno večje izkoriščenosti vozil in preobremenjenosti vozil. Razlike v faktorju ekvivalentnosti pa dodatno povečajo razliko v izračunu merodajne prometne obremenitve, ki je potrebna za dimenzioniranje novih in vrednotenje obstoječih cest. V diplomski nalogi smo te razlike preverili na konkretnem primeru odseka ceste Benedikt 3 – 0315. Primerjali smo podatke med števci in sistemi za tehtanje (število vozil, faktor ekvivalentnosti), ki smo jih dobili na podlagi 7 dnevnih meritev. Izračunali smo merodajno prometno obremenitev in na podlagi te določili (iz diagrama) dimenzije osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij ter izračunali debelinski indeks. Rezultat je pokazal, da se debelini krovnih plasti na podlagi podatkov števec in sistemov za tehtanje razlikujeta za 1,8 cm.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 625.8:656.1.021(043.2)
Author: Anja Malovrh
Supervisor: Prof. PhD. Janez Žmavc
Co supervisor: Msc. Aleš Žnidarič
Title: Traffic loadings on pavement
Notes: 78 p., 24 tab., 3 grap., 37 fig., 3 eq.
Key words: traffic loading, pavement, traffic count, vehicle weighing, equivalency factor, design traffic loading

Abstract

The measurement of realistic traffic loadings is essential to successfully manage roads. In the Republic of Slovenia, engineers have tried to get a real number of vehicles with counting data for over 30 years now. Specifications about axle thrust and vehicle weight we estimate with TSC 06.511. In recent years we have accumulated realistic traffic loadings with weigh in motion systems (WIM system). WIM systems give accurate information about vehicle weight, because they weigh all the vehicles in optional traffic stream. Main reasons for difference in equivalency factor between counting data and weigh-in-motion (WIM) systems are overloaded axles and increase of traffic. These differences have influence on design traffic loadings calculation that are important for design and assessment of pavement, bridges and traffic studies.

In this degree, we tried to verify these differences in road section Benedikt 3 - 0315. First we compared data (number of vehicles, equivalency factor) that we got from measurements. After that we calculated design traffic loadings. On the basis of design traffic loadings, we read graph dimensions of new asphalt pavement layers and calculate the pavement thickness-index. The result has shown that the dimension of surfacing between counting data and eight-in-motion systems is 1,8 centimetres.

VSEBINSKO KAZALO

1	UVOD	1
2	VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA	3
2.1	Osnovni pojmi	4
2.2	Izvedba voziščne konstrukcije	5
2.2.1	Posteljica	6
2.2.1.1	Materiali	6
2.2.1.2	Izvedba	6
2.2.2	Nevezana nosilna plast	7
2.2.2.1	Materiali	7
2.2.2.2	Izvedba	8
2.2.3	Spodnja vezana nosilna plast	9
2.2.3.1	Materiali	9
2.2.3.2	Izvedba	9
2.2.4	Zgornja vezana nosilna plast	10
2.2.4.1	Materiali	10
2.2.4.2	Izvedba	10
2.2.5	Nevezana obrabna plast	11
2.2.5.1	Materiali	11
2.2.5.2	Izvedba	11
2.2.6	Vezana obrabna in zaporna plast	12
2.2.6.1	Materiali	12
2.2.6.2	Izvedba	13
2.3	Vrste voziščnih konstrukcij	13
2.3.1	Asfaltna krovna plast	13
2.3.2	Cementnobetonska krovna plast	16
2.3.3	Tlakovana obrabna plast	17
2.4	Obremenitve voziščnih konstrukcij	17
2.4.1	Zunanje obremenitve voziščnih konstrukcij	17

2.4.1.1	Prometna obremenitev v širšem pomenu besede	17
2.4.1.2	Klimatska obremenitev	18
2.4.2	Značilnosti obremenitev	19
2.5	Gostota vgrajenega materiala	20
2.6	Nosilnost voziščne konstrukcije	20
3	PROMETNA OBREMENITEV	23
3.1	Struktura prometa	24
3.2	Gostota prometnega toka	26
3.3	Ekvivalentna prometna obremenitev	26
3.4	Vplivi na obremenitve	28
3.4.1	Število prometnih pasov	28
3.4.2	Širina prometnih pasov	29
3.4.3	Vzdolžni nagib nivelete vozišča	29
3.4.4	Dinamične obremenitve	30
3.4.5	Trajanje in letna stopnja rasti prometa	30
3.5	Merodajna prometna obremenitev	31
3.6	Razvrstitev prometnih obremenitev	32
3.7	Spremembe vozniških površin	32
3.8	Odvisnosti bituminiziranih zmesi od dnevne obremenitve	33
4	ŠTETJE PROMETA	36
4.1	Ročno štetje prometa	38
4.2	Avtomatsko štetje prometa	39
4.3	Analiza podatkov	46
5	TEHTANJE VOZIL	47
5.1	Mostni WIM sistemi	48
5.2	Mostni WIM sistemi v Sloveniji	48
5.2.1	Prednosti in pomanjkljivosti WIM sistemov	51
5.2.2	Namestitev in uporaba sistema SiWIM	52

5.2.3	Obdelovanje podatkov in analiza WIM	54
6	PRIMERJAVA ŠTEVCEV PROMETA IN SIWIM SISTEMA	56
7	PROMETNA OBREMENITEV ZA BENEDIKT (2007)	60
7.1	Izračun prometne obremenitve s pomočjo števcov (PLDP)	61
7.2	Izračun prometne obremenitve s pomočjo SiWIM-a oz. WIM-a	62
7.3	Primerjava podatkov med števci in SiWIM-om	66
7.3.1	Primerjava števila vozil, FE in števila prehodov NOO	66
7.3.2	Primerjava merodajne prometne obremenitve	68
7.4	Debelinski indeks	69
8	ZAKLJUČEK	74
	LITERATURA	77

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovne plasti voziščne konstrukcije in značilne obremenitve plasti (vir: Žmavc, J. 2007, str. 217).	19
Preglednica 2: Povprečna vrednost faktorjev ekvivalentnosti (vir: TSC 06.511. 2001, str. 7).	26
Preglednica 3: Povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za večje število težkih tovornih vozil (vir: TSC 06.511. 2001, str. 8).	27
Preglednica 4: Faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove (vir: TSC 06.511. 2001, str. 9).	28
Preglednica 5: Faktorji širine prometnih pasov na prometno obremenitev (vir: TSC 06.511. 2001, str. 9).	29
Preglednica 6: Faktor vzdolžnega nagiba nivelete na prometno obremenitev (vir: TSC 06.511. 2001, str. 9).	29
Preglednica 7: Faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja (vir: TSC 06.511. 2001, str. 10).	30
Preglednica 8: Razvrstitev prometnih obremenitev (vir: TSC 06.511. 2001, str. 11).	32
Preglednica 9: Odvisnost bituminiziranih zmesi BB za asfaltne obrabne in nosilnoobrabne plasti v odvisnosti od PLDP-ja (vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 28).	33
Preglednica 10: Odvisnost bituminiziranih zmesi BB za asfaltne obrabne in nosilnoobrabne plasti v odvisnosti od povprečne letne gostote prometa (vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 28).	34
Preglednica 11: Mejne projektne debeline plasti bitumenskih betonov za novogradnje (Vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 29).	34

Preglednica 12: Mejne projektne debeline plasti bitumenskih betonov za dela na obstoječih cestah (vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 29).	35
Preglednica 13: Faktorji ekvivalentnosti po SiWIM meritvah in izraženo razmerje med FE_{SiWIM} in $FE_{TSC 06.511}$ za leto 2007 (vir: Štetje prometa 2007).	57
Preglednica 14: Število prehodov NOO po TSC in WIM za leto 2007 (vir: Štetje prometa 2007).	59
Preglednica 15: Število vozil po kontrolnem števcu za odsek 3 - 0315 (Benedikt) (vir: ZAG Ljubljana).	61
Preglednica 16: Merodajna prometna obremenitev za 10 in 20 letno obdobje (kontrolni števec) za odsek 3 – 0315 (Benedikt).	61
Preglednica 17: Število vozil po SiWIM-u za odsek 3 – 0315 (Benedikt) (vir: ZAG Ljubljana).	64
Preglednica 18: Merodajna prometna obremenitev (SiWIM) za odsek 3 – 0315 (Benedikt).	64
Preglednica 19: Preobremenjene osi in preobremenjena vozila s SiWIM meritvami (vir: ZAG Ljubljana).	65
Preglednica 20: Število vozil na odseku 3 – 0315 (Benedikt).	67
Preglednica 21: Obremenitev $FE_{SiWIM}/FE_{TSC 06.511}$ na odseku 3 – 0315 (Benedikt).	67
Preglednica 22: Število prehodov NOO na odseku 3 – 0315 (Benedikt).	67
Preglednica 23: Merodajna prometna obremenitev za 10 in 20 letno obdobje (SiWIM in TSC 06.511).	68
Preglednica 24: Določitev dimenzij plasti asfaltne voziščne konstrukcije.	72

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Podatki o deležu tovornih vozil z dovoljeno maso in delež preobremenjenih tovornih vozil v letu 2007 (vir: Štetje prometa 2007).	49
Grafikon 2: Razmerja v povprečnih dnevni vrednostih FE izračunanih iz TSC in iz SiWIM meritev v letu 2007 (vir: Štetje prometa 2007).	57
Grafikon 3: Grafični prikaz NOO po TSC in po WIM za leto 2007 (vir: Štetje prometa 2007).	59

KAZALO SLIK

Slika 1: Značilni prečni prerez ceste (vir: Žmavc, J. 2007, str. 13).	3
Slika 2: Značilna utrditev sodobnega vozišča (vir: Žmavc, J. 2007, str. 13).	3
Slika 3: Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjo nosilno plastjo iz nevezane zmesi zrn (vir: TSC 06.520. 2003, str. 8).	14
Slika 4: Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjo nosilno plastjo iz s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn (vir: TSC 06.520. 2003, str. 8).	14
Slika 5: Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjima nosilnima plastema iz s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn in iz nevezane zmesi kamnitih zrn (vir: TSC 06.520. 2003, str. 8).	15
Slika 6: Cementnobetonska voziščna konstrukcija (vir: TSC 06.530. 2005, str. 8).	16
Slika 7: Deflektograf (vir: ZAG Ljubljana).	22
Slika 8: Deflektometer (vir: ZAG Ljubljana).	22
Slika 9: Značilne konstrukcije tovornih vozil (vir: Žmavc, J. 2007, str. 238).	24
Slika 10: Značilne konstrukcije tovornih prikolic (vir: Žmavc, J. 2007, str. 239).	25
Slika 11: Značilne konstrukcije avtovlakov (vir: Žmavc, J. 2007, str. 239).	25
Slika 12: Prometne obremenitve za leto 2004 in 2005 ter napoved za leto 2010 (vir: Promet 2007).	36
Slika 13: Karta števnih mest v letu 2007 (vir: Promet 2007).	37
Slika 14: Ročno štetja prometa	39
Slika 15: Avtomatski števec za štetje prometa (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).	40

Slika 16: Avtomatski števec za štetje prometa (vir: Števec prometa, Sipronika 2009).	40
Slika 17: Časovna analiza podatkov (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).	41
Slika 18: Frekvenčni prikaz podatkov (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).	41
Slika 19: Ohišje avtomatskega števca za štetje prometa (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).	42
Slika 20: Kvalifikacijska shema števca prometa QLD-6 (vir: UM FG 2008).	43
Slika 21: Klasifikacija na osnovi dolžine vozila (vir: UM FG 2008).	43
Slika 22: Klasifikacija na osnovi induktivnega vozila (vir: UM FG 2008).	44
Slika 23: Servisni program za nastavitev in prenos podatkov QLD-6 (vir: UM FG 2008).	44
Slika 24: Servisni program za nastavitev in prenos podatkov QLD-6 (vir: UM FG 2008).	45
Slika 25: Pregled in analiza podatkov QLD-6 (vir: UM FG 2008).	45
Slika 26: Primer števnege mesta QLD-6 (vir: UM FG 2008).	46
Slika 27: Lokacije meritev v letu 2007 (vir: Štetje prometa 2007).	50
Slika 28: Način namestitve sistema SiWIM-a na most (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual).	52
Slika 29: Oblika senzorja sistema SiWIM-a (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual).	53

Slika 30: Obdelovanje podatkov SiWIM-a (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual)	53
Slika 31: SiWIM-D (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual).	55
Slika 32: Lokacija Benedikta.	60
Slika 33: Cestni odsek Lenart – Gornja Radgona.	60
Slika 34: Faktorji vzmetenja koles (vir: Žnidarič, A.).	63
Slika 35: Podatki izmerjeni s SiWIM za odsek 3 – 0315 (Benedikt) (vir. ZAG Ljubljana).	64
Slika 36: Diagram za določitev dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij (vir: TSC 06.520. 2003, str. 10).	71
Slika 37: Diagram z označenimi odčitki dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij.	72

1 UVOD

Vozniki se vsakodnevno srečujejo s poškodbami vozišč, t.i. spremembami materialov, vgrajenih v voziščno konstrukcijo. Že majhen odstotek preobteženih osi tovornih vozil občutno poveča obremenitve na voziščno konstrukcijo, kar posledično vpliva na hitrejše propadanje vozišč.

Za uspešno upravljanje s cestami in objekti na njih moramo poznati realne prometne obremenitve. V Republiki Sloveniji se je največ uporabljalo podatke števcev prometa, tako ročnih kot avtomatskih, v zadnjih letih pa smo priča, da se pri analizi uporabljajo tudi podatki, ki jih dobimo s pomočjo sistemov za tehtanje vozil med vožnjo.

V Republiki Sloveniji so prometne obremenitve iz leta v leto večje. Spreminja se tudi struktura vozil, ki povzroča dodatne obremenitve vozišč zaradi sprememb tlaka v pnevmatikah, povečanja osnih obremenitev, lege osi, itn. Posledica dodatnih obremenitev so poškodbe vozišč. Zaradi tega poskušamo pridobiti točne podatke o dejanskih obremenitvah cestnih vozil s pomočjo sistemov za štetje prometa, sistemi za tehtanje vozil med vožnjo ter s prometnimi študijami (prometne študije niso vir podatkov ampak jih ustrezno obdelajo in predstavijo).

Poleg strukture prometa se spreminja tudi hitrost vozil in gostota prometa, katerih posledica je poslabšanje vzdolžne in prečne ravnosti. Ravnost oz. neravnost vozne površine vpliva na varnost in udobnost vožnje, obremenitev vozila ter obremenitev voziščne konstrukcije. Ravnost površine se slabša zaradi preoblikovanja vozne površine – nastanka kolesnic in narivov, posedanja in obrabe zaradi staranja materialov. Neravnine v veliki meri povzročijo neprijetno nihanje vozil.

Zaradi zunanjih vplivov kot so prometne in klimatske obremenitve nastanejo v voziščni konstrukciji materialne spremembe. Nastale poškodbe je potrebno čim prej popraviti. Vgrajeni material v nepopravljenih ali v nepravilno popravljenih poškodbah vozni površin pod zunanjimi vplivi pospešeno propada, kar v veliki meri vpliva tudi na stroške popravila. Na nastanek poškodb vpliva še pomanjkljiva izvedba, pomanjkljivo vzdrževanje in seveda neprimerna uporaba.

Posledice prevelikih prometnih obremenitev se kažejo v obliki utrujanja, posedanja in preoblikovanja vozne površine ali celotne voziščne konstrukcije.

Pri postopkih načrtovanja voziščnih konstrukcij uporabljamo osnovna dognanja o nosilnosti podlage, prometnih obremenitvah, značilnostih načrtovanih materialov in lokalnih vremenskih pogojih. Vsaka od teh osnov ima svojo težo pri načrtovanju voziščne konstrukcije, zato jih je potrebno obravnavati in upoštevati kot celoto.

Pri postopkih načrtovanja je potrebno razpolagati s podatki, ki omogočajo realizacijo postavljenih ciljev in kakovostno oceno možnih načinov vzdrževanja. Obdelava podatkov nam omogoča:

- preverjanje stanja vozišč,
- preverjanje trajnosti in nosilnosti voziščne konstrukcije,
- programiranje in planiranje bodočih potreb za vzdrževanje, s tem mislimo preplastitve, ojačitve, obnove, itn.,
- izboljšanje tehnologije gradnje in vzdrževanja vozišča in
- izboljšanje postopkov dimenzioniranja.

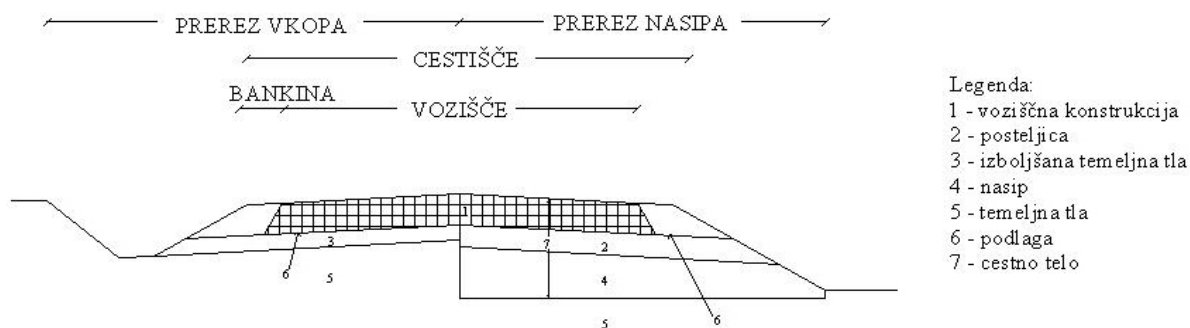
V diplomski nalogi smo ugotavljali, kakšen je dejanski vpliv prometnih obremenitev na voziščne konstrukcije. Primerjali bomo dva postopka določitve prometne obremenitve: na podlagi števecv oz. štetja prometa, in s pomočjo sistemov za tehtanje vozil med vožnjo. Štetja prometa nam dajo zgolj bolj ali manj zanesljive podatke o vrsti vozila, ki je peljalo čez števec, iz česar približno ocenimo obremenitev. Realne podatke o dejanskih obtežbah vozil oziroma podatke o preobteženih vozilih dobimo le s sistemi za tehtanje vozil.

2 VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA

V značilnem prečnem prerezu ceste vidimo, da je voziščna konstrukcija temeljena na izboljšani zaključni plasti nasipa (posteljici) ali izboljšanih temeljnih tleh, zgrajena pa praviloma iz:

- obrabne plasti,
- vezane nosilne plasti in
- nevezane nosilne plasti.

Podrobnosti značilnega prečnega prereza ceste so razvidne na sliki 1 in sliki 2.



Slika 1: Značilni prečni prerez ceste (vir: Žmavc, J. 2007, str. 13).



Slika 2: Značilna utrditev sodobnega vozišča (vir: Žmavc, J. 2007, str. 13).

2.1 Osnovni pojmi

Pomen pojmov prikazanih na sliki 1 in sliki 2 je naslednji:

Voziščna konstrukcija je del utrditve prometne površine, ki je sestavljena iz ene ali več nosilnih in obrabne plasti. Naloga voziščne konstrukcije je prevzem prometnih obremenitev ter prenos le - teh na posteljico in podlago. Naloga voziščne konstrukcije je tudi preprečevanje pronicanja vode do podlage.

Vozišče je enakomerno neprekinjeno utrjeni del cestišča; sestavljeno je iz enega ali več prometnih pasov in posebnih prometnih pasov.

Cestišče je skupna širina ceste od zunanjega roba, (zunanje) bankine na eni strani, vključno z napravami za odvodnjavanje tik ob vozišču ali robnem pasu, do zunanjega roba bankine na drugi strani. Prečni prerez cestišča je sestavljen iz enega ali več prometnih pasov, posebnih prometnih pasov in stranskih pasov.

Utrditev vozišča je skupni izraz za plasti materialov vgrajenih v voziščno konstrukcijo in posteljico.

Posteljica je zaključna plast nasipa oz. temeljih tal, debela do 50 cm. Z ustreznimi gradbenotehničnimi ukrepi (utrditve, stabiliziranje) lahko dosežemo povečano nosilnost posteljice in zmanjšano občutljivost na učinke mraza.

Temeljna tla so zemljine ali kamnine, praviloma v naravnih tleh. Temeljna tla mejijo neposredno na nasip, voziščno konstrukcijo ali na temelj gradbenega objekta. Lahko pa so neposredno pod temeljem gradbenega objekta.

Nasip leži med posteljico in temeljnimi tlemi. Nasip je umetno zgrajen iz zemljin in/ali kamnin in je tako visoko nad površjem terena, da sta ena ali obe brežini nagnjeni navzdol.

Vkop je odkop za širino ceste, ki je tako globoko pod površjem terena, da sta ena ali obe brežini usmerjeni navzgor.

Podlaga je del prostora pod plastjo, ki jo gradimo.

Cestno telo je skupek materialov, ki se uporabljajo za nasipe in za utrditev ceste med planumom temeljnih tal in vozno površino oz. drugo zaključno površino.

Bankina je mehanično stabilizirani del cestišča ob vozišču, ki služi za oporo voziščni konstrukciji. Bankina ni namenjena za ustavljanje vozil oz. za vožnjo vozil.

Krovna plast predstavlja vrhnji del voziščne konstrukcije na prometni površini. Krovna plast neposredno prevzema prometne obremenitve in jih prenaša na spodaj vgrajene plasti, ravno tako pa preprečuje vodi vdiranje v voziščno konstrukcijo. Krovna plast je sestavljena iz obrabne in zgornje vezane nosilne plasti.

Nosilna plast je del med obrabno plastjo in posteljico ali planumom podlage pod voziščno konstrukcijo. Nosilna plast služi predvsem raznosu prometnih obremenitev.

Obrabna plast je vrhnja plast voziščne konstrukcije na cesti. Po sestavi se obrabne plasti razlikujejo, saj je sestava odvisna od klimatskih in prometnih obremenitev ter osnovnega namena uporabe.

Vezana nosilna plast je zmes kamnitih materialov enakomerne zrnivosti, ki so med seboj povezani z bitumenskim ali hidravličnim vezivom.

2.2 Izvedba voziščne konstrukcije

Voziščne konstrukcije so zgrajene praviloma iz naslednjih plasti (slika 2):

- obrabne/zaporne,
- vezane nosilne in
- nevezane nosilne.

Pri izvedbi voziščne konstrukcije je potrebno, da je podlaga pod voziščno konstrukcijo čimbolj enakomerno nosilna. Najlažje zagotovimo ustrezno nosilnost z ustrezno posteljico.

2.2.1 Posteljica

Namen posteljice je:

- zagotoviti primerno in trajno nosilnost podlage in
- zaščititi vgrajene materiale pred škodljivimi učinki mraza.

Zahtevane lastnosti posteljice zagotovimo z ustreznimi gradbenotehničnimi ukrepi, in sicer z uporabo primernih materialov oz. njihovim izboljšanjem, utrditvijo ali stabiliziranjem in ureditvijo odvodnjavanja.

2.2.1.1 Materiali

Najbolj so primerne kamnine, lahko pa uporabimo tudi vezljive zemljine. Material mora biti prostorsko stabilen in obstojen v vodi.

Ko je temperatura pod lediščem in je v materialu vsebovana voda zmrznjena, takrat posteljice ni mogoče graditi, saj moramo za doseganje predpisane zgoščenosti zagotoviti primerno vlažnost materiala. Če je posteljica vgrajena v območju globine zamrzovanja h_{\min} , moramo zagotoviti, da je uporabljeni material odporen na škodljive učinke heterogene zamrznitve.

Vezljive zemljine uporabimo za posteljico, če je meja židkosti $w_L < 35$ % in indeks plastičnosti $I_p < 12$ %. Kamnine pa uporabimo, če premer največjega zrna v zmesi ni večji od 2/3 debeline plasti in praviloma ne večji od 300 mm ter če količnik neenakomernosti oblikovanosti presejne krivulje U ni manjši od 8.

2.2.1.2 Izvedba

Planum, na katerega bomo zgradili posteljico, mora imeti za dobro in čim hitrejšo odvodnjavanje primeren nagib. Poleg tega mora biti zagotovljena tudi ustrezna ravnost in višina planuma.

Če obstaja nevarnost, da se bo pod prometno obremenitvijo vezljiva zemljina iz podlage vtiskala v posteljico in s tem povzročila poslabšanje njenih lastnosti, je potrebno podlago pred nadgrajevanjem zaščititi z ustrežno ločilno plastjo.

Debelina posteljice naj bi praviloma znašala do 50 cm. Z ustreznimi stroji (npr. greder, buldožer) lahko razprostremo v posteljico vgrajeni material v eni plasti. Za zgoščevanje materialov posteljice uporabljamo vibracijske valjarje. Navoz materiala mora potekati po že razprostrti plasti tega materiala in ne po planumu podlage za posteljico.

Pri posteljici iz kamnitih materialov je potrebno zagotoviti izravnavo konic z ustrežno izravnalno plastjo v debelini 10 cm.

2.2.2 Nevezana nosilna plast

Namen nevezane nosilne plasti je zagotoviti:

- potrebno nosilnost,
- trajno nosilnost in
- zaščito vgrajenih materialov pred škodljivimi učinki mraza.

Trajno nosilnost se zagotovi z izbrano zmesjo kamnitih zrn, ki je obstojna v vodi in na mrazu. Potrebno nosilnost pa je potrebno zagotoviti zato, da je omogočena ustrezna kakovostna vgraditev materialov v nadgrajenih plasteh voziščne konstrukcije.

2.2.2.1 Materiali

V nevezano nosilno plast vgrajujemo zmesi zrn, katerih sestava mora biti prilagojena predvideni prometni obremenitvi:

- za težje obremenitve čim bolj grobozrnata in skeletna zmes, zrna v celoti drobljena in
- za lažje obremenitve je lahko zmes drobnozrnata in gosta, zrna so lahko naravno oblikovana.

Debelina plasti zmesi kamnitih zrn h_{\min} in velikost največjih zrn v zmesi D_{\max} morata biti skladni, pri čemer mora biti $h_{\min} \geq 2,5 \cdot D_{\max}$.

Poleg najmanjše debeline plasti nevezane zmesi kamnitih zrn je omejitev tudi za največjo gospodarno debelino plasti. Ta naj bi bila 40 cm. Pri večji debelini nosilne plasti nevezane zmesi zrn se njena nosilnost ne povečuje več, sorazmerno pa se povečuje zaščita vgrajenega materiala pred škodljivim učinkom mraza.

Sestava zmesi zrn v veliki meri vpliva na njeno obnašanje v mrazu, t.j. na zamrznitev vode v njej in na posledice te zamrznitve.

Adhezijsko vezana voda v zmesi praviloma zmrzne homogeno, kar pomeni, da pri zamrzovanju nastajajo ledeni kristali in posledično ne prihaja do kapilarnih dvigov vode, kar ni škodljivo za nevezano nosilno plast. Če pa pride v zmesi zrn do kapilarnega dviga vode, se ledeni kristali lahko razraščajo, kar pomeni heterogeno zamrznitev. Slednja povzroči neenakomerne zmrzlinke dvige, ki so kot večje ali manjše izbokline pojavijo na vozni površini.

2.2.2.2 Izvedba

V fazi skladiščenja, nakladanja, razkladanja in razgrinjanja je potrebno preprečiti nevezani zmesi zrn, da bi segregirala. Navoz materiala mora potekati po že razprostrti plasti tega materiala in ne po planumu podlage za nevezano nosilno plast. Primerno vlažno zmes zrn razprostremo s finišejem, izjemoma lahko uporabimo greder, buldožer ali ročno, če seveda strojno ni mogoče.

Ustrezna zgostitev zmesi zrn je mogoča z vibracijskimi valjarji in valjanjem od nižjega proti višjemu robu plasti.

V zimskem času je nosilnost nevezane nosilne plasti dobra, problemi lahko nastopijo v času odjuge, saj odtajanje poteka od zgoraj navzdol. Nastane višek vode, ki bi odtekel, če ne bi bila spodnja plast še zamrznjena. To ima za posledico zmanjšano nosilnost vgrajene zmesi zrn, še posebej, če zmes vsebuje večji delež drobnih ali neprimernih zrn.

Pod prometno obremenitvijo se nevezana kamnita zrna drobijo. Voda, ki v kolesnicah v večji ali manjši meri zastaja, skozi razpoke prodira do prekomerno drobne zmesi zrn. Zato je v območju kolesnic poleg manjše nosilnosti tudi velika nevarnost za nastanek zmrzlinških poškodb.

Nagib planuma nevezane nosilne plasti mora biti enak vzdolžnemu in prečnemu nagibu vozišča, možna so odstopanja do $\pm 0,4$ % absolutne vrednosti nagiba.

2.2.3 Spodnja vezana nosilna plast

Spodnjo vezano nosilno plast lahko poimenujemo tudi stabilizirana nosilna plast, ker vanjo vgrajujemo pretežno z vezivi stabilizirane zmesi.

Namen izvedbe spodnje vezane nosilne plasti je:

- prevzem upogibno nateznih napetosti in s tem povečan raznos prometnih obremenitev,
- zmanjšanje specifičnih obremenitev posameznih zrn v zmesi in
- da omogoča uporabo zmesi zrn, ki zaradi prekomernega deleža drobnih zrn ne bi bila primerna za nevezano nosilno plast.

2.2.3.1 Materiali

Za spodnjo vezano nosilno plast oz. stabilizirano nosilno plast so primerni osnovni materiali zmesi kamnitih zrn ter z njimi proizvedene stabilizirane (asfaltne) zmesi in (cementne) mešanice.

Pri izbiri velikosti zrn v stabilizirani zmesi je potrebno upoštevati:

- da je za večja zrna potrebna manjša količina veziva in
- da je za manjša zrna potrebna večja količina veziva.

2.2.3.2 Izvedba

Za primerno izvedbo stabilizirane nosilne plasti je potrebna pravočasna predhodna sestava in celotna preveritev stabilizirane zmesi, vključno s poskusnim vgrajevanjem in potrebnimi preizkusi.

Zmes se strojno razprostre in zgosti po vsej širini vozišča, od roba proti sredini plasti in od nižjega proti višjemu robu plasti. Pri tem pazimo, da so prehodi vibracijskih valjarjev vedno prekriti.

Z bitumenskim vezivom stabilizirana zmes mora biti vgrajena v najmanj 8 cm debeli plasti, s cementnim vezivom stabilizirana zmes pa v najmanj 15 cm debeli plasti.

Nagib planuma stabilizirane nosilne plasti mora biti enak prečnemu in vzdolžnemu nagibu vozišča.

2.2.4 Zgornja vezana nosilna plast

Zgornje vezane nosilne plasti so praviloma vgrajene v voziščno konstrukcijo za vse skupine prometnih obremenitev. Izjemoma lahko v voziščnih konstrukcijah z lažjo prometno obremenitvijo namesto bituminizirane zmesi uporabimo ustrezen drugačen material. Za zgornje vezane nosilne plasti uporabljamo bolj kvalitetne zmesi ali mešanice kot za stabilizirane nosilne plasti (spodnje vezane nosilne plasti).

Namen zgornjih vezanih nosilnih plasti je:

- prevzem strižnih napetosti, ki so prav v območju zgornjih vezanih nosilnih plasti v voziščnih konstrukcijah največje,
- prevzem tlačnih obremenitev, ki jih povzročajo motorna vozila in so prav tako razmeroma velike v območju zgornjih vezanih nosilnih plasti voziščnih konstrukcij in
- oviranje prodiranja vode s površine vozišč v voziščne konstrukcije in naprej v podlago, kar nam zagotovi gosta zmes.

2.2.4.1 Materiali

Za zgornje vezane nosilne plasti uporabljamo bituminizirane zmesi, proizvedene po vročem postopku: bituminizirani prodec, bituminizirani prodec z dodatkom drobirja ali drobljenca in bituminizirani drobljenec.

2.2.4.2 Izvedba

Površino čiste podlage je potrebno enakomerno pobrizgati z ustreznim vezivom npr. nestabilno kationsko bitumensko emulzijo. Vezivo mora biti pred pričetkom vgrajevanja bituminizirane zmesi v zgornjo nevezano nosilno plast posušeno.

Finišer mora pri razprostiranju bituminizirane zmesi zagotoviti najmanj 85 - odstotno stopnjo zgostitve. Na vgrajeno zgornjo vezano nosilno plast se promet spusti oziroma se začne vgrajevati naslednja plast šele, ko se je asfaltna zmes v sredini ohladila na približno 30 °C do 35 °C.

Nagib planuma vezane nosilne plasti mora biti enak vzdolžnemu in prečnemu nagibu vozišča; možna so odstopanja do $\pm 0,4$ % absolutne vrednosti nagiba.

2.2.5 Nevezana obrabna plast

Nevezana obrabna plast se uporablja pri voziščnih konstrukcijah z zelo lahko prometno obremenitvijo ali pa začasno ureditev vozne površine.

Namen nevezane obrabne plasti je:

- zagotoviti čimbolj zaklinjeno zmes zrn na vozni površini, ki bo prevzela tlačne obremenitve od prometa,
- raznos prometnih obremenitev in
- zagotoviti zmanjšanje učinka mraza na materiale v cestnem telesu in v temeljnih tleh.

2.2.5.1 Materiali

Zmes kamnitih zrn za nevezano obrabno plast mora biti sestavljena iz čimbolj skeletne osnovne zrnivosti – 0/22 mm, 0/32 mm, 0/45 mm in zrnivosti za zaklinjanje 0/8 mm.

2.2.5.2 Izvedba

Zmes kamnitih zrn za zaklinjanje razprostremo na že vgrajeno plast skeletne zmesi v tolikšni meri, da so votline na površini popolnoma zapolnjene in tudi za delno zapolnjenost votlin v vgrajeni zmesi.

Vgrajevanje plasti se izvaja z lažjimi statičnimi valjarji, in sicer v debelini 15 cm do 30 cm.

Sicer so pa zahteve za vgrajevanje nevezanih obrabnih plasti enake zahtevam za vgrajevanje vezanih nosilnih plasti.

2.2.6 Vezana obrabna in zaporna plast

Kot vrhnje plasti voziščnih konstrukcij so se uveljavile:

- obrabnozaporne,
- obrabne in
- zaporne plasti.

Namen teh plasti je:

- prevzeti horizontalne sile med vozilom in voziščno konstrukcijo,
- zagotavljati ustrezno torno sposobnost in ravnost vozne površine, ki igrata pomembno vlogo za varno in udobno vožnjo in
- zaščititi cestno telo pred padavinami in drugimi vremenskimi vplivi.

2.2.6.1 Materiali

Vezane obrabne in zaporne plasti lahko ločimo glede na uporabljene zmesi in sicer na:

- asfaltne,
- cementnobetonske in
- tlakovane.

V praksi se največ uporabljajo asfaltne plasti.

Med bituminizirane zmesi za asfaltne obrabne plasti prištevamo bitumenski beton, drobir z bitumenskim mastiksom, diskontinuirani bitumenski beton, hrapavi liti asfalt in obdelavo površin s tankoplastnimi in površinskimi prevlekami. Bituminizirana zmes za zaporne plasti pa je drenažni asfalt.

Cementnobetonske krovne plasti so primerne na cestah z velikimi prometnimi in osnimi obremenitvami, z velikimi temperaturnimi obremenitvami in z velikimi vzdolžnimi nagibi vozišča.

2.2.6.2 Izvedba

Pred pričetkom vgrajevanja asfaltne obrabne plasti moramo zagotoviti, da je površina čista, ravna in enakomerno pobrizgana z ustreznim vezivom, ki mora biti posušeno pred pričetkom vgrajevanja bituminizirane zmesi za obrabne plasti. Bituminizirana zmes mora imeti ustrezno temperaturo in kakovost.

Bituminizirano zmes je dovoljeno vgrajevati s finišerji le v ustreznih temperaturnih razmerah: temperatura zraka in podlage mora biti najmanj 5 °C. Vgrajevanje s finišerji omogoča poleg razprostiranja bituminizirane zmesi v plasti določene debeline tudi zgoščanje.

Cementnobetonske krovne plasti je možno narediti v eni ali dveh plasteh. Prečni nagib je enostranski, debelina pa naj bi bila enakomerna po celotnem prerezu. Cementnobetonska krovna plast je lahko zgrajena tudi v obliki klina, kar pomeni, da je narejena v večji debelini na zunanjem robu voznega pasu in v manjši debelini na zunanjem robu prehitevalnega pasu. Podlaga za cementnobetonske krovne plasti je lahko iz različnih materialov, tako vezanih kot nevezanih.

S sredstvi za kemijsko zaščito zaščitimo krovno plast pred vplivi vremena.

2.3 Vrste voziščnih konstrukcij

V cestogradnji se v zadnjem času uporabljata predvsem dve vrsti voziščnih konstrukcij, in sicer asfaltna in cementnobetonska. Makadamska in tlakovana vozišča so načrtovana le še izjemoma, predvsem v primerih ohranitve podobe krajine.

2.3.1 Asfaltna krovna plast

Kot navaja Tehnična specifikacija (TSC 06.520) so lahko asfaltne voziščne konstrukcije zgrajene v treh različnih sestavah, ki se med seboj razlikujejo le v spodnjih nosilnih plasteh. Spodnje nosilne plasti so lahko zgrajene iz:

1. nevezane zmesi kamnitih zrn (slika 3),
2. s cementom ali bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn (slika 4) in
3. s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn in nevezane zmesi kamnitih zrn (slika 5).



Slika 3: Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjo nosilno plastjo iz nevezane zmesi zrn (vir: TSC 06.520. 2003, str. 8).



Slika 4: Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjo nosilno plastjo iz s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn (vir: TSC 06.520. 2003, str. 8).



Slika 5: Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjima nosilnima plastema iz s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn in iz nevezane zmesi kamnitih zrn (vir: TSC 06.520. 2003, str. 8).

Asfaltna voziščna konstrukcija je lahko v določenih pogojih zgrajena tudi z zamenjano lego spodnjih nosilnih plasti.

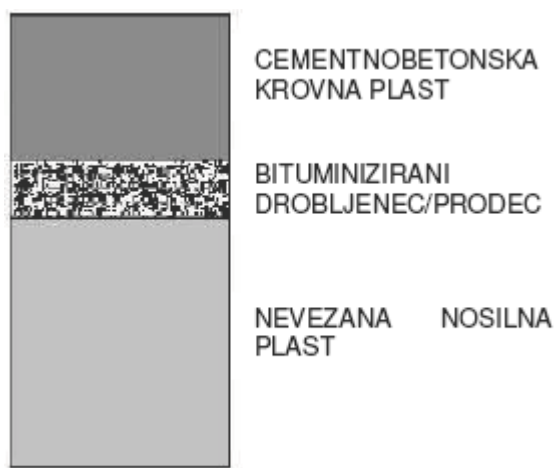
Pri gradnji asfaltne voziščne konstrukcije uporabljamo za izvedbo asfaltne krovne plasti naslednje bituminizirane zmesi:

- za vezano nosilno plast:
 - bituminizirani drobljenec,
 - bituminizirani prodec in
 - bituminizirani prodčev drobljenec,
- za vezano nosilnoobrabno in vezno plast:
 - bituminizirani drobljenec,
- za obrabno plast:
 - bitumenski beton (v nadaljevanju uporabljen izraz BB),
 - drobir z bitumenskim mastiksom,
 - drenažni asfalt,
 - liti asfalt,
 - tankoplastno prevleko in
 - površinsko prevleko.

2.3.2 Cementnobetonska krovna plast

Cementnobetonska voziščna konstrukcija je zgrajena iz treh plasti (slika 6):

- cementnobetonska krovna plast,
- vmesna plast (iz bituminiziranega drobljenca ali prodca) in
- nevezana nosilna plast.



Slika 6: Cementnobetonska voziščna konstrukcija (vir: TSC 06.530. 2005, str. 8).

Lastnosti cementnobetonskih krovnih plasti nam omogočajo uporabo predvsem za ceste, kjer:

- so velike prometne in osne obremenitve,
- so velike temperaturne obremenitve,
- so veliki vzdolžni nagibi vozišča in
- kanaliziran in usmerjan promet.

Prednosti cementnobetonskih krovnih plasti pred asfaltnimi so:

- boljši raznos obremenitev, kar omogoča manjšo nosilnost podlage in lokalno omejeno neenakomerno podlago,
- vozna površina se zaradi vpliva prometa in temperatur ne preoblikuje in
- večja trajnost in manjši stroški vzdrževanja.

Slabosti cementnobetonskih krovnih plasti v primerjavi z asfaltnimi so:

- celotno krovno plast je potrebno zgraditi naenkrat in
- popravila so zahtevnejša, če so potrebna.

2.3.3 Tlakovana obrabna plast

Tlakovane obrabne plasti so lahko nevezane ali vezane, odvisno od materiala, ki ga uporabimo za zapolnitev rež med tlakovci. Obe vrsti se uporabljata v cestogradnji že več tisoč let. Tlakovane obrabne plasti se dan danes uporablja predvsem za ureditev okolja, tj. za lažji in mirujoči promet.

Način vgraditve tlakovcev je odvisen predvsem od njihove oblike in od namena uporabe.

2.4 Obremenitve voziščnih konstrukcij

Materiali, vgrajeni v voziščne konstrukcije, so izpostavljeni različnim vplivom. Na vgrajene materiale vpliva tako potek gradnje kot tudi različni zunanji vplivi. Posledica le - teh je stanje in obnašanje voziščnih konstrukcij.

2.4.1 Zunanje obremenitve voziščnih konstrukcij

Med zunanje obremenitve spada potek gradnje. Vendar nas v sklopu diplomske naloge bolj kot sam potek gradnje zanimajo zunanji vplivi. Med zunanje vplive spadata prometna obremenitev in klimatska obremenitev. Vpliv teh dveh obremenitev je na vgrajene materiale različen. Prometna obremenitev vpliva predvsem na preoblikovanje vozne površine in utrujanje materiala vgrajenega v voziščno konstrukcijo. Klimatska obremenitev pa povzroči spremembe lastnosti osnovnih materialov.

2.4.1.1 Prometna obremenitev v širšem pomenu besede

Na osnovi prometne obremenitve se določijo ustrezne dimenzije plasti voziščne konstrukcije, bodisi z asfaltno ali cementnobetonsko krovno plastjo za novogradnje kot tudi za popravila obstoječih voziščnih konstrukcij.

Obremenitve, ki jih promet povzroča na voziščno konstrukcijo, delimo na:

- navpično statično kolesno obremenitev,
- navpično dinamično kolesno obremenitev in
- vodoravno dinamično kolesno obremenitev.

Navpični obremenitvi, statična in dinamična, povzročata v voziščni konstrukciji tlačne in upogibno natezne napetosti. V manjši meri vplivata tudi na podlago. Vodoravna dinamična kolesna obremenitev povzroča napetosti samo v obrabni plasti vozišča, in sicer vzdolžne napetosti v smeri vožnje ali v nasprotni smeri ter prečne napetosti pod različnim kotom na smer vožnje. Posledica teh obremenitev so poškodbe voziščne konstrukcije.

Poškodbe na vozišču nastanejo zaradi velikega števila prehodov težkih vozil ali pa zaradi prevelike enkratne prometne obremenitve.

Na poškodbe vozišča vpliva tudi velikost in število osnih obremenitev. Vpliv na poškodbe ima tudi razporeditev in število osi na motornih vozilih ter število koles na oseh.

Poškodbe na voziščni konstrukciji so predvsem posledica utrujanja vgrajenih materialov v voziščno konstrukcijo zaradi številnih obremenitev.

Poškodbe se kažejo kot posamezne in mrežaste razpoke, trajno preoblikovanje, obraba in zglajenost vozišča.

Če povzamemo, lahko rečemo, da moramo biti pri načrtovanju voziščne konstrukcije pozorni na specifične vplive značilnosti vozil na utrujanje vgrajenih materialov v voziščno konstrukcijo, prav tako pa moramo upoštevati strukturo prometa.

2.4.1.2 Klimatska obremenitev

Klimatski vplivi povzročajo v pretežni meri spremembo osnovnih materialov, vgrajenih v voziščno konstrukcijo in pod njo.

Med klimatske obremenitve štejemo:

- nihanje temperature in zmrzovanje in
- padavine.

Ti obremenitvi se deloma kažeta na vozni površini, deloma pa na celotni voziščni konstrukciji. Če obremenitvi nastopita istočasno, je njun vpliv kritičen.

V sklopu nihanja temperature so pomembne predvsem poleti visoke in pozimi nizke temperature. Nizke zimske temperature povzročajo škodo, če je v materialu prisotna voda, ki zamrzne, pri tem se spremeni notranja zgradba vgrajenega materiala. Visoke poletne temperature povzročijo raztezanje in napetosti, ki naj bi jih vgrajeni material prevzel z notranjo prerazporeditvijo.

Prekomerne padavine povzročijo v določenih materialih zmanjšanje notranjega trenja.

2.4.2 Značilnosti obremenitev

Pri izbiri materialov, vgrajenih v različne plasti voziščne konstrukcije, moramo upoštevati, da ima vsaka plast svojo nalogo, kar lahko tudi vidimo v preglednici 1. Na vsako plast voziščne konstrukcije deluje določena obremenitev.

S samim zaporedjem plasti poskušamo zagotoviti zveznost, in sicer iz dveh vidikov:

- od zgoraj navzdol lahko vodoprepustnost plasti narašča in
- od zgoraj navzdol mora togost plasti počasi upadati, ker s tem zagotovimo prehod od visokokakovostne obrabne plasti na manj kakovostno podlago.

Preglednica 1: Osnovne plasti voziščne konstrukcije in značilne obremenitve plasti (vir: Žmavc, J. 2007, str. 217).

Vrsta plasti	Vrsta obremenitve	Vloga plasti	Zahtevana lastnost	Ukrepi
OBRABNA	dinamična kolesna obremenitev, temperatura, površinska voda	partner pnevmatiki, zaščita podložnih plasti	torna sposobnost, drenažna zmogljivost, zmanjšanje hrupa, odpornost proti obrabi, majhen odpor kotaljenju	tanke plasti (1 do 4 cm) z optimalnimi lastnostmi površine, dodatki umetnih snovi

VEZANA NOSILNA	dinamična potisna, upogibna - natezna, tlačna, temperatura	raznos obremenitve, nosilnost	odpornost proti preoblikovanju, odpornost proti utrujanju, natezna trdnost	zmes z velikimi zrni, debela plast asfaltne zmesi
NEVEZANA NOSILNA	zmrzal, tlačna	zaščita proti mrazu, podlaga	odpornost proti mrazu, odpornost proti preoblikovanju	vezani ali nevezani reciklirani material

2.5 Gostota vgrajenega materiala

Gostota vgrajenega materiala oziroma stopnja zgoščenosti je poleg kakovosti materiala merodajna za nosilnost voziščne konstrukcije.

2.6 Nosilnost voziščne konstrukcije

Nosilnost voziščne konstrukcije pomeni, da mora biti voziščna konstrukcija sposobna prevzeti horizontalne, vertikalne in strižne napetosti. Optimalna nosilnost je zagotovljena, če voziščna konstrukcija kot celota prevzame prometno obremenitev.

V zadnjih letih smo priča naraščajočim prometnim obremenitvam, kar ima za posledico, da se z naraščanjem prometnih obremenitev povečujejo tudi zahteve glede nosilnosti voziščnih konstrukcij.

Zahtevam lahko ugodimo s tem, da izboljšamo kvaliteto vgrajenih materialov, prilagodimo sestavo zmesi in mešanic ter določimo najbolj primerne voziščne konstrukcije. Značilnosti naštetih pa morajo biti prilagojene tudi hidrološkim in klimatskih razmeram.

Če vplive razčlenimo natančneje, lahko rečemo, da na nosilnost na eni strani vpliva gradnja, na drugi pa so to zunanji vplivi.

Vplivi gradnje so sledeči:

- projektiranje cest (potek in lega),
- projektiranje utrditve (reološke lastnosti, zaporedje plasti) in
- vgrajevanje.

Zunanji vplivi so:

- promet,
- hidrološke razmere in
- klimatske razmere.

Merilo za napovedovanje nosilnosti je podajnost, imenovana tudi defleksija. Podajnost mora biti v določenih mejah. Zagotovimo jo z ustrezno izbiro materialov in debelino plasti, s tem pa je zagotovljen tolikšen raznos obremenitev, da je podajanje vozne površine čim bolj elastično.

Če se na vozni površini pričnejo pojavljati plastični posedki, to pomeni, da vozna površina ni sposobna prevzemati nastalih obremenitev.

Meritve nosilnosti izvajamo med gradnjo. Uporabljamo dva postopka:

- meritve podajnosti (defleksija) in
- meritve hitrosti valovanja (vibracij).

Podajnost ugotavljamo z vnaprej določeno obremenitvijo merilnega mesta. Podajnost je v obratnem sorazmerju z nosilnostjo.

Hitrost valovanja (vibracij) določimo z vibracijskimi napravami. To nam omogoča določitev debelin plasti materialov in njihovih modulov togosti.

V cestogradnji se uporablja za meritve nosilnosti deflektograf in deflektometer. Deflektograf prikazan na sliki 7, je počasen, vendar so njegovi rezultati bolj zanesljivi. Deflektometer, s katerim se meri odziv podlage po udarcu padajoče uteži (slika 8) je bolj učinkovit in se ga uporablja zlasti za določitev nosilnosti voziščnih konstrukcij na mrežnem nivoju.



Slika 7: Deflektograf (vir: ZAG Ljubljana).



Slika 8: Deflektometer (vir: ZAG Ljubljana).

3 PROMETNA OBREMENITEV

Prometna obremenitev je obremenitev, ki je izražena s številom vozil (povprečni letni dnevni promet, v nadaljevanju uporabljen izraz PLDP), lahko pa je izražena tudi s številom prehodov nazivne osne obremenitve, ki bo prečkalo izbrani prerez ceste v določeni dobi.

Nazivna osna obremenitev (v nadaljevanju NOO), je obremenitev enojne osi vozila s 82 kN (100 kN v predlogu TSC 06.511), ki se prenaša z dvojnimi kolesi (na vsako kolo pade 20,4 kN) na vozno površino.

Povprečni letni dnevni promet (PLDP) je povprečno dnevno število motornih vozil, ki je v določenem letu prevozilo izbrani prerez vozišča. Rezultati štetja na karakterističnih mestih na cestnem omrežju in analize s tem v zvezi nam dajejo podatke o PLDP (gostoti prometa). Podatke o PLDP dobimo tudi s pomočjo analiz tehtanj vozil s pomočjo sistemov za tehtanje vozil SiWIM.

Štetje prometa je lahko ročno ali avtomatizirano. Avtomatizirano se uporablja za natančno določitev števila vozil, ki prevozijo določen prerez ceste, lahko tudi za bolj natančno opredelitev števila prehodov izbranih osnih obremenitev. Ročno se uporablja za občasno ugotavljanje števila in vrste vozil, ki prevozijo določen presek ceste.

Tehtanje vozil izvajamo s pomočjo sistemov za tehtanje vozil. Vozila lahko tehtamo na dva načina, in sicer gre za:

- statično tehtanje mirujočih vozil z mobilnimi ali fiksnimi tehtnicami in
- dinamično tehtanje, s sistemi za tehtanje vozil med vožnjo (ang. WIM, Weigh-in-motion systems).

S statičnim tehtanjem lahko na obremenjenih cestah stehtamo največ 1% vozil, zato je neprimerno za zbiranje podatkov o prometnih obremenitvah in se uporablja predvsem za kontrolo preobteženih vozil in kot osnova za njihovo kaznovanje. WIM sistemi so zaradi dinamičnih obremenitev med meritvijo (vožnjo), sicer manj natančni od statičnih sistemov, vendar stehtajo praktično vsa vozila v prometnem toku.

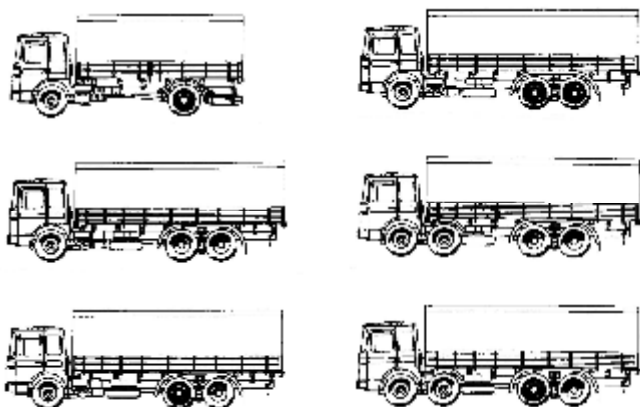
3.1 Struktura prometa

Pri načrtovanju voziščne konstrukcije so merodajni podatki o razvrstitvi motornih vozil v naslednje kategorije, ki izhajajo iz štetij prometa:

- osebna vozila in kombiji,
- avtobusi,
- lahka - tovorna vozila z nosilnostjo do 3 t,
- srednja - tovorna vozila z nosilnostjo 3 do 7 t,
- težka - tovorna vozila z nosilnostjo nad 7 t,
- težka - tovorna vozila s prikolico in avtovlaki.

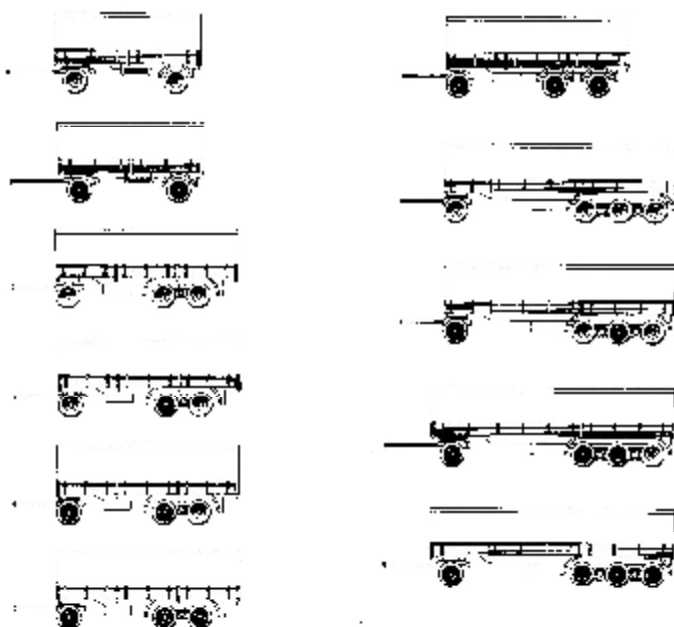
V isto kategorijo vozil so torej razvrščena tovorna vozila z različnimi značilnostmi kot so skupna masa vozila, dolžina vozila, število osi, medosne razdalje (slike 9 do 11). Poleg tega nam samo ocenjena nosilnost vozila ne pove veliko o dejanski (pre)obremenitvi vozil.

Na podlagi slik in zgoraj naštetih problemov lahko rečemo, da samo struktura motornih vozil ne zadostuje za optimalno načrtovanje voziščne konstrukcije.

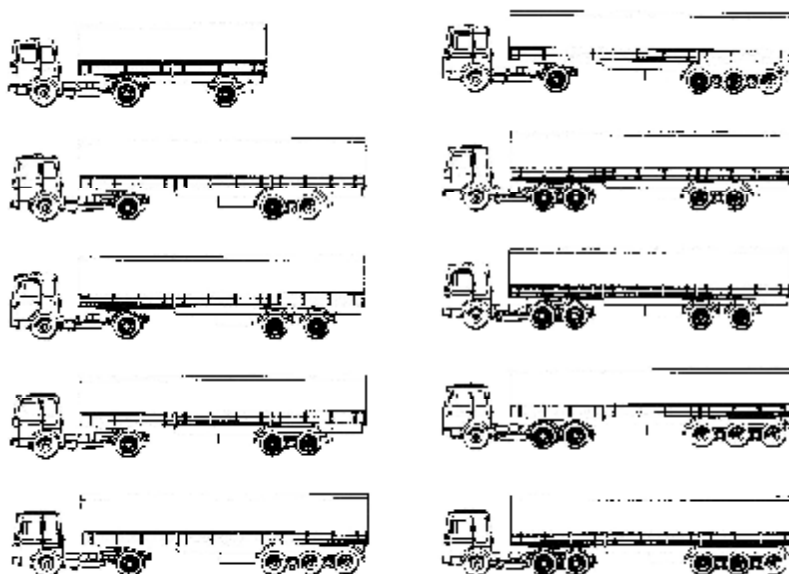


Slika 9: Značilne konstrukcije tovornih vozil (vir: Žmavc, J. 2007, str. 238).

Pri načrtovanju voziščne konstrukcije se soočamo tudi s problemom nihanja števila vozil tekom leta, ki so lahko sezonska ali tedenska, zato je potrebno štetja prometa ali tehtanja vozil izvesti tako, da ta nihanja zajamejo.



Slika 10: Značilne konstrukcije tovornih prikolic (vir: Žmavc, J. 2007, str. 239).



Slika 11: Značilne konstrukcije avtovlakov (vir: Žmavc, J. 2007, str. 239).

3.2 Gostota prometnega toka

Gostota prometnega toka pomeni število vozil na enoto dolžine prometnice glede na prometni pas in smer. Lahko rečemo, da je gostota prometnega toka prostorsko vezana na odsek ceste, časovno pa na trenutno stanje.

V praksi se izrazi na dva načina:

- število vozil na enoto odseka v trenutku opazovanja,
- število vozil v enoti dolžine opazovanega odseka kot aritmetična sredina števila trenutnih opazovanj v določenem časovnem intervalu.

3.3 Ekvivalentna prometna obremenitev

Utrujanje vgrajenih materialov v voziščne konstrukcije je odvisno od:

- značilnosti motornih vozil – osnih obremenitev, razporeditev osi na vozilu, razporeditev koles na osi vozila in
- števila obremenitev z motornimi vozili.

Osno obremenitev, lahko na podlagi raziskave in rezultatov AASHO (American Association of State Highway Officials) testa iz leta 1959 ovrednotimo s tako imenovanimi faktorji ekvivalentnosti (enakega vpliva). Pri tem uporabljamo modificirano enačbo AASHO testa:

$$FE_{naz} = 10^{-8} \cdot f_o \cdot (f_k \cdot L_{stat})^4 \quad (1)$$

kjer pomeni:

- FE_{naz} - faktor ekvivalentnosti vpliva dejanske osne obremenitve motornega vozila na utrujanje v odnosu na vpliv NOO 82 kN.

Preglednica 2: Povprečna vrednost faktorjev ekvivalentnosti (vir: TSC 06.511. 2001, str. 7).

Reprezentativno vozilo	Povprečni faktor ekvivalentnosti
- osebno	0,00006
- avtobus	1,20
- tovorno:	
lahko	0,01
srednje	0,20
težko	1,10
težko s prikolico	2,00

- f_o - faktor razporeditve osi na motornem vozilu:

- za enojno oz. posamično os $f_{o1} = 2,212$
- za dvojno os $f_{o2} = 0,1975$
- za trojno os $f_{o3} = 0,048$
- za posamezno os v zapregi – tandem (dvojna zaprega) $f_{o12} = 1,583$

- f_k - faktor razporeditve koles na osi vozila:

- za enojno kolo $f_{k1} = 1,0$
- za dvojno kolo, v paru $f_{k2} = 0,9$
- za enojno široko kolo $f_{k3} = 0,97$

Preglednica 3: Povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za večje število težkih tovornih vozil (vir: TSC 06.511. 2001, str. 8).

Povprečno število težkih tovornih vozil na dan	Povprečni faktor ekvivalentnosti
do 200	0,9
nad 200 do 1000	1,3
nad 1000	1,8

3.4 Vplivi na obremenitve

Vplive na obremenitve povzročajo tudi značilnosti ceste:

- število prometnih pasov,
- širina prometnih pasov in
- vzdolžni nagib nivelete vozišča.

Poleg teh pa vplivajo še dinamične obremenitve ter trajanje in letna stopnja rasti prometa.

3.4.1 Število prometnih pasov

Če je prometna obremenitev določena s tehtanjem, je vrednost faktorja prečnega prereza za obravnavani prometni pas $f_{pp} = 1,0$.

V primeru, ko prometna obremenitev ni določena s tehtanjem, vpliv razdelitve prometne obremenitve na prometne pasove na vozišču upoštevamo na podlagi faktorja f_{pp} izbranega iz preglednice 4. Preglednica 4 prikazuje faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove v odvisnosti od števila prometnih pasov.

Preglednica 4: Faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove (vir: TSC 06.511. 2001, str. 9).

Število prometnih pasov	Faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove					
1	1,00					
2	0,50			0,50		
3	0,50			0,05	0,45	
4	0,45	0,05		0,05	0,45	
5	0,45	0,05		0,02	0,08	0,40
6	0,40	0,08	0,02	0,02	0,08	0,40

3.4.2 Širina prometnih pasov

Vpliv širine prometnih pasov na prometno obremenitev upoštevamo s faktorji f_{sp} , le - ti so navedeni v preglednici 5.

Preglednica 5: Faktorji širine prometnih pasov na prometno obremenitev (vir: TSC 06.511. 2001, str. 9).

Širina prometnega pasu (m)	Faktor širine prometnega pasu
do 2,50	2,00
2,50 do 2,75	1,80
2,75 do 3,25	1,40
3,25 do 3,75	1,10
nad 3,75	1,00

3.4.3 Vzdolžni nagib nivelete vozišča

Vzdolžni nagib nivelete vozišča upoštevamo s pomočjo faktorja f_{nn} , ki je naveden v preglednici 6.

Faktor se spreminja glede na nagib nivelete.

Preglednica 6: Faktor vzdolžnega nagiba nivelete na prometno obremenitev (vir: TSC 06.511. 2001, str. 9).

Nagib nivelete (%)	Faktor vzdolžnega nagiba nivelete
do 2	1,00
nad 2 do 4	1,02
nad 4 do 5	1,05
nad 5 do 6	1,09
nad 6 do 7	1,14
nad 7 do 8	1,20
nad 8 do 9	1,27
nad 9 do 10	1,35
nad 10	1,45

3.4.4 Dinamične obremenitve

Dinamične obremenitve dobimo na podlagi nihanja motornih vozil na neravnem delu vozišča.

Upoštevamo jih s faktorjem f_{dv} , in sicer za:

- dobre pogoje vožnje s $f_{dv} = 1,03$,
- povprečne pogoje vožnje s $f_{dv} = 1,08$.

3.4.5 Trajanje in letna stopnja rasti prometa

V preglednici 7 je naveden f_{tp} - faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja.

Preglednica 7: Faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja
(vir: TSC 06.511. 2001, str. 10).

Načrtovana doba trajanja let	Letna stopnja rasti prometa - %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktorji povečanja prometne obremenitve f_{tp}									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

3.5 Merodajna prometna obremenitev

Na merodajno prometno obremenitev vplivajo:

- ekvivalentna dnevna obremenitev T_d in
- vplivi na obremenitve, naštetih pod točko 3.5.

Merodajno prometno obremenitev določimo z enačbo:

$$T_n = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{dv} \cdot f_{tp} \quad (2)$$

kjer pomeni:

T_n – merodajna prometna obremenitev v obdobju n let,

T_d – ekvivalentna dnevna prometna obremenitev (glej točko 3.2),

f_{pp} – faktor prečnega prereza vozišča,

f_{sp} – faktor širine prometnih pasov,

f_{nn} – faktor vzdolžnega nagiba nivelete,

f_{dv} – faktor dinamičnih obremenitev,

f_{tp} – faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja.

3.6 Razvrstitev prometnih obremenitev

Prometne obremenitve so razvrščene v 6 skupin na podlagi števila prehodov nazivne osne obremenitve na dan oz. v 20 - letni dobi trajanja. Skupine prometne obremenitve so točno določene v preglednici 8, kjer je za vsako skupino prometne obremenitve določeno število prehodov nazivne osne obremenitve NOO 82kN na dan ali v 20-ih letih.

Preglednica 8: Razvrstitev prometnih obremenitev (vir: TSC 06.511. 2001, str. 11).

Skupina prometne obremenitev	Število prehodov NOO 82kN	
	na dan	v 20. letih
- izredno težka	nad 3000	nad 2×10^7
- zelo težka	nad 800 do 3000	nad 6×10^6 do 2×10^7
- težka	nad 300 do 800	nad 2×10^6 do 6×10^6
- srednja	nad 80 do 300	nad 6×10^5 do 2×10^6
- lahko	nad 30 do 80	nad 2×10^5 do 6×10^5
- zelo lahka	do 30	do 2×10^5

3.7 Spremembe vozni površin

Voziščne konstrukcije se zaradi zunanjih vplivov in načina izgradnje stalno spreminjajo. S tem se spremenijo tudi lastnosti same vozne površine, kar je bistveno za varno, udobno in gospodarno vožnjo.

Z vidika ravnosti vozne površine so opazne naslednje spremembe:

- preoblikovanje vozne površine – kolesnice in narivi,
- posedanje vozne površine in
- obraba.

Spreminjanje torne sposobnosti vozne površine je posledica:

- zglajevanja,

- obrabe,
- zgoščevanja pod prometom,
- odvodnjavanja vozne površine in
- drugih zunanjih vplivov – spreminjanje temperature, onesnaženost ozračja idr.

Cestno telo zagotavlja potrebno nosilnost vozne površine, ki jo pogojuje prometna obremenitev, ki povzroča predvsem spremembo voziščne konstrukcije v obliki:

- utrujanja,
- posedanja in
- preoblikovanja.

3.8 Odvisnosti bituminiziranih zmesi od dnevne obremenitve

Preglednici 9 in 10 prikazujeta področja uporabe bituminiziranih zmesi bitumenskih betonov (BB – Asphalt concrete (AC)), ki so odvisna od povprečne letne dnevne prometne obremenitve in povprečne letne dnevne gostote prometa.

Preglednica 9: Odvisnost bituminiziranih zmesi BB za asfaltne obrabne in nosilnoobrabne plasti v odvisnosti od PLDP-ja (vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 28).

Prometna obremenitev	PLDO (NOO 100 kN)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi			
				AC 4 surf	AC 8 surf	AC 11 surf	AC 16 surf
izredno težka	nad 3000	A1	Z1	-	-	+	-
zelo težka težka	od 800 do 3000 od 300 do 800	A2	Z2	-	+	+	-
srednja	od 80 do 300	A3	Z2	-	+	+	-
lahka zelo lahka	od 30 do 80 do 30	A4	Z2*/Z3	+	+	+	+

Preglednica 10: Odvisnost bituminiziranih zmesi BB za asfaltne obrabne in nosilnoobrabne plasti v odvisnosti od povprečne letne gostote prometa (vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 28).

Prometna obremenitev	PLDO (vozil)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi			
				AC 4 surf	AC 8 surf	AC 11 surf	AC 16 surf
izredno težka	nad 20000	A1	Z1	-	-	+	-
zelo težka težka	od 10000 do 20000 od 5000 do 10000	A2	Z2	-	+	+	-
srednja	od 2000 do 5000	A3	Z2	-	+	+	-
lahka zelo lahka	od 1000 do 2000 do 1000	A4	Z2*/Z3	+	+	+	+
hodniki za pešce, kolesarske steze	-	A5	Z3	+	+	+	'

V preglednici sta pri razredu zmesi kamnitih zrn in pri lahki oziroma zelo lahki prometni obremenitvi z zvezdico označeni dve področji uporabe. Zvezdici ponazarjata, da ta pogoj velja za državne ceste.

V preglednicah 11 in 12 so navedene mejne projektne debeline plasti bitumenskih betonov, ki so obravnavane v preglednicah 9 in 10.

Preglednica 11: Mejne projektne debeline plasti bitumenskih betonov za novogradnje (Vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 29).

Projektna debelina plasti	Enota	Vrsta bituminizirane zmesi			
		AC 4 surf	AC 8 surf	AC 11 surf	AC 16 surf
najmanj	mm	15	25	35	50
največ	mm	30	45	50	80

Preglednica 12: Mejne projektne debeline plasti bitumenskih betonov za dela na obstoječih cestah (vir: TSC 06.300/06.410. marec 2009, str. 29).

Projektna debelina plasti	Enota	Vrsta bituminizirane zmesi			
		AC 4 surf	AC 8 surf	AC 11 surf	AC 16 surf
najmanj	mm	20	25	30	40
največ	mm	30	45	50	80

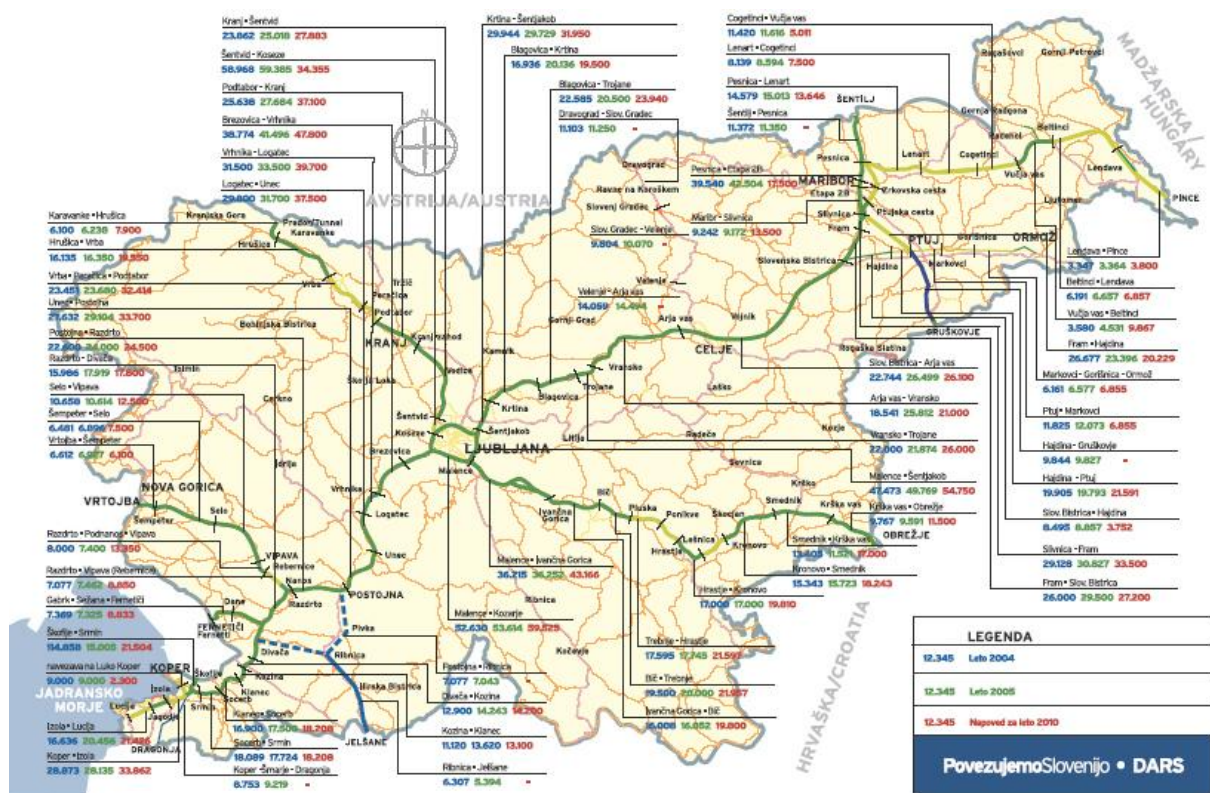
4 ŠTETJE PROMETA

Podatki o prometnih obremenitvah posameznih cestnih odsekov služijo za analizo prometnih gibanj in so nepogrešljivi v procesu načrtovanja ukrepov, ki jih je treba izvesti na cestnem omrežju.

Štetje prometa se na slovenskem cestnem omrežju opravlja že od leta 1954.

Na sliki 12 vidimo prometne obremenitve na posameznem odseku v letih 2004 in 2005 ter napoved za leto 2010, praviloma izražene s povprečnim letnim dnevним prometom (PLDP).

Na sliki 12 so z modro označeni podatki o prometnih obremenitvah za leto 2004, z zeleno za leto 2005 in z rdečo za leto 2010.



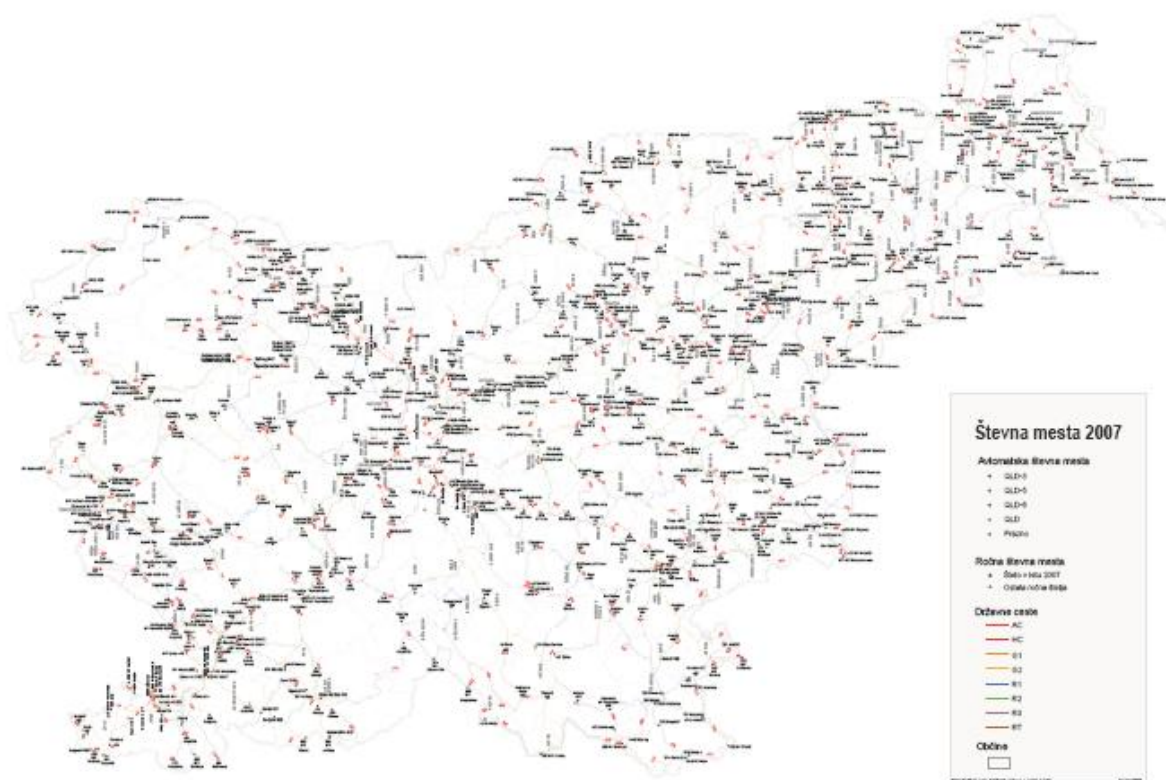
Slika 12: Prometne obremenitve za leto 2004 in 2005 ter napoved za leto 2010 (vir: Promet 2007).

Namen štetja prometa je pridobivanje informacij o prometnih tokovih. Za potrebe prometnih ureditev izvajamo terenska štetja prometa v določenih časovnih intervalih in obdobjih. Terenska štetja prometa so lahko ročna ali s pomočjo avtomatskih števecv.

Pri izboru časovnega obdobja je potrebno upoštevati sezonska nihanja prometa in vremenske razmere. Štetje prometa naj bi se praviloma izvajalo v času, ko je dnevni promet na območju štetja prometa približno enak PLDP. To pa lahko ocenimo na podlagi avtomatskih števecv, če so v bližini ali s strokovno oceno.

Štetje prometa mora biti izvedeno čimbolj natančno. Če želimo podatke, izmerjene v tednu, mesecu ali letu analizirati, je potrebno štetje opravljati vedno ob istem času in za enako časovno obdobje. Le tako so podatki primerljivi.

Na sliki 13 so podatki o števnih mestih za leto 2007 na območju celotne države.



Slika 13: Karta števnih mest v letu 2007 (vir: Promet 2007).

Po lokaciji ločimo štetja:

- v križiščnih in
- na prerezih.

Po časovnih intervalih ločimo:

- celodnevna štetja, ki trajajo od 00:00 do 24:00,
- dnevna štetja, ki trajajo od 5:00 do 22:00,
- štetja konic, ki trajajo od 5:30 do 9:30 ter od 13:30 do 17:30 in
- posebna štetja, ki trajajo v specifičnih časovnih intervalih.

Pri štetju upoštevamo naslednjo strukturo prometa:

- pešce,
- kolesarje,
- motoriste,
- osebna vozila,
- avtobuse,
- lahke tovornjake,
- srednje tovornjake,
- težke tovornjake,
- tovornjake s priklopniki in
- traktorje.

4.1 Ročno štetje prometa

Pri ročnem štetju prometa potrebujemo obrazec za štetje prometa. Pred štetjem prometa si pripravimo merilno mesto in vse potrebščine. Vsako mimoidoče vozilo in pešca je potrebno (s črtico) zabeležiti v ustrezno rubriko. Ob zaključku štetja črtice preštejemo in število zapišemo. Temu sledi analiza podatkov.

Podatki, pridobljeni s štetjem prometa, so podlaga za izračun PLDP, tj. števila vozil, ki v 24-ih urah pripeljejo mimo števnege mesta na povprečni dan v letu.

Na sliki 14 vidimo primer ročnega štetja prometa, ki se navadno izvaja na robovih cest, pri čemer naj števci ne bi ogrožali in ovirali prometa.



Slika 14: Ročno štetja prometa

4.2 Avtomatsko štetje prometa

Avtomatski števci prometa nam omogočajo poleg štetja prometa in klasifikacije vozil tudi meritve hitrosti vozil (10 hitrostnih razredov). Naprava zapisuje čas (ura in datum), hitrost in dolžino vozil (klasifikacija v 7 skupin, pri nekaterih števcih tudi samo do 6 skupin) ter podatke o varnostni razdalji glede na predhodno vozilo.

Naprava na slikah 15 in 16 je sestavljena iz Dopplerjevega radarskega sklopa (Dopplerjev pojav je fizikalni pojav, kjer se spreminja frekvenca signala, ki se pojavi po odboju od premikajočega se objekta), zbiralnika podatkov in baterijskega napajanja.

Napravo se lahko namesti na občestni drog v višini 2 do 3 m (sliki 15 in 16) oziroma stoji kot samostojna naprava ob cestišču (slika 26).

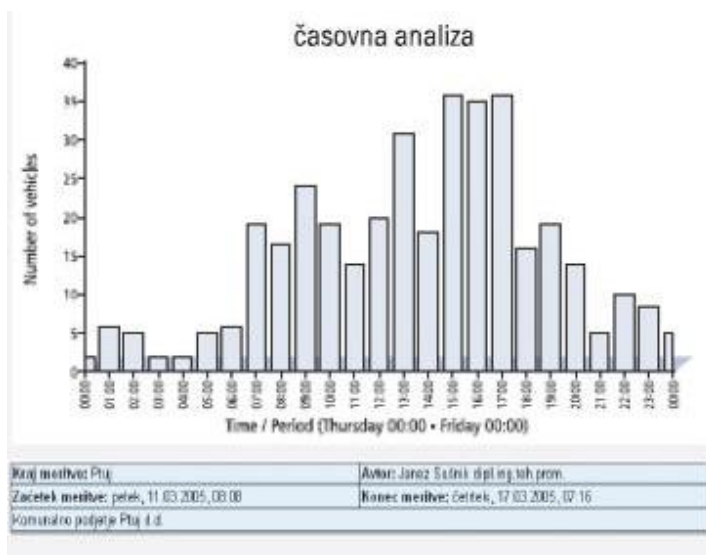


Slika 15: Avtomatski števec za štetje prometa (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).



Slika 16: Avtomatski števec za štetje prometa (vir: Števec prometa, Sipronika 2009).

S priloženo programsko opremo je možno pridobljene podatke prenesti iz naprave v osebni računalnik in jih s pomočjo programa Microsoft Excel obdelati ter podrobno predstaviti v tabelarični in grafični obliki (sliki 17 in 18).



Slika 17: Časovna analiza podatkov (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).

frekvenčna analiza - vsa vozila

Speeds						Total
< 10	71	10	0	1	0	82
< 20	152	123	7	7	4	293
< 30	222	775	44	59	22	1122
< 40	671	5107	201	359	107	6445
< 50	735	19624	555	597	108	21619
< 60	177	8139	213	95	9	8633
< 70	19	989	19	4	0	1031
< 80	7	110	4	0	0	121
< 90	1	16	0	0	0	17
< 100	0	3	0	0	0	3
> 100	0	0	0	0	0	0
Total	2055	34896	1043	1122	250	39366

Kraj meritev: Ptuj	Avtor: Janez Sušnik diplom. ing. teh. prom.
Začetek meritev: petek, 11.03.2005, 08:08	Konec meritev: četrtek, 17.03.2005, 07:16
Komunalno podjetje Ptuj d.d.	

Slika 18: Frekvenčni prikaz podatkov (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).

Za prenos podatkov se uporablja prenosni računalnik, ki je priključen neposredno na vgrajen serijski vmesnik. Pri modelih z vgrajenim modemom (ena od opcij) se lahko podatke prenaša tudi na daljavo preko GSM/GPRS omrežja.

Avtomatsko štetje prometa je primerno zlasti za območja, kjer je hitrost omejena, za meritve prometa na avtocestnih vhodnih in izhodnih postajah, za oceno prometa pred zaprtjem cestnih pasov zaradi predvidenih del na cestišču ter za meritve prometnih konic v mestu.

Avtomatski števeci so opremljeni s samostojnim napajanjem, kar pomeni, da je napravo možno namestiti kamorkoli. Števec je odporen proti vremenskim vplivom, saj je vgrajen v robustno ohišje (slika 19).











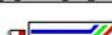


Slika 19: Ohišje avtomatskega števca za štetje prometa (vir: Naprave za štetje prometa, Intermatic 2008).

Števena naprava QLD-6 se je izkazala po izredni točnosti v štetju prometa, saj se v Sloveniji uporablja tako za štetje na odprtih cestah kot za kontrolo prometa na cestninskih postajah. Zanesljivost štetja naj bi bila več kot 99 %, točnost klasifikacije pa naj bi bila približno 95 %.

Na sliki 20 je prikazana klasifikacija števca prometa QLD-6 v 10 + 1 razred:

1. A0 – motorna vozila,
2. A1 – osebna vozila in osebna vozila s priklopnikom,
3. A2 – dostavna vozila in dostavna vozila s priklopnikom,
4. B1 – lahki tovornjak in lahki tovornjak s prikolico,
5. B2 – srednje težki tovornjaki,
6. B3 – težki tovornjaki,
7. B4 – tovornjaki s priklopniki oziroma prikoličarji,

8. B5 – vlačilci,
9. C1 – avtobusi,
10. C2 – mestni avtobusi oziroma nizkopodni zgibni mestni avtobus in
11. X – nespoznana vozila.

Razred	Vrsta vozila	
A0	- Motor bikes	
A1	- Passenger cars - Passenger cars + trailer	
A2	- Vans - Vans + trailer	
B1	- Lightweight trucks - Lightweight trucks + trailer	
B2	- Trucks	
B3	- Heavy (large) trucks	
B4	- Trucks + trailer	
B5	- Tows	
C1	- Bus	
C2	- City bus with trailer	
X	- Unrecognized vehicles	

Slika 20: Kvalifikacijska shema števca prometa QLD-6 (vir: UM FG 2008).

Klasifikacija poteka na osnovi dolžine vozila oziroma na osnovi induktivnega odtisa vozila.

Klasifikacija na osnovi dolžine vozila se določa tako, da se dolžina vozila izračuna na osnovi časovne razlike prevozov dveh zank (slika 21). Klasifikacija na osnovi induktivnega odtisa vozila pa temelji na prepoznavanju karakterističnega induktivnega odtisa vozila (slika 22).

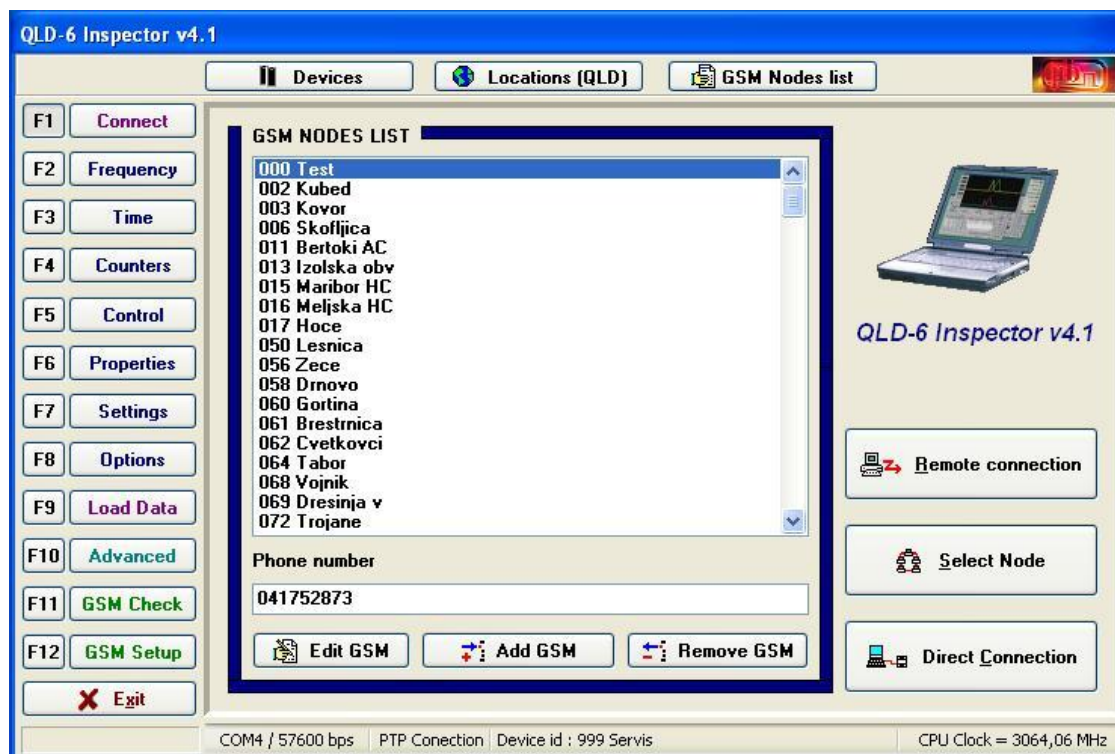


Slika 21: Klasifikacija na osnovi dolžine vozila (vir: UM FG 2008).



Slika 22: Klasifikacija na osnovi induktivnega vozila (vir: UM FG 2008).

Na slikah 23 in 24 je prikazan servisni program za nastavitve in prenos podatkov QLD-6.



Slika 23: Servisni program za nastavitve in prenos podatkov QLD-6 (vir: UM FG 2008).

Na sliki 26 je prikazan primer števnega mesta QLD-6.



Slika 26: Primer števnega mesta QLD-6 (vir: UM FG 2008).

4.3 Analiza podatkov

Zbrani podatki se vnesejo v podatkovno bazo in se analizirajo z računalniškim programom.

Rezultati analiz se predstavijo v obliki standardnih zapisov, in sicer:

- podatkov o križišču,
- 15 - minutne obremenitve,
- urne obremenitve,
- analize zavijalcev,
- analize zavijalcev po strukturi prometa,
- histograma nihanja prometa po smereh,
- histograma nihanja prometa po priključkih,
- histograma nihanja prometa v križišču,
- diagrama prometnih obremenitev,
- maksimalne urne obremenitve v križišču,
- maksimalne urne obremenitve po elementih,
- maksimalne urne obremenitve skupaj in
- faktorja urne konice (PHF).

5 TEHTANJE VOZIL

Tehtanje vozil izvajamo s pomočjo sistemov za tehtanje vozil. Vozila lahko tehtamo na dva načina, in sicer:

- s statičnim tehtanjem, z mobilnimi ali fiksnimi tehtnicami, v mirovanju in
- z dinamičnim tehtanjem, s sistemi za tehtanje vozil med vožnjo (ang. WIM, Weight in motion system).

Prvi način je pri pravilni namestitvi zelo natančen in je kot tak namenjen zlasti iskanju preobteženih vozil in posledično iskanju kršiteljev. Zaradi majhnega števila stehtanih vozil je na bolj obremenjenih cestah mogoče stehtati največ 1 % vseh vozil, zato je neuporaben za zbiranje podatkov o prometnih obremenitvah. Pri tem se znajo vozniki najtežjih vozil takim sistemom učinkovito izogniti.

Natančnost WIM meritev je po definiciji manjša od tehtanj, najbolj pa je odvisna od tehnologije, od pravilne namestitve in umerjanja sistema ter od lokacije, zlasti od neravnin na cestišču.

WIM sisteme delimo na sisteme, ki tehtajo vozila pri počasni vožnji do 20 km/h (nizkohitrostni WIM sistemi) in takšne, ki tehtajo vozila pri normalni potovalni hitrosti (visokohitrostni WIM sistemi).

Visokohitrostne WIM sisteme nadalje delimo po načinu meritve na cestne, kjer se merilni senzorji vgradijo neposredno v voziščno konstrukcijo, in na mostne (B-WIM, ang. bridge WIM), kjer prevzame vlogo tehtnice konstrukcija obstoječega mostu v cestni mreži, ki jo opremimo s senzorji za meritve deformacij in detektorji osi. Vsi WIM sistemi so lahko opremljeni s kamerami za spremljanje prometa, alternativnimi viri energije (sončne celice, gorivne celice) ipd. V Sloveniji uporabljamo izključno mostne WIM sisteme.

5.1 Mostni WIM sistemi

Začetki uporabe mostnih WIM sistemov segajo v Združene države Amerike v poznega sedemdeseta leta, v Sloveniji beležimo začetek uporabe WIM sistema v začetku devetdesetih let. Sprva smo uporabljali ameriški komercialni sistem, katerega uporabnost in zanesljivost pa sta bili nezadostni. Ker so bili potenciali tehnologije očitno neizkoriščeni, so na Zavodu za gradbeništvo Slovenije začeli sredi devetdesetih let v okviru evropskih raziskovalnih projektov COST323 (Cost 323) in WAVE (SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual) razvijati novo generacijo mostnega WIM sistema, ki so jo poimenovali SiWIM. Le ta se danes uspešno trži po vsem svetu.

SiWIM, ki danes nastaja in se razvija v sodelovanju med Zavodom za gradbeništvo Slovenije in podjetjem Cestel, vključuje elektronske in programske komponente, ki so se na podlagi analiz meritev iz prejšnjih let pokazale kot bistvene za zagotavljanje večje natančnosti in dostopnosti mostnih meritev tež tovornih vozil.

In sicer gre za:

- bolj učinkovit računalnik in elektronske komponente,
- zanesljivo shranjevanje podatkov,
- za uporabnika prijazen vmesnik,
- uporabo kalibracijskih faktorjev glede na kategorijo vozila,
- meritve pospeškov in pojemkov vozil,
- optimizacijo podatkov in
- opustitev detektorjev osi na vozišču in s tem opustitev potrebe po kakršnihkoli intervencijah na vozišču.

5.2 Mostni WIM sistemi v Sloveniji

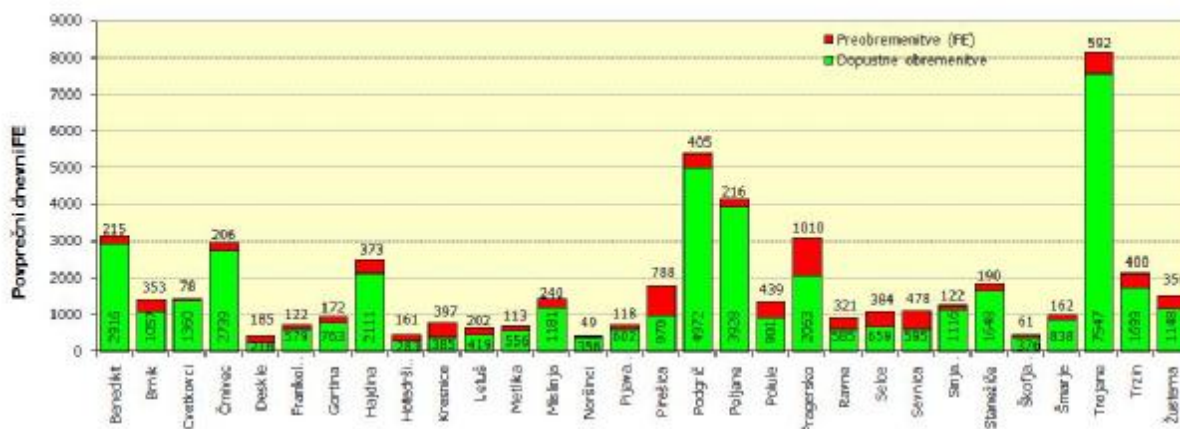
Prometne obremenitve na državnih cestah v Republiki Sloveniji se merijo:

- na podlagi rezultatov štetja prometa, opisanega v poglavju 3.2 in
- z mostnimi WIM sistemi.

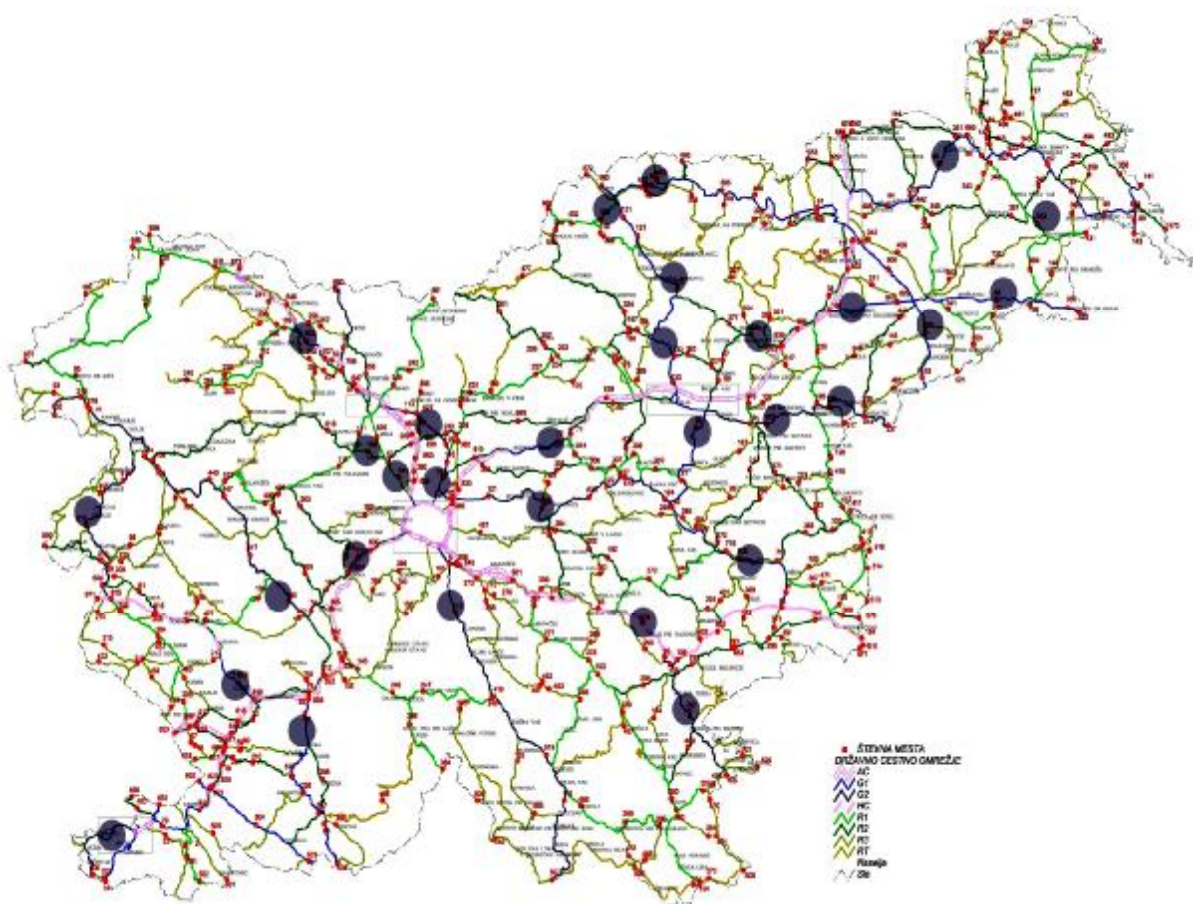
V letu 2007 se je po podatkih Direkcije Republike Slovenije za promet izvajalo tehtanje vozil s SiWIM sistemom na 30 lokacijah (slika 27).

Meritve navadno trajajo 7 dni, pri tem so upoštevani vplivi sezonskega prometa, vplivi praznikov, zmanjšanje tovornega prometa tovornih vozil v avgustu in bližina gradbišč. Rezultati za leto 2007 so prikazani na grafikonu 1. Z zeleno označen del stolpca pomeni dovoljeno maso tovornih vozil, rdeči del pa pomeni preobremenjeni delež tovornih vozil.

WIM sistemi tehtanja vozil so v primerjavi s statičnimi sistemi tehtanja vozil sicer manj natančni, vendar so rezultati zelo uporabni pri analizah prometnih obremenitev. Zajemajo namreč celoten vzorec vozil, tudi najtežjih, ki se drugim načinom meritev uspešno izogibajo.



Grafikon 1: Podatki o deležu tovornih vozil z dovoljeno maso in delež preobremenjenih tovornih vozil v letu 2007 (vir: Štetje prometa 2007).



Slika 27: Lokacije meritev v letu 2007 (vir: Štetje prometa 2007).

Vzorec rezultatov tehtanja motornih vozil mora biti reprezentativen, sicer ga korigiramo z ustreznim faktorjem, kot sta npr. dnevni vpliv ali sezonski vpliv. Na osnovi dobljenih rezultatov tehtanja razvrstimo motorna vozila v ustrezne razrede. Razredi naj bi bili v odvisnosti od zahtevane točnosti rezultatov v razponu 5, 10 ali 20 kN. Rezultate tipično vrednotimo v obliki histogramov za enojne, dvojne ali trojne osi, kar je primerno za nadaljnjo obdelavo, predvsem za določitev prometnih obremenitev (faktorjev ekvivalentnosti) na obstoječih cestah, lahko pa tudi za napovedovanje prometnih obremenitev na novih cestah.

5.2.1 Prednosti in pomanjkljivosti WIM sistemov

Bistvena prednost WIM sistemov v primerjavi s statičnimi sistemi za tehtanje vozil je, da stehtajo veliko večino vseh vozil in nam zato dajo reprezentativne vzorce prometnih obremenitev, ki jih s statičnimi tehtanji nikakor ni mogoče dobiti. Poleg tega so meritve zaradi avtomatiziranosti postopka bistveno cenejše kot statična tehtanja, za katere so tipično potrebni štirje ljudje.

Vsi WIM sistemi pa imajo zaradi narave meritve (dinamično tehtanje) pomanjkljivosti, zaradi katerih je točnost rezultatov nižja kot v primeru statičnega tehtanja. Bistveni razlogi za to so:

- nihanje vozil med vožnjo, zaradi neravnin na cesti in zaradi same konstrukcije vozila, ki se od vozila do vozila razlikuje,
- prerazporeditev osnih obremenitev med vožnjo, zaradi momenta pogonskih koles in zaradi zračnega upora,
- prerazporeditev osnih obremenitev zaradi dodatnih obremenitev med pospeševanjem in zaviranjem vozil,
- tehtanje se izvaja neprekinjeno in brez neposrednega nadzora, kar pomeni, da v spornih primerih tehtanja ni mogoče ponoviti in
- v primeru cestnih WIM sistemov je potrebno senzorje vgraditi v cestišče, kar ovira promet in posredno oslabi voziščno konstrukcijo.

Mostni WIM sistemi, ki smo jih razvili in jih uporabljamo v Sloveniji, imajo v primerjavi s cestnimi WIM sistemi nekatere prednosti:

- pri postavitvi mostnih WIM sistemov se ne posega v samo voziščno konstrukcijo,
- postavitev in popravila ne zmanjšujejo varnosti prometa,
- sistem je enostaven za uporabo,
- sistem je v celoti pomičen in zato cenovno bolj učinkovit,
- zagotavlja podatke, ki so zelo koristni pri optimizirani analizi varnosti mostov.

5.2.2 Namestitev in uporaba sistema SiWIM

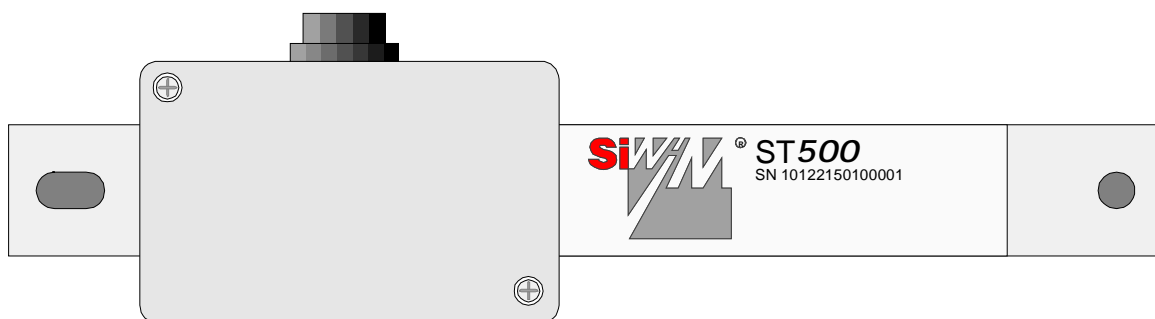
Delovanje mostnega sistema SiWIM naj bi bilo na izbranih lokacijah čim manj opazno. Pred samo postavitvijo sistema se pregledajo in izmerijo vsi mostovi na izbrani lokaciji. Na podlagi podatkov se izbere ustrezen most za namestitev opreme.

Prekladalna konstrukcija obstoječega mostu ali propusta prevzame vlogo tehtnice. Na podlagi dobljenih podatkov – podatki o deformacijah konstrukcije in podatki o medsebojnih razdaljah vozil – se izračunajo osni pritiski, skupna teža, medosne razdalje, kategorija in obremenitev vozil.

Na spodnji strani mostu se izvrta luknje za senzorje. Senzorji z bazo 20 cm za merjenje specifičnih deformacij (slika 29) se nato pritrdijo na most in se s priključnimi kablji povežejo z omarico, v kateri sta nameščena sistem za zajemanje in obdelavo signalov ter računanje teže ter napajanje (slika 28). Po potrebi se lahko priključijo tudi dodatni senzorji in naprave, na primer kamera za snemanje prometa.



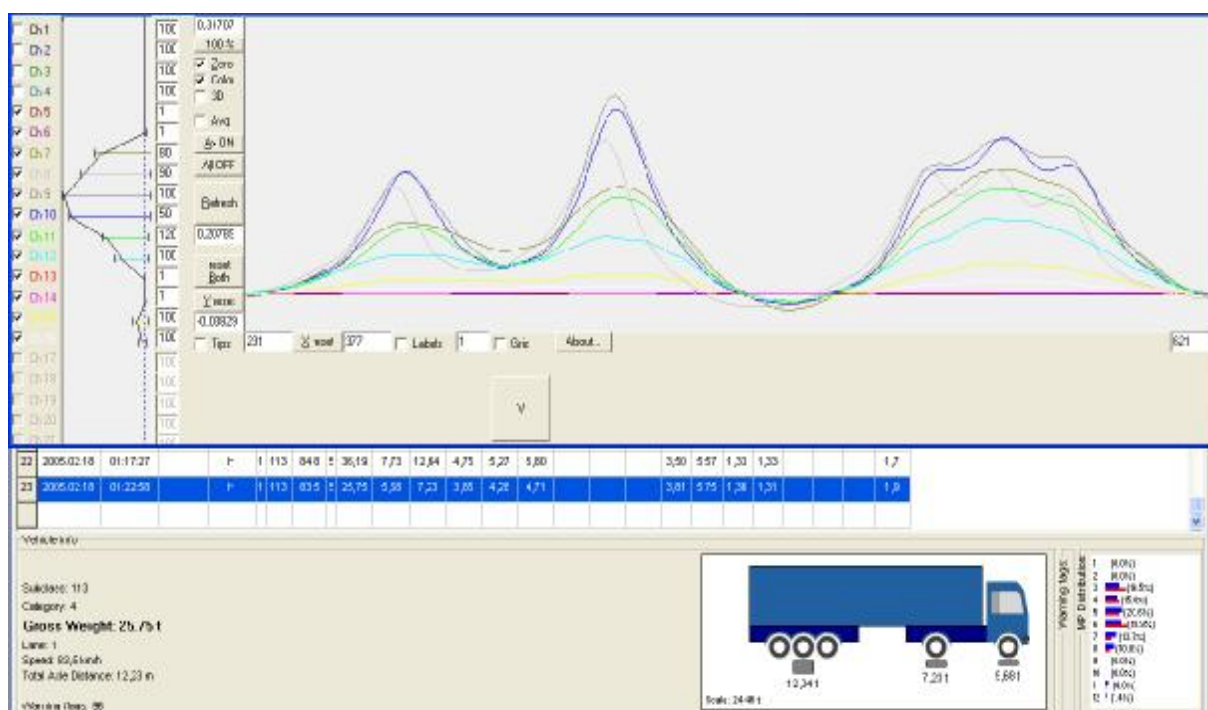
Slika 28: Način namestitve sistema SiWIM-a na most (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual. 2005, str.70).



Slika 29: Oblika senzorja sistema SiWIM-a (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual. 2005, str. 49).

Po namestitvi je potrebno sistem umeriti z vozili znanih osnih obremenitev.

Na sliki 30 vidimo primer prikaza izmerjenih deformacij zaradi prevoza tovornega vozila, v tem primeru 5-osnega pol-priklopnika, ki je prevozilo most. Prva parabola prikazuje prvo os, druga parabola prikazuje drugo os, tretja parabola pa zadnjo trojno os vozila, za vsakega izmed osmih merjenih signalov (merskih mest).



Slika 30: Obdelovanje podatkov SiWIM-a (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual. 2005, str. 97)

Za izračun točnosti rezultatov mostnega SiWIM sistema se uporablja Evropska specifikacija za WIM meritve, ki je nastala v okviru evropskega raziskovalnega projekta COST 323 »Weigh-in-Motion of Road Vehicles«, ki na podlagi uporabljenih prometnih (števila vozil) in vremenskih pogojev (trajanje meritev) izračuna točnostni razred za merilni sistem. Za račun točnosti je potrebno bodisi izvesti najmanj 10 voženj v vsakem prometnem pasu z vozilom ali vozili, ki se jih predhodno statično stehta, bodisi uporabiti vozila iz prostega prometnega toka, ki se jih izloči iz prometa in stehta na statičnih tehtnicah.

5.2.3 Obdelovanje podatkov in analiza WIM

Podatki, pridobljeni iz meritev, se obdelajo s posebnim programskim orodjem SiWIM-D. Za vsako preobremenjeno vozilo se rezultati dodatno preverijo, s čimer povečamo njihovo zanesljivost.

Kot primer je na sliki 31 prikazano glavno okno programa, v katerem so v zgornjem delu prikazani številčni in grafični podatki preobremenjenega vozila, v spodnjem delu pa primerjava izmerjenih (tanjša črta) in izračunanih deformacij (debelejša črta). V primeru tako dobrega ujemanja računa in meritve je tudi izračunana točnost osnih pritiskov zelo visoka.

SiWIM-D je orodje, ki nam omogoča obdelavo in analizo rezultatov tehtanja. Z njegovo pomočjo analiziramo podatke o:

- kategorijah vozil,
- medosnih razdaljah,
- skupnih teži in težah posameznih osi,
- osnih pritiskih in številu osi,
- hitrosti vozil,
- faktorjih ekvivalentnosti, itn.



Slika 31: SiWIM-D (vir: SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual. 2005, str. 116).

S temi podatki delamo nato nadaljnje analize, kot so histogrami obremenitev. Histogrami obremenitev so osnova za pripravo poročila.

6 PRIMERJAVA ŠTEVCEV PROMETA IN SiWIM SISTEMA

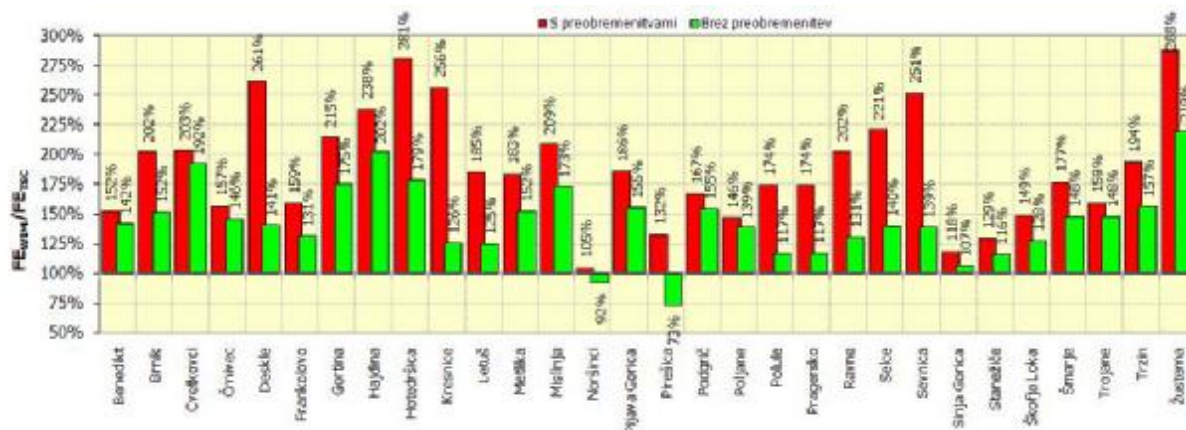
V tem poglavju so podrobneje predstavljene razlike med rezultati prometnih obremenitev, dobljenimi s pomočjo števecv prometa in s SiWIM sistemom, ki se med seboj bistveno razlikujejo.

Grafikon 2 prikazuje razmerje med povprečnimi dnevnimi vrednostmi FE, ki so bile dobljene neposredno iz SiWIM meritev, in vrednostmi izračunanimi iz podatkov štetja prometa z upoštevanjem povprečnih faktorjev obremenitve za določeno kategorijo vozil po TSC 06.511. Z rdečo so označena dejanska razmerja, z zeleno pa razmerja v primeru, da ne bi bilo preobremenjenih vozil oziroma, da bi bila vsa preobtežena vozila obtežena le do maksimalnih dovoljenih obremenitev.

Do velikih razlik pride predvsem iz naslednjih razlogov:

1. Števci prometa ne vedo, ali so tovorna vozila polna ali prazna. Tipično so tovorna vozila v smeri gradbišč ali iz smeri kamnolomov ali industrijskih obratov polna, v nasprotni smeri pa prazna, kar samo s štetjem ne moremo ugotoviti.
2. Prevozniki poskušajo optimizirati prevoze, zato je povprečna polnost tovornih vozil večja, kot je bila predvidena v specifikacijah, ki so nastale v času bistveno drugačnih prometnih in ekonomskih razmer.
3. V izračunu faktorjev ekvivalentnosti v tehničnih specifikacijah TSC 06.511 so upoštevana nekatera preobremenjena vozila, sistem za tehtanje SiWIM pa določi faktorje na podlagi dejanskega stanja, ki na večini odsekov zlasti zaradi 4. potence pri preračunavanju osnih pritiskov v osne obremenitve bolj ali manj bistveno vplivajo na rezultate.
4. Števci razvrščajo vozila v kategorije vozil iz signala, ki ga na induktivnih zankah zaznamuje podvozje vozila. SiWIM sistem po drugi strani kategorizira vozila glede na število osi in na njihovo skupno maso. Zato prihaja do bistvenih razlik zlasti pri razvrstitvi tovornih vozil na srednja in na težka. V nasprotju s števci, ki v takih primerih kategorijo ocenijo, SiWIM vozila glede na znane podatke o osnih pritiskih in medosnih razdaljah med srednja vozila dosledno uvršča vsa 2-osna vozila skupne

mase nad 3,5 t, med težka vozila pa vsa 3 in 4 - osna toga vozila skupne mase nad 3,5 t.



Grafikon 2: Razmerja v povprečnih dnevni vrednostih FE izračunanih iz TSC in iz SiWIM meritev v letu 2007 (vir: Štetje prometa 2007).

Preglednica 13: Faktorji ekvivalentnosti po SiWIM meritvah in izraženo razmerje med FE SiWIM in FE TSC 06.511 za leto 2007 (vir: Štetje prometa 2007).

Kriterij/ Lokacija	Avtobusi		Srednji 3-7t		Težki nad 7t		Priklopniki	
	FE _{SiWIM}	FE _{SiWIM} / FE _{TSC}	FE _{SiWIM}	FE _{SiWIM} / FE _{TSC}	FE _{SiWIM}	FE _{SiWIM} / FE _{TSC}	FE _{SiWIM}	FE _{SiWIM} / FE _{TSC}
Minimalno	1,03	0,86	0,31	1,53	0,97	0,89	1,59	0,80
Maksimalno	3,55	2,96	0,74	3,68	3,92	3,56	3,63	1,82
Povprečno	2,10	1,75	0,45	2,23	2,77	2,52	2,65	1,32
Benedikt	1,71	1,42	0,41	2,06	2,74	2,49	2,87	1,44
Brnik	3,55	2,96	0,60	2,98	3,01	2,74	2,61	1,30
Cvetkovci	1,42	1,18	0,35	1,74	2,58	2,35	2,81	1,41
Črnivec	2,98	2,48	0,33	1,66	2,90	2,64	2,73	1,37
Deskle	1,63	1,36	0,42	2,09	2,70	2,45	2,22	1,11
Frankolovo	1,56	1,30	0,31	1,53	2,32	2,11	2,33	1,17
Gortina	2,10	1,75	0,43	2,14	3,02	2,74	3,05	1,53
Hajdina	3,50	2,91	0,34	1,69	2,05	1,86	3,05	1,52
Hotodršica	1,77	1,48	0,37	1,85	3,92	3,56	2,43	1,21
Kresnice	2,48	2,07	0,74	3,68	3,32	3,02	3,63	1,82

Letuš	1,49	1,24	0,49	2,43	2,65	2,41	2,69	1,35
Metlika	1,79	1,49	0,35	1,73	2,90	2,64	2,44	1,22
Mislinja	2,43	2,03	0,57	2,87	3,21	2,91	2,71	1,36
Noršinci	1,27	1,06	0,35	1,77	0,97	0,89	1,85	0,93
Pijava Gorica	1,93	1,61	0,54	2,71	2,61	2,37	2,63	1,31
Pirešica	2,24	1,87	0,52	2,59	3,05	2,77	2,26	1,13
Podgrič	2,03	1,69	0,58	2,91	2,95	2,68	3,04	1,52
Poljane	2,98	2,48	0,41	2,06	2,64	2,40	2,57	1,29
Polule	1,26	1,05	0,42	2,09	2,29	2,08	2,42	1,21
Pragersko	1,83	1,52	0,54	2,70	3,83	3,48	3,17	1,59
Ravne	1,52	1,26	0,39	1,97	2,81	2,55	3,20	1,60
Selce	3,01	2,51	0,40	1,98	2,62	2,38	2,90	1,45
Sevnica	2,46	2,05	0,59	2,97	3,24	2,95	3,40	1,70
Sinja Gorica	1,03	0,86	0,33	1,65	2,13	1,94	1,59	0,80
Stanežiče	1,55	1,29	0,37	1,85	2,54	2,31	2,11	1,05
Škofja Loka	1,36	1,13	0,31	1,53	2,75	2,50	1,82	0,91
Šmarje	2,36	1,97	0,51	2,55	2,14	1,94	2,33	1,16
Trojane	2,08	1,74	0,37	1,87	2,90	2,64	2,95	1,47
Trzin	1,45	1,21	0,64	3,18	2,81	2,55	2,56	1,28
Žusterna	4,17	3,48	0,42	2,08	3,56	3,24	3,07	1,54

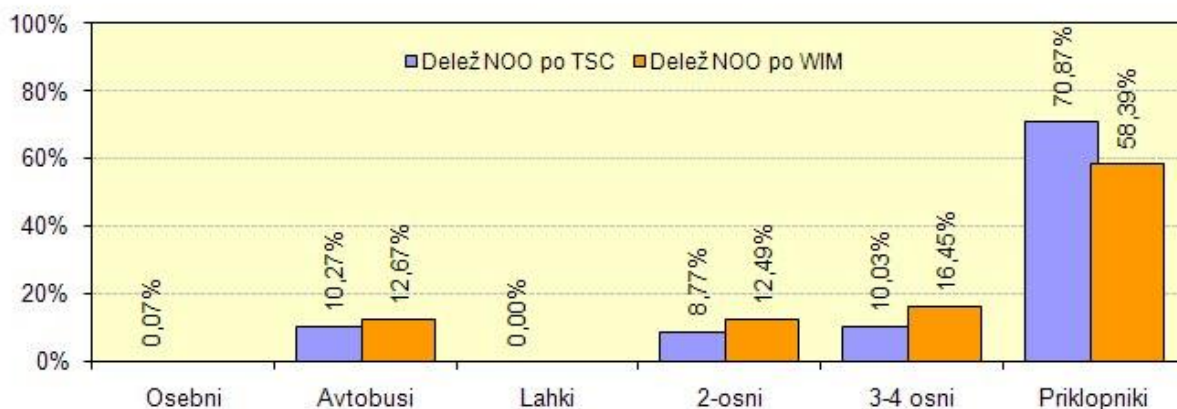
Zgornje ugotovitve so prikazane v preglednici 13. Do največjega razhajanja med FE prihaja pri srednje težkih vozilih 3-7 t. Do nekoliko manjših razlik prihaja pri avtobusih, težkih tovornih vozilih nad 7 t in pri priklopnikih. Za osebna vozila in lahka tovorna vozila 1-3 t nimamo podatkov, saj je njun vpliv zanemarljivo majhen pri končnem izračunu merodajne prometne obremenitve.

V preglednici 14 so tako detajlno primerjane vrednosti za odsek X-Y, ki vključuje tudi SiWIM meritve v Benediktu. Medtem ko so v primeru računa po TSC upoštevana števila vozil posameznih kategorij, pomnoženih s faktorji iz preglednice 5, so faktorji ekvivalentnosti (FE) v primeru WIM meritev izračunani neposredno iz enačbe 1.

Preglednica 14: Število prehodov NOO po TSC in WIM za leto 2007 (vir: Štetje prometa 2007).

	Osební	Avtobusi	Lahki	2-osni	3-4 osni	Priklopniki	Skupaj
Število vozil	526736	4991	15	25567	5316	20661	56550
Skupni NOO po TSC	31,6	5989,4	0,1	5113,4	5847,6	41322,0	58304
Povprečni NOO po TSC	0,5	83,2	0,0	71,0	81,2	573,9	810
Delež NOO po kategorijah	0,07%	10,27%	0,00%	8,77%	10,03%	70,87%	100,0%
Skupni NOO po SiWIM		11969,7		11800,2	15538,8	55170,2	94479
Povprečni NOO po SiWIM		199,5		196,7	259,0	919,5	1575
Delež NOO po kategorijah	0,00%	12,67%	0,00%	12,49%	16,45%	58,39%	100,0%

Vrednosti, dobljene iz WIM meritev so iz razlogov, navedenih na začetku poglavja, od 1- krat do 2 - krat večje od vrednosti, dobljenih po prvi metodi.

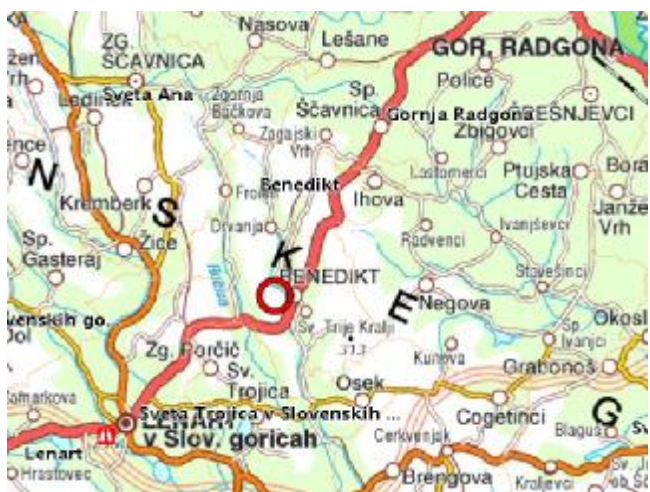


Grafikon 3: Grafični prikaz NOO po TSC in po WIM za leto 2007 (vir: Štetje prometa 2007).

Rezultati iz grafikona 3 nazorno kažejo, da je realni delež priklopnikov in polpriklopnikov približno za 20 % nižji, kot če ga izračunamo na podlagi števecv prometa, deleži obremenitev zaradi avtobusov, srednjih (2 - osnih) in težkih (3 in 4 - osnih) vozil pa so tudi do 50 % višji od izračunanih na podlagi štetja prometa.

7 PROMETNA OBREMENITEV ZA BENEDIKT (2007)

Podatke za izračun prometnih obremenitev na odseku 3 - 0315 (Benedikt) smo dobili na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG Ljubljana). Podatki vsebujejo merjenja števil vozil v smeri proti Gornji Radgoni (pas 1) in Lenartu (pas 2) (sliki 32 in 33). Meritve so trajale 7 dni, in sicer od petka, 17.08.2007, 00:00, do četrтка, 23.08.2007, 23:59. Na tem odseku se je izvajalo merjenje prometnih obremenitev s pomočjo sistema za tehtanje vozil SiWIM in štetje vozil s pomočjo kontrolnega števca.



Slika 32: Lokacija Benedikta.



Slika 33: Cestni odsek Lenart – Gornja Radgona.

7.1 Izračun prometne obremenitve s pomočjo števec (PLDP)

S pomočjo kontrolnih števec se je izvajalo štetje vozil na odseku 3 – 0315 (Benedikt). V preglednici 15 so podatki, ki smo jih dobili s pomočjo kontrolnih števec o številu vozil skupaj za oba pasova (3. vrstica). Pri analizi podatkov nismo upoštevali osebnih vozil in lahkih tovornih vozil 1-3 t, saj mostni WIM sistem sicer osebna vozila in lahka tovorna vozila lažja od 3,5 t tehta, vendar so le-ta v večini analiz zaradi poenostavitve postopka izpuščena. Njun vpliv je namreč zanemarljivo majhen pri končnem izračunu merodajne prometne obremenitve.

Iz vrednoteni faktorji ekvivaletnosti osnih obremenitev motornih vozil (2 vrstica, preglednica 15) določajo povprečno strukturo vozil, da je v prometu približno 50 % vozil polno obremenjenih, 25 % polobremenjenih in 25 % praznih.

S podatki v preglednici 15 lahko izračunamo prometne obremenitve za izbrani odsek (preglednica 16). Pri računanju uporabimo enačbo 2 (poglavje 3.6).

Preglednica 15: Število vozil po kontrolnem števcu za odsek 3 - 0315 (Benedikt) (vir: ZAG Ljubljana).

	Osebni	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj dan	Letno
<i>Povpr. FE vozil po TSC 06.511</i>	0,00006	1,20	0,01	0,20	1,10	2,00		
Število vozil, skupaj oba pasova	5137,0	84,0	529,0	154,0	283,0	2374,0	3424,0	1.249.760 vozil
Število prehodov NOO po TSC (štetje)	0,3	100,8	5,3	30,8	311,3	4748,0	5196,5	1.896.722

Preglednica 16: Merodajna prometna obremenitev za 10 in 20 letno obdobje (kontrolni števec) za odsek 3 – 0315 (Benedikt).

Širina prometnega pasu (m)	T _d	f _{pp}	f _{sp}	f _{nn}	f _{dv}	f _{tp(10 let)}	T _{10 števec}	f _{tp(20 let)}	T _{20 števec}
3,75	196,5	0,50	1,00	1,00	1,03	12	11.721.745 prehodov NOO 82 kN	28	27.350.738 prehodov NOO 82 kN

Pri izračunu merodajne prometne obremenitve T_{10} števec in T_{20} števec smo upoštevali faktorje TSC 06.511: 2001.

Podatki, ki smo jih uporabili pri računu so (preglednica 16):

- časovno obdobje: 10 let oziroma 20 let,
- letna stopnja rasti: 4 %,
- faktor prečnega prereza vozišča (f_{pp}): 0,50,
- faktor širine prometnega pasu (f_{sp}): 1,00,
- faktor vzdolžnega nagiba nivelete (f_{nn}): 1,00,
- faktor dodatnih dinamičnih vplivov (f_{dv}): 1,03 in
- faktor povečanja prometnih obremenitev (f_{tp}): 12 (10 letno obdobje) in 28 (20 letno obdobje).

Skupna ekvivalentna prometna obremenitev v 10 - letnem obdobju:

$$T_{10 \text{ števec}} = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{dv} \cdot f_{tp(10 \text{ let})}$$

$$T_{10 \text{ števec}} = 365 \cdot 5196,5 \cdot 0,50 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 12 = 11.721.745 \text{ prehodov NOO } 82 \text{ kN} \approx 1,2 \cdot 10^7 \text{ NOO } 82 \text{ kN}$$

Skupna ekvivalentna prometna obremenitev v 20 - letnem obdobju:

$$T_{20 \text{ števec}} = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{dv} \cdot f_{tp(20 \text{ let})}$$

$$T_{20 \text{ števec}} = 365 \cdot 5196,5 \cdot 0,50 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 28 = 27.350.738 \text{ prehodov NOO } 82 \text{ kN} \approx 2,7 \cdot 10^7 \text{ NOO } 82 \text{ kN}$$

7.2 Izračun prometne obremenitve s pomočjo SiWIM-a oz. WIM-a

Pri izračunu prometnih obremenitev so upoštewane korekcije zaradi različnih tipov in vzmetenja koles (slika 34), kjer korigiramo vrednost FE zaradi enojne, dvojne ali trojne osi ter zaradi jeklenega in zračnega vzmetenja. Podatki so bili dobljeni na podlagi popisa in opazovanja približno 5000 tovornih vozil (SiWIM). Za trojne osi je tako upoštevan faktor $f_k = 0,95$, saj je velika večina teh osi zračno vzmetena. Po drugi strani je imelo približno 80 % vseh enojnih osi ($f_k = 0,99$) in približno 40 % dvojnih osi jeklene vzmeti ($f_k = 0,99$). Z istimi

meritvami so bili ocenjeni tudi deleži enojnih, dvojnih in širokih enojnih koles v odvisnosti od tipa osi. Ti deleži so upoštevani pri vseh računih FE s SiWIM sistemom.

Parametri (slika 34) pomenijo:

- Apply tyre effects (angl.) _ uporabi kolesni efekt,
- Single axle (angl.) _ enojna os,
- Double axle (angl.) _ dvojna os,
- Triple axle (angl.) _ trojna os,
- Dual regular tyres (angl.) _ dvojna guma,
- Single regular tyres (angl.) _ enojna guma,
- Single wide-base tyres (angl.) _ enojna široka guma,
- Basic axle loading factors (angl.) _ faktor razporeditve osi na vozilu in
- Axle suspension factor (angl.) _ faktor vzmetenja koles na osi vozila (jeklene vzmeti ali zračno vzmetenje) .

Apply tyre effects

Limit axle spacing for dual/single tyres:

Air suspension tractors:

Basic axle loading factors:	
Single axle	<input type="text" value="2,2120"/>
Double axle	<input type="text" value="0,1975"/>
Triple axle	<input type="text" value="0,0480"/>

Axle suspension factors	
Single axle	<input type="text" value="0,99"/>
Double axle	<input type="text" value="0,97"/>
Triple axle	<input type="text" value="0,95"/>

	% of tyres/axle configuration of trailers		
	Single	Double	Triple
Dual regular tyres:	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="50,0 %"/>	<input type="text" value="50,0 %"/>
Single regular tyres:	<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="20,0 %"/>	<input type="text" value="10,0 %"/>
Single wide-base tyres:	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="30,0 %"/>	<input type="text" value="40,0 %"/>

<input type="text" value="13,0 %"/>
<input type="text" value="2,0 %"/>
<input type="text" value="85,0 %"/>

Slika 34: Faktorji vzmetenja koles (vir: Žnidarič, A.).

Preglednica 17: Število vozil po SiWIM-u za odsek 3 – 0315 (Benedikt) (vir: ZAG Ljubljana).

	Avtobusi	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj dan	Letno
Pas 1 - proti Gornji Radgoni	45,1	220,0	45,9	1135,9	1446,9	528.119 vozil
Pas 2 - proti Lenartu	49,6	201,9	33,6	1017,9	1303,0	475.595 vozil
Število vozil skupaj	94,7	421,9	79,5	2153,8	2749,9	1.003.714 vozil
<i>FE za vozila po TSC 06.511</i>	<i>1,20</i>	<i>0,20</i>	<i>1,10</i>	<i>2,00</i>		
Število prehodov NOO po TSC (SiWIM)	113,64	84,38	87,45	4307,6	4593,07	1.676.471

Pri izračunu merodajne prometne obremenitve bomo upoštevali število prehodov NOO (slika 35, rumeno označena celica), ki smo ga dobili na podlagi izmerjenih podatkov.

Izmerjeno s SiWIM sistemom	Število osi			FE				
	Enojne	Dvojne	Trojne	Enojne	Dvojne	Trojne	Skupaj	Letno
Dopustne obremenitve								
Pas 1 - proti Gornji Radgoni	2801,0	405,8	695,9	3409,9	391,7	500,2	4301,8	1.570.157 FE
Pas 2 - proti Lenartu	2622,7	336,3	677,0	2396,8	367,2	443,2	3207,2	1.170.628 FE
Skupaj oba pasova	5423,7	742,1	1372,9	5806,7	758,9	943,4	7509,0	2.740.785 FE
Preobremenitve								
Pas 1 - proti Gornji Radgoni	203,4	13,1	53,3	143,5	30,4	18,8	192,7	70.335 FE
Pas 2 - proti Lenartu	25,9	27,7	27,3	24,6	39,8	9,4	73,8	26.937 FE
Skupaj oba pasova	229,3	40,8	80,6	168,1	70,2	28,2	266,5	97.272 FE
Skupne obremenitve								
Pas 1 - proti Gornji Radgoni	3004,4	418,9	749,2	3553,4	422,1	519,0	4494,5	1.640.492 FE
Pas 2 - proti Lenartu	2648,6	364,0	704,3	2421,4	407,0	452,6	3281,0	1.197.565 FE
Skupaj oba pasova	5653,0	782,9	1453,5	5974,8	829,1	971,6	7775,5	2.838.057 FE

Slika 35: Podatki izmerjeni s SiWIM za odsek 3 – 0315 (Benedikt) (vir: ZAG Ljubljana).

Preglednica 18: Merodajna prometna obremenitev (SiWIM) za odsek 3 – 0315 (Benedikt).

Širina prometnega pasu (m)	Td	f _{pp}	f _{sp}	f _{nm}	f _{dv}	f _{tp(10 let)}	T _{10 SiWIM}	f _{tp(20 let)}	T _{20 SiWIM}
3,75	7775,5	0,50	1,00	1,00	1,03	12	17.539.656 prehodov NOO 82 kN	28	40.925.842 prehodov NOO 82 kN

V preglednici 18 je izračunana merodajna prometna obremenitev $T_{10 \text{ SiWIM}}$ in $T_{20 \text{ SiWIM}}$. Pri izračunu merodajne prometne obremenitve smo upoštevali faktorje TSC 06.511: 2001.

Podatki, ki smo jih uporabili pri računu so (preglednica 18):

- časovno obdobje: 10 let oziroma 20 let,
- letna stopnja rasti: 4 %,
- faktor prečnega prereza vozišča (f_{pp}): 0,50,
- faktor širine prometnega pasu (f_{sp}): 1,00,
- faktor vzdolžnega nagiba nivelete (f_{nn}): 1,00,
- faktor dodatnih dinamičnih vplivov (f_{dv}): 1,03 in
- faktor povečanja prometnih obremenitev (f_{tp}): 12 (10 - letno obdobje) in 28 (20 - letno obdobje).

Skupna ekvivalentna prometna obremenitev v 10 - letnem obdobju:

$$T_{10 \text{ SiWIM}} = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{dv} \cdot f_{tp(10 \text{ let})}$$

$$T_{10 \text{ SiWIM}} = 365 \cdot 7775,5 \cdot 0,50 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 12 = 17.539.656 \text{ prehodov NOO } 82 \text{ kN} \approx 1,8 \cdot 10^7 \text{ NOO } 82 \text{ kN}$$

Skupna ekvivalentna prometna obremenitev v 20 - letnem obdobju:

$$T_{20 \text{ SiWIM}} = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{dv} \cdot f_{tp(20 \text{ let})}$$

$$T_{20 \text{ SiWIM}} = 365 \cdot 4593,1 \cdot 0,50 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 28 = 40.925.842 \text{ prehodov NOO } 82 \text{ kN} \approx 4,1 \cdot 10^7 \text{ NOO } 82 \text{ kN}$$

S SiWIM meritvami dobimo tudi podatke o deležu preobremenjenih vozil.

V preglednici 19 je prikazano skupno število vozil na dan 2750,2 (stolpec 2, vrstica 4) in skupno število preobremenjenih vozil 462,7 (stolpec 5, vrstica 4), tj. 16,80 % preobremenjenih vozil.

Preglednica 19: Preobremenjene osi in preobremenjena vozila s SiWIM meritvami (vir: ZAG Ljubljana).

Preobremenitve vozil nad 3,5 tone skupne mase:	Vsa vozila na dan	Preobremenjen vsaj en osni pritisk		Preobremenjene samo skupne mase		Skupno število preobremenjenih vozil	Delež preobremenjenih
Pas 1 - proti Gornji Radgoni	1447,1	117,5	8,1%	210,9	14,6%	328,4	22,7%
Pas 2 - proti Lenartu	1303,1	20,9	1,6%	113,4	8,7%	134,3	10,3%
Skupaj	2750,2	138,4	5,0%	324,3	11,8%	462,7	16,80%

V Sloveniji se WIM meritve izvajajo na bolj obremenjenih cestah. Ocenjujemo, da je z meritvami pokrita polovica celotnih prometnih obremenitev tovornih vozil. Meritve WIM v letu 2007 zajemajo 30 merilnih mest, kar naj bi predstavljalo petino državnega cestnega omrežja.

Z obstoječimi WIM sistemi in z ustrezno prilagojeno zakonodajo bi bilo mogoče kršitelje sankcionirati na podlagi avtomatskega odvzema identitete (fotografiranje) preobteženega vozila. Da bi uvedli uspešen sistem, bi bilo potrebno slovensko cestno omrežje pokriti s 40 stalnimi WIM sistemi.

7.3 Primerjava podatkov med števci in SiWIM-om

Pri zbiranju podatkov za določitev prometnih obremenitev prihaja med števci in tehtanjem do razlik.

7.3.1 Primerjava števila vozil, FE in števila prehodov NOO

V preglednici 20 je prikazano razmerje v številu vozil med SiWIM-om in kontrolnim števcom.

V preglednici 21 so razmerja med faktorji ekvivalentnosti $FE_{SiWIM}/FE_{TSC\ 06.511}$. Razmerje obremenitev $FE_{SiWIM}/FE_{TSC\ 06.511}$ smo dobili tako, da smo delili povprečni faktor za vozila po SiWIM s povprečnim faktorjem za vozila po TSC 06.511: 2001.

Preglednica 20: Število vozil na odseku 3 – 0315 (Benedikt).

Število vozil	Osebni	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj dan
Število vozil oba pasova kontrolni števec	5137,0	84,0	529,0	154,0	283,0	2374,0	3424,0
Število vozil v obeh pasovih SiWIM		94,7		421,9	79,5	2153,8	2749,9
Razmerje števila vozil SiWIM/Štetje	0,00	1,13	0,00	2,74	0,28	0,91	0,80

Preglednica 21: Obremenitev $FE_{SiWIM}/FE_{TSC\ 06.511}$ na odseku 3 – 0315 (Benedikt).

Obremenitve	Osebni	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj
Povprečni faktor ekvivalentnosti za vozila po SiWIM		2,41		0,48	2,84	3,31	3,25
Povprečni faktor ekvivalentnosti za vozila po TSC 06.511	0,00006	1,20	0,01	0,20	1,10	2,00	1,80
Razmerje obremenitev FE_{SiWIM}/FE_{TSC}		2,01		2,40	2,58	1,66	1,81

V preglednici 22 pa so razmerja o številu prehodov NOO med SiWIM-om in kontrolnim števcem. Največja razlika je pri srednje težkih tovornih vozilih (3-7 t), saj razmerje v številu prehodov NOO naraste iz 2,74 na 6,58.

Preglednica 22: Število prehodov NOO na odseku 3 – 0315 (Benedikt).

	Osebni	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj
Število prehodov NOO iz števila vozil po TSC kontrolni števec ($NOO_{števec}$)	0,3	100,8	5,3	30,8	311,3	4748,0	5196,5
Število prehodov NOO iz števila vozil po TSC SiWIM (NOO_{SiWIM_TSC})		113,6		84,4	87,5	4307,6	4593,1

Število prehodov NOO po SiWIM (NOO_{SiWIM})		228,2		202,5	225,8	7129,1	7785,6
<i>Razmerje</i> $NOO_{SiWIM_TSC}/NOO_{števec\ TSC}$	0,00	1,13	0,00	2,74	0,28	0,91	0,88
Razmerje $NOO_{SiWIM}/NOO_{števec\ TSC}$	0,00	2,26	0,00	6,58	0,73	1,50	1,50

Iz preglednic 20, 21 in 22 vidimo, da prihaja med eno in drugo metodo določitve prometnih obremenitev do razlik.

Prva razlika je v številu vozil, ki so prevozila izbrani odsek. Največja razlika je pri srednje težkih tovornih vozilih (3-7 t).

Druga razlika je v povprečnem faktorju ekvivalentnosti. Razliki v faktorju ekvivalentnosti sta pri srednje težkih (3-7 t) in težkih (nad 7 t) tovornih vozilih.

Največja razlika pa je v številu prehodov nazivne osne obremenitve (preglednica 22), saj število prehodov NOO naraste iz 0,88 na 1,50. Do takšne razlike v številu prehodov NOO pride predvsem zaradi razlik v številu prehodov NOO pri srednje težkih tovornih vozilih (3-7 t).

7.3.2 Primerjava merodajne prometne obremenitve

Razlika med izračunano merodajno prometno obremenitvijo (10 - letno in 20 - letno obdobje) je za faktor 1,50. Če želimo razvrstiti prometno obremenitev glede na skupino prometne obremenitve, moramo izračunati število prehodov nazivne osne obremenitve (NOO) v 20 - letni dobi, lahko pa upoštevamo tudi število prehodov NOO na dan.

Preglednica 23: Merodajna prometna obremenitev za 10 in 20 letno obdobje (primerjava SiWIM in TSC 06.511).

Merodajna prometna obremenitev	T_d	f_{pp}	$f_{šp}$	f_{nn}	f_{dv}	$f_{tp(10\text{ let})}$	T_{10}	$f_{tp(20\text{ let})}$	T_{20}
Merodajna prometna obremenitev (kontrolni števec)	5196,5	0,5	1,00	1,00	1,03	12	11.721.745 prehodov NOO 82 kN	28	27.350.738 prehodov NOO 82 kN
Merodajna prometna obremenitev (SiWIM)	7775,5	0,5	1,00	1,00	1,03	12	17.539.656 prehodov NOO 82 kN	28	40.925.842 prehodov NOO 82 kN
razlika							1,50		1,50

Ovisno od števila prehodov nazivne osne obremenitve v 20 - letni dobi trajanja so prometne obremenitve voziščne konstrukcije (merodajne za določitev dimenzij plasti) razvrščene v 6. skupino prometne obremenitve: **izredno težka prometna obremenitev**.

Pri računanju prometnih obremenitev nas zanima merodajna prometna obremenitev za 10 - letno obdobje in za 20 - letno obdobje. Merodajna prometna obremenitev za 10- letno obdobje se uporablja pri projektiranju in dimenzioniranju novih ter vrednotenju obstoječih cest. Merodajna prometna obremenitev za 20 - letno obdobje pa se uporablja za določitev skupine prometne obremenitve.

V novem TSC 06.511 (zaenkrat še predlog) se bodo faktorji ekvivalentnosti razlikovali od uporabljenih (TSC 06.511: 2001) faktorjev ekvivalentnosti (preglednica 2). Verjetno bomo dobili drugačne rezultate.

7.4 Debelinski indeks

Pri določitvi debelinskega indeksa voziščne konstrukcije (vsota zmnožkov faktorjev ekvivalentnosti posameznih materialov a_i , vgrajenih v voziščno konstrukcijo in debelin plasti teh materialov d_i) smo uporabili Tehnično specifikacijo Projektiranje dimezioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij (TSC 06.520: 2003).

Za določitev dimenzij plasti asfaltne voziščne konstrukcije, tj. z asfaltno krovno plastjo in spodnjo nevezano nosilno plast (slika 3), uporabimo diagram (slika 36) na strani 10, slika 9 (TSC 06.520: 2003).

Debelino asfaltne krovne plasti (d_k) in spodnje nevezane nosilne plasti (d_{sn}) določimo na podlagi ekvivalentne prometne obremenitve (T_n) in CBR temeljnih tal (laboratorijske meritve). CBR temeljnih tal je 10 %. Podatki o T_n so v preglednici 23.

Upoštevamo da so hidrološki pogoji ugodni in da je globina zmrzali pri 40 cm.

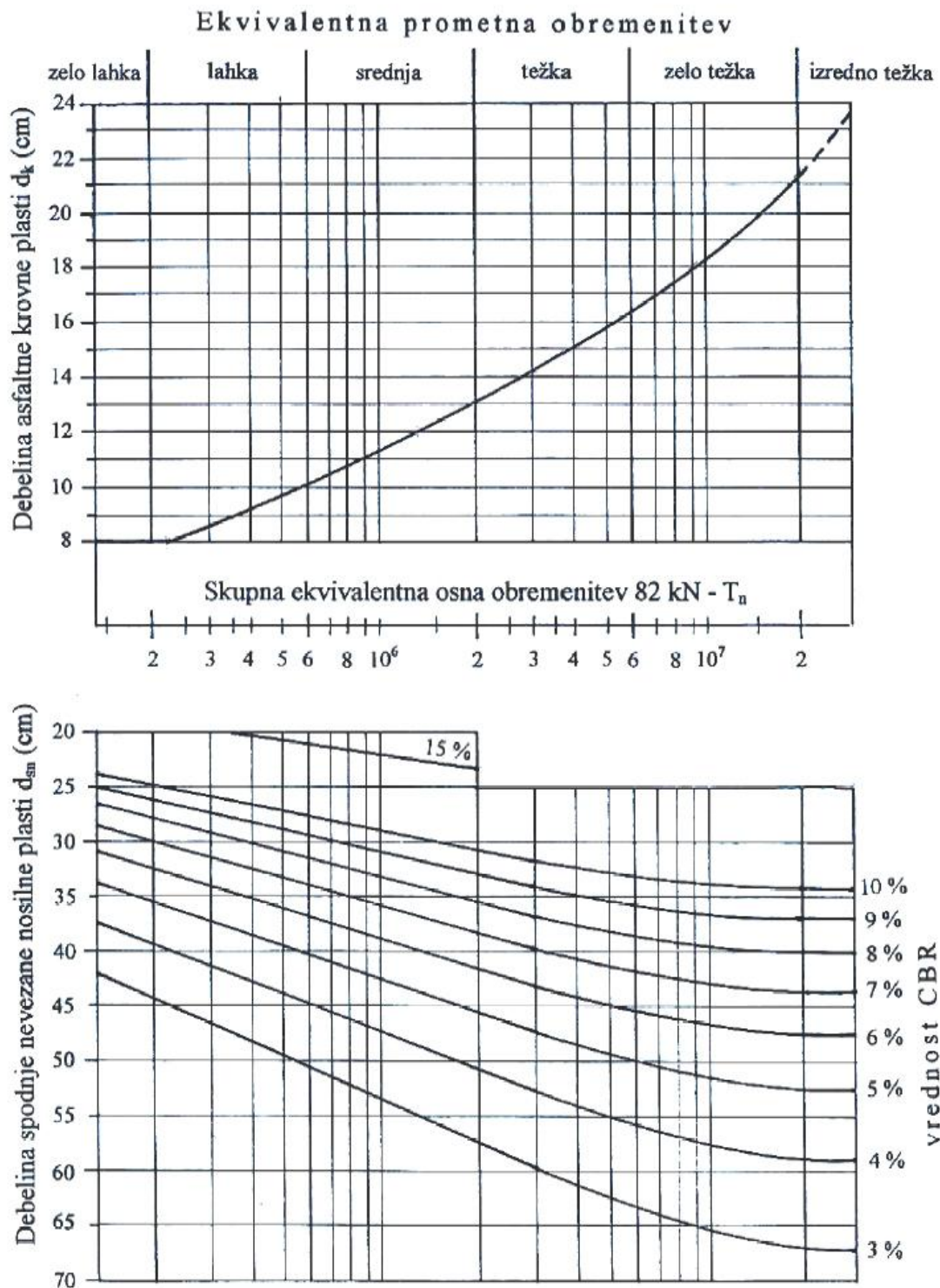
Potrebni debelinski indeks voziščne konstrukcije za to vrsto prometne obremenitve za 10 - letni promet je izračunan po enačbi:

$$D_o = d_k \cdot a_k + d_{sn} \cdot a_{sn} \quad (3)$$

Vrednost a_k pomeni računski količnik ekvivaletnosti za asfaltno krovno plast (za povprečno kakovost asfaltne zmesi), vrednost a_{sn} pa pomeni računski količnik ekvivalentnosti naravnih zrn prodca. Vrednosti smo prebrali iz TSC 06.520: 2003 (stran 8 in 9).

Vrednosti a_k in a_{sn} sta:

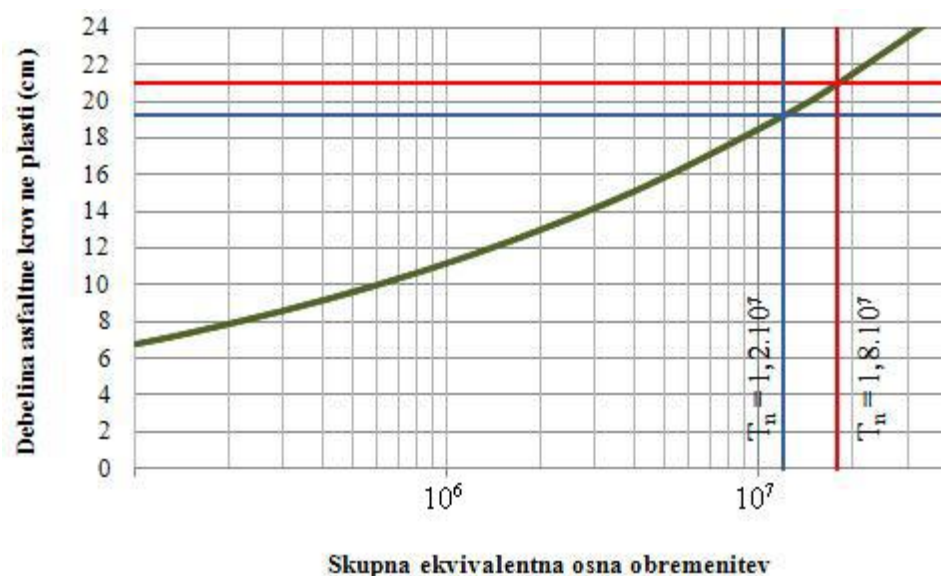
- $a_k = 0,38$ in
- $a_{sn} = 0,11$.



Slika 36: Diagram za določitev dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij
(vir: TSC 06.520. 2003, str. 10).

Debelino krovne plasti (d_k) in debelino spodnje nevezane nosilne plasti (d_{sn}) smo odčitali iz diagrama na sliki 36. Natančen odčitek debeline krovne plasti (d_k) je na sliki 37. Z modro označeni odčitek $T_{n=10let}$ je za štetje, z rdečo pa za tehtanje. Debelinski indeks smo nato izračunali s pomočjo enačbe 3.

Razlika med odčitanimi vrednostmi je v primeru debeline krovne plasti (d_k) 1,8 cm, med debelino spodnje nevezane nosilne plasti pa razlike ni (preglednica 24).



Slika 37: Diagram z označenimi odčitki dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij.

Preglednica 24: Določitev dimenzij plasti asfaltne voziščne konstrukcije.

	10 letno obdobje (TSC) $T_n = 1,2 \cdot 10^7$	10 letno obdobje (SiWIM) $T_n = 1,8 \cdot 10^7$
Debelina krovne plasti (d_k)	19,20 cm	21,00 cm
Debelina spodnje nevezane nosilne plasti (d_{sn})	34,00 cm	34,00 cm
Debelinski indeks (D_o)	11,04 cm	11,72 cm

Debelinski indeks voziščne konstrukcije izračunan na podlagi podatkov štetja prometa (10 - letno obdobje; TSC 06.511) znaša 11,04 cm. Debelinski indeks voziščne konstrukcije

izračunan na podlagi tehtanja (10 - letno obdobje; SiWIM; ista vrsta prometne obremenitve)
pa znaša 11,72 cm.

8 ZAKLJUČEK

Prometne obremenitve, ki so pogosto nepravilno upoštevane, neustrezno vgrajeni materiali in premajhne debeline vgrajenih materialov, pogosto tudi neustrezno odvodnjavanje in prepozno ukrepanje, privedejo do poškodb na voziščni konstrukciji.

Redno vzdrževanje bistveno pripomore k zmanjšanju stroškov, zato je za ohranjanje vozišč pomembno, da sanacijske ukrepe na vozišču izvajamo pravočasno. S tem v največji meri zagotavljamo vozišče v stanju za varno in udobno vožnjo uporabnikov in hkrati preprečujemo mnogo večje stroške, ki nastanejo po preteku življenjske dobe voziščne konstrukcije.

Obnovo voziščne konstrukcije izvedemo v primeru, ko sta nosilnost voziščne konstrukcije in kvaliteta obstoječih vgrajenih materialov neustrezni - zmanjšani do take mere, da voziščna konstrukcija ni več sposobna prevzeti dejanskih prometnih obremenitev.

Preobtežena tovorna vozila povzročajo na slovenskem cestnem omrežju precejšno škodo, poleg tega pa takšna vozila ovirajo normalno odvijanje prometa, saj se njihove vozne karakteristike s preobremenjenostjo bistveno poslabšajo. To posredno vpliva tudi na prometno varnost. Vzpostavitev celovitega nadzora preobteženih vozil s pomočjo sistema za tehtanje vozil med vožnjo je zato potrebna in nujna.

V diplomski nalogi sta bila predstavljena dva načina zbiranja podatkov prometnih obremenitev. Prvi način pridobivanja podatkov je štetje prometa. Namen štetja prometa je pridobivanje informacij o prometnih tokovih v križiščih in na prerezih cest. Za potrebe prometnih ureditev izvajamo terenska štetja prometa v določenih časovnih intervalih in obdobjih. Terenska štetja prometa so lahko ročna ali s pomočjo avtomatskih števec. Drugi način pridobivanja podatkov prometnih obremenitev je s pomočjo mostnih WIM sistemov (B-WIM, ang. bridge WIM), kjer prevzame vlogo tehtnice konstrukcija obstoječega mostu v cestni mreži, ki jo opremimo s senzorji za meritve deformacij in detektorji osi.

Samo s štetjem tovornih vozil ne moremo ugotoviti (beležiti), ali so tovorna vozila v smeri gradbišč ali iz smeri kamnolomov polna, v nasprotni smeri pa prazna.

Ena od razlik med enim in drugim načinom pridobitve podatkov je ta, da so v izračunu faktorjev v tehničnih specifikacijah TSC 06.511 upoštevana nekatera preobremenjena vozila, sistem za tehtanje SiWIM pa določi faktorje na podlagi dejanskega stanja. Pri preračunavanju osnih obremenitev motornih vozil v ekvivalentno prometno obremenitev pride zato do razlik. V enačbi za izračun FE_{naz} (faktor ekvivalentnosti vpliva dejanske osne obremenitve motornega vozila na utrujanje v odnosu na vpliv NOO 82 kN) imamo namreč 4. potenco.

Do razlik pride tudi med faktorji ekvivalentnosti zlasti zaradi različnega razvrščanja kategorije vozil. SiWIM sistem namreč kategorizira vozila glede na število osi in na skupno maso osi, zato pride do razlik pri razvrstitvi tovornih vozil na srednja (3-7 t) in težka (nad 7 t). SiWIM sistem uvršča 2 - osna vozila (skupna masa nad 3,5 t) v srednjo kategorijo (3-7 t), 3 in 4 - osna vozila (skupne mase nad 3,5 t) pa v kategorijo težka (nad 7 t). Števci ocenijo kategorijo vozila na podlagi signala induktivnih zank.

Dimenzije voziščne konstrukcije določimo na osnovi nosilnosti podlage, merodajne prometne obremenitve ter klimatskih in hidroloških pogojev po uveljavljenem postopku za načrtovanje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij (TSC 06.520) in pri načrtovanju ojačitve obstoječih voziščnih konstrukcij (TSC 06.541).

Končni izračun merodajne prometne obremenitve je pokazal, da so razlike med števci in tehtanjem v izračunanem debelinskem indeksu (0,68 cm) in v debelini krovne plasti (1,8 cm) velike, kar je posledica večjega števila prehodov nazivne osne obremenitve (NOO 82 kN) določenega s tehtanjem.

Ne glede na metodologijo je vhodni podatek za račun ukrepov na vozišču skupno število faktorjev ekvivalentnosti. Meritve kažejo, da je zaradi različnih razlogov, predvsem zaradi povečanja prometa, zaradi vedno večje izkoriščenosti vozil ter zaradi preobremenjenosti vozil razlika med faktorji iz TSC 06.511 in dejanskim stanjem velika in se tudi močno razlikuje od ene lokacije do druge. Zato je pri računu ukrepov smiselno upoštevati tudi, skladno z istimi TSC, podatke tehtanja vozil med vožnjo, če so ti na razpolago. V nasprotnem primeru uporabimo samo rezultate štetja prometa in faktorje iz TSC. Le-ti so trenutno v postopku revizije, ki bo njihove vrednosti faktorjev prilagodila dejanskemu stanju prometa v Sloveniji.

Še vedno pa bodo te vrednoti opisovale stanje na mrežnem nivoju, zato je mogoče za natančne analize tak postopek manj primeren kot račun na podlagi tehtanj vozil.

LITERATURA

Brozovič, R. 2008. Tehtanje vozil med vožnjo na objektih v letu 2007. Projekt. Končno poročilo. Ljubljana, Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 19 str.

COST 323. European Specification on Weight-in-motion of Road Vehicles. Draft 2.2. EURO-CIST: 323, June 1997.

Favai, P. 2007. Izvedba WIM meritev in določitev prometnih obremenitev. Cestni odsek na cesti R2-422 odsek 1319: krožišče Dolga Vas – Dobrovnik. Od 21. 4. 2007 do 4.5.2007. Končno poročilo. Ljubljana, Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 11 str.

Maher, T. 2007. Teorija prometnega toka. Osnutek skripte. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 139 str.

Meritve prometnih obremenitev s SiWIM sistemom. Benedikt1_07. Ljubljana, ZAG: 1 str.

O'Brien, Eugene., Žnidarič, A. 2001. Weighing-in-motion of axles and vehicles for Europe (WAVE). Bridge WIM systems (B-WIM). Report of Work Package 1.2. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: 100 str.

Projektiranje dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij. TSC 06.520. 2003. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo, št. 9/2003.

Projektiranje dimenzioniranje novih cementnobetonških voziščnih konstrukcij. TSC 06.530. 2005. UL RS št. 41:3080.

Promet 2007. 2008. Podatki o štetju prometa na državnih cestah v Republiki Sloveniji. Ljubljana, Direkcija RS za ceste.

Prometne obremenitve določitev in razvrstitev. TSC 06.511. 2001. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo, letnik XI, št. 10/2001.

Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. TSC 06.300/06.410. Predlog tehnične specifikacije za ceste. julij 2008.

Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. TSC 06.300/06.410. Predlog tehnične specifikacije za ceste. november 2008.

Žmavc, J. 2007. Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. 2. Izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 357 str.

Žnidarič, A. 1999. Wave – tehtanje osi in vozil me vožnjo za Evropo. Razvojno raziskovalna naloga. Zaključno poročilo. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: 52 str.

Žnidarič, A., Lavrič, I., Kalin, J., Kulauzović, B. 2005. SiWIM Bridge Weigh-in-Motion Manual, 3. Izdaja, Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: 160 str.

AXIS. Prometno informacijske rešitve, d.o.o. Štetje prometa. Zbiranje podatkov. Analiza.
http://www.axis.si/si/storitve/stetje_prometa/zbiranje_podatkov/ (5.1.2009)

Direkcija Republike Slovenije za ceste. Promet.
<http://www.dc.gov.si/si/promet/> (10.12.2008)

Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji. Prometne obremenitve.
http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Prometne_obremenitve_94.aspx (8.12.2008)

Intermatic d.o.o. Naprave za štetje prometa.
http://www.intermatic.si/c/p/t/naprave_za_%B9tetje_prometa.html (5.1.2009)

SiWIM. Weights Today, Gone Tomorrow.
<http://www.siwim.com/> (8.12.2008)

ZAG. Odsek za vzdrževanje in gospodarjenje s cestami.
<http://www.zag.si/si/index.php?nav0=dejavnosti&nav1=geotehnika&nav2=ceste> (24.2.2009)

QLTC. 2008. Predavanje ob zaključku uspešne namestitve avtomatskega števca prometa. Aktualni dogodki. Fakulteta za gradbeništvo. Univerza v Mariboru.
<http://www.fg.uni-mb.si/povezava.aspx?pid=5423> (4.3.2009)