



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Promet
Modul: Cestni promet

**IZRAČUN PROMETNIH OBREMENITEV
CESTNIH ODSEKOV S POMOČJO
TEHTANJA VOZIL MED VOŽNJO**

Mentor: mag. Branko Lotrič
Somentor: Pavle Hevka
Lektor: Vinko Rahne, prof.

Kandidat: Bajko Kulauzović

Ljubljana, januar 2010

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Branku Lotriču in somentorju Pavlu Hevki za vso pomoč in vodenje pri pripravi diplomske naloge.

Hvala vodstvu podjetja Cestel d.o.o. za neomejen dostop do informacij, podatkov in dokumentacije v zvezi s tematiko diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorju Vinku Rahnetu, ki je lektoriral mojo diplomsko nalogo.

IZJAVA

»Študent Bajko Kulauzović izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Branka Lotriča in somentorstvom Pavla Hevke.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V Republiki Sloveniji se že več kot 30 let pridobivajo podatki o številu vozil z avtomatskimi števci prometa. Podatke o skupnih masah in osnih pritiskih vseh vozil lahko pri znani strukturi prometa ocenimo po Tehničnih specifikacijah za ceste TSC 06.511.

Točne podatke o cestnih obremenitvah vozil pa lahko dobimo samo s pomočjo sistemov za tehtanje vozil med vožnjo, ki merijo osne obremenitve vseh vozil s skupno maso nad 3,5 t v prostem prometnem toku.

V diplomski nalogi bomo raziskali uporabo WIM meritev in primerjali rezultate teh meritev s pridobljenimi podatki števecv prometa. Na praktičnih primerih bomo prikazali uporabnost takih meritev pri načrtovanju gradnje in obnove cest. V zaključku bomo prikazali možnost distribucije podatkov in pogled v prihodnost tehnologije.

KLJUČNE BESEDE

- Števci prometa
- Tehtanje vozil med vožnjo
- Prometne obremenitve
- Faktor ekvivalentnosti

ABSTRACT

Over 30 years traffic counting with automatic traffic counters is performed in Republic of Slovenia. Data about gross vehicle weight (GVW) and axle loads of all vehicles with known structure of the traffic can be evaluated according to the Technical specifications for the roads TSC 06.511.

Exact data about the traffic loading of the heavy vehicles can be obtained only with weigh in motion systems, which measure axle loads of all vehicles in free traffic flow with GVW over 3,5 t.

In the thesis we are going to evaluate use of WIM measurements and compare those results with data from traffic counters. On practical examples we will try to present usefulness of WIM measurements for planning of road maintenance and dimensioning the road structure in road building. In the conclusion we will present an option for data distribution and sneak preview into the future of the technology.

KEYWORDS

- Traffic counters
- Weigh in motion
- Traffic loading
- Equivalent single axle load

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2	PREDSTAVITEV OKOLJA.....	1
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	2
1.4	METODE DELA.....	2
2	ŠTEVCI PROMETA	3
2.1	OPIS NAPRAVE IN NJENO DELOVANJE	3
2.2	PRIDOBLENJI PODATKI.....	3
2.3	POMANJKLJIVOSTI.....	4
3	TEHTANJE VOZIL MED VOŽNJO	5
3.1	VRSTE SISTEMOV	5
3.2	MOSTNI SISTEMI ZA TEHTANJE VOZIL MED VOŽNJO.....	6
3.3	TOČNOST REZULTATOV	9
4	VPLIV PROMETNIH OBREMENITEV NA VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO 11	
4.1	FAKTORJI EKVIVALENTNOSTI	11
4.1	PRIMERJAVA OBREMENITEV MED WIM sistemoma IN TSC	12
4.2	ANALIZA MERILNEGA MESTA	13
4.3	RAZŠIRJENA UPORABA WIM MERITVE	17
5	PREDLAGANE IZBOLJŠAVE METODOLOGIJE	18
5.1	RAZŠIRITEV NABORA PODATKOV.....	18
6	ZAKLJUČEK	20
6.1	OCENA STANJA	20
6.2	VIZIJA RAZVOJA	20
	LITERATURA IN VIRI	21
	KAZALO SLIK.....	23
	KAZALO TABEL.....	23
	POJMOVNIK.....	23
	KRATICE IN AKRONIMI.....	23

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V Republiki Sloveniji se že več kot 30 let pridobivajo podatki o številu vozil z avtomatskimi števci prometa. Podatke o skupnih masah in osnih pritiskih vseh vozil lahko pri znani strukturi prometa ocenimo po Tehničnih specifikacijah za ceste TSC 06.511.

Meritve prometnih obremenitev na osnovi avtomatskih števcov prometa in s pomočjo metodologije, ki jo predpisuje Tehnična specifikacija za ceste TSC 06.511, so zaradi omejenega nabora podatkov nenatančne in zaradi tega je tudi načrtovanje bodočih prometnih obremenitev in tokov nenatančno. Za kvalitetno načrtovanje potrebujemo več podatkov o dejanskem stanju na cestnih odsekih.

Točne podatke o cestnih obremenitvah vozil lahko dobimo samo s pomočjo sistemov za tehtanje vozil med vožnjo (*WIM – Weigh-in-motion* sistemov), ki merijo osne obremenitve vseh vozil s skupno maso nad 3,5 t v prostem prometnem toku.

V diplomski nalogi bomo raziskali uporabo meritev WIM in primerjali rezultate teh meritev s pridobljenimi podatki števcov prometa. Na praktičnih primerih bomo prikazali uporabnost takih meritev pri načrtovanju gradnje in obnove cest. V zaključku bomo prikazali možnost distribucije podatkov in pogled v prihodnost tehnologije.

1.2 PREDSTAVITEV OKOLJA

Državno cestno omrežje v Republiki Sloveniji obsega skoraj 600 km avtocest in skoraj 6 000 km hitrih, glavnih ter regionalnih cest.

Podatki o prometnih obremenitvah so pripravljene na osnovi podatkov, pridobljenih s posameznimi ročnimi štetji prometa ter iz avtomatskih števcov prometa na območju celotne Slovenije. Ti, tako imenovani števniki podatki, so ena temeljnih informacij o prometu na cestah, saj omogočajo izračun povprečnega letnega dnevnega prometa – PLDP (število motornih vozil, ki v 24 urah peljejo mimo števnege mesta na povprečni dan v letu).

V zadnjem desetletju beležimo stalen porast tovornega prometa, ki povzroča znatne prometne obremenitve na cestnem omrežju in s tem povezane poškodbe cestišča in spremljajočih objektov. Število vozil samo po sebi ni kritično, povečanje prometnih obremenitev kot posledica tega pa se odraža v vse hitrejši obrabi voziščne konstrukcije in uničevanju le-te.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Cilj naloge bo prikazati odstopanja pri izračunu predvidene prometne obremenitve v skladu s Tehničnimi specifikacijami TSC 06.511 in pridobljenimi podatki iz štetja prometa, ko je cesta dimenzionirana za 20 let od dejanskih obremenitev izmerjenih z WIM sistemom. Dodatno bomo pokazali nepovezanost povečanja števila vozil z dejansko obremenitvijo. Izhajamo iz predpostavke, da so podatki, pridobljeni iz števecv prometa, dejansko pomankljivi in nam ne podajajo celotne slike stanja prometnih obremenitev.

Glede na razpoložljiv čas in tehnologijo ni mogoče izvesti vzporednih WIM meritev na vseh lokacijah, kjer so postavljeni števcji prometa, zato bomo predpostavili, da je primerljiv podatek med WIM meritvijo in števcem prometa, če se oba nahajata na istem odseku. Določeni odseki vsebujejo odcepe, ki lahko znatno vplivajo na podatke meritve, kar pa bomo pri primerjavi upoštevali le, če se števec in WIM meritev nahajata fizično dovolj blizu.

1.4 METODE DELA

Fizične meritve z WIM sistemom bomo izvedli na različnih lokacijah ter nato naredili primerjavo in analizo tako dobljenih podatkov s podatki DRSC, pridobljenimi iz avtomatskih števecv prometa. Opravljeni bodo primerjalna analiza in teoretični izračuni skladno s trenutnimi znanstvenimi dognanji ter predpisi z veljavno zakonodajo.

2 ŠTEVCI PROMETA

2.1 OPIS NAPRAVE IN NJENO DELOVANJE

Števci prometa so v osnovi elektronske naprave, namenjene štetju in klasifikaciji vozil, ki vozijo po določenem odseku ceste. Poleg osnovne naloge lahko merijo tudi hitrost vozil in na osnovi tega podatka posredujejo informacijo o prometnih zgoščitvah. Največkrat je način zaznave vozil s pomočjo detektorjev osi, ki so lahko gumijaste cevi, napeljene preko voznega pasu, ali pa v vozišče vgrajeni piezzo-električni senzorji ali induktivne zanke. V zadnjem času se pojavlja vedno več naprav za štetje prometa, ki za zaznavo uporabljajo radarsko tehnologijo, infra rdeče žarke, laserske snope ali video razpoznavo.

Ob prehodu vozila preko detektorjev osi števec prometa prešteje število osi in na osnovi tega podatka ter podatka o razdalji med osmi iz klasifikacijske tabele različnih tipov vozil izbere tisti tip oziroma razred, ki najbolj ustreza zaznanemu »odtisu« merjenega vozila, ter ta podatek zabeleži. V svoji statistiki števeci tipično ne beležijo posameznih vozil, temveč podajajo informacijo v merjenem intervalu. Tako so za vsak merjeni interval največkrat na voljo naslednji podatki:

- datum in čas intervala,
- dolžina intervala,
- število vozil posameznega razreda.

Dodatno so lahko na voljo podatki o povprečni hitrosti, hitrosti posameznih razredov vozil, razlike hitrosti po pasovih in podobno.

V kolikor pa števec beleži podatke za vsako posamezno vozilo, je o tem vozilu shranjena informacija o datumu in uri, voznem pasu, razredu vozila in hitrosti vozila.

2.2 PRIDOBLJENI PODATKI

Ker se podatki iz števcov prometa zbirajo daljše časovno obdobje, se iz zbranih podatkov izdelata statistika prometa po posameznih odsekih – merilnih mestih - v obliki tabele (Tabela 1), kjer se vodi statistika števila vozil po posameznih razredih vozil, hkrati pa se izračuna povprečni letni dnevni promet (PLDP) za to števno mesto.

Kat. ceste	Štev. ceste	Štev. odseka	Prometni odsek	Števno mesto	Ime števnege mesta	Tip štetja	Vsa vozila	Motorji	Osebna vozila	Avtobusi	Lah. tov. < 3,5t	Sr. tov. 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačici
G1	1	0240	MP VIČ-DRAVOGRAD	663	MP Vič	QLD-6	2.100	60	1.624	6	116	20	38	82	154
G1	1	0241	DRAVOGRAD-RADLJE	60	Gorlina	QLD-6	7.706	77	6.530	58	525	102	149	105	160
G1	1	0243	RADLJE-BREZNO	605	Brezno	QLD-3	4.939	3	4.022	51	523	106	60	70	104
G1	1	0245	RUTA-SELNICA	600	Zgornji Boč	QLD-6	5.684	65	4.727	59	413	89	119	77	135
G1	1	0245	SELNICA-MB(OTOK)	61	Brestnica	QLD-6	9.757	72	8.576	96	483	139	161	80	150
G1	1	0326	MB (KOR. MOST-C. PROLETARSKIH	18	MB Koroški most	QLD-6	26.356	96	24.414	94	1.056	182	256	84	174
G1	1	0246	MB (TRŽAŠKA-MIKLAVŽ)	19	MB Ptujška	QLD-6	33.389	100	28.777	271	1.887	354	503	403	1.094
G1	1	1400	MB AC-MIKLAVŽ	20	Miklavž sever	QLD	23.869	90	19.818	325	1.404	388	426	226	1.192
G1	1	1400	MIKLAVŽ-HAJDINA	606	Starše	QLD-6	18.137	50	14.963	189	994	175	347	461	958
G1	2	1290	SL.BISTRICA-PRAGERSKI GRAD	196	Devina	QLD-6	10.774	49	8.627	41	775	222	359	222	479
G1	2	1290	PRAGERSKO-ŠIKOLE	640	Šikole	QLD-6	1.477	8	1.272	4	93	21	36	20	23

Tabela 1: Tabela prometnih obremenitev (Štetje 2008)

Bajko Kulauzović: Izračun prometnih obremenitev cestnih odsekov s pomočjo tehtanja vozil med vožnjo

PLDP je tako osnova za izdelavo statistike prometnih obremenitev posameznih odsekov.

Na slovenskih državnih cestah, hitrih cestah in avtocestah, je v uporabi preko 500 avtomatskih števecv prometa, poleg tega pa se na preko 50 števnih mestih štetje prometa opravlja ročno za potrebe analize. Na osnovi teh podatkov se s pomočjo metodologije, ki jo predpisuje Tehnična specifikacija za ceste TSC 06.511, vrednoti vpliv obremenitev vozil na voziščno konstrukcijo s faktorjem ekvivalentnosti FE. Na osnovi tega izračunamo povprečno letno dnevno obremenitev (PLDO), ki predstavlja število nominalnih osi na dan tako, kot predstavlja PLDP število vozil.

Število vozil po kontrolnem števcu	Osební	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Faktor vozila po TSC 06.511	0,00006	1,20	0,01	0,20	1,10	2,00	0,90	
Šteje vozil, skupaj oba pasova	2273,0	24,0		43,0	11,0	135,0	213,0	77.745 vozil
FE iz števila vozil po TSC (štetje)	0,1	28,8		8,6	12,1	270,0	319,6	116.667 FE

Tabela 2: Primerjava med PLDP in PLDO

V tabeli 2 je prikazana primerjava med izmerjenim podatkom o številu vozil in izračunanim faktorjem ekvivalentnosti za posamezen razred vozil. Glede na faktorje vozila lahko ugotovimo, da osebna vozila ne doprinesejo k prometni obremenitvi skoraj nič, saj je njihov faktor kar preko 30.000 manjši kot faktor priklopnika. V zgornji tabeli lahko ugotovimo, da v povprečju 272 težkih vozil na dan ustvari 285,3 FE, 4688 osebnih vozil pa le 0,3 FE ali 0,1 % vseh prometnih obremenitev.

2.3 POMANJKLJIVOSTI

Kot smo že omenili, števci prometa kljub natančni informaciji o količini in vrsti prometa ne zagotavljajo izredno pomembne informacije o prometni obremenitvi, ki je pomembna za načrtovanje in vzdrževanje cest. Metodologija, ki se uporablja za izračun faktorjev ekvivalentnosti na osnovi podatkov števecv, žal lahko poda samo približno informacijo o dejanskih obremenitvah, saj si posamezna merilna mesta med seboj po prometu niso tako podobna, da bi enaki obrazci veljali za vse cestne odseke po Sloveniji. Dodatna ovira pri natančni analizi prometnih obremenitev na posameznem merilnem mestu je pomanjkljivost števca prometa, ki iz »odtisa« vozila težko loči med priklopniki in polpriklopniki, kar pa je pomemben podatek.

3 TEHTANJE VOZIL MED VOŽNJO

3.1 VRSTE SISTEMOV

Sistemi za tehtanje vozil med vožnjo (Weigh-in-motion sistemi ali WIM-sistemi) pri prehodu vozila preko merilnega senzorja poleg podatka o številu osi in medosni razdalji podajo še informacije o teži posameznih osi in skupni teži vozila. Čeprav po imenu poznamo tako LS (low speed – nizka hitrost, do okoli 5 km/h) kot HS (high speed – visoka hitrost) WIM sisteme, se bomo tukaj omejili le na HS-WIM sisteme, torej take, ki tehtajo vozila med normalno vožnjo po cesti (hitrosti od 10km/h navzgor).



Slika 1: Različni tipi HS WIM sistemov (COST 323 1999)

S tako meritvijo pridobimo močno orodje za uporabo na več področjih, kot so:

- načrtovanje in gradnja cest,
- vzdrževanje cest,
- analiza prometa,
- predselekcija za statična tehtanja in kaznovanje voznikov preobremenjenih vozil.

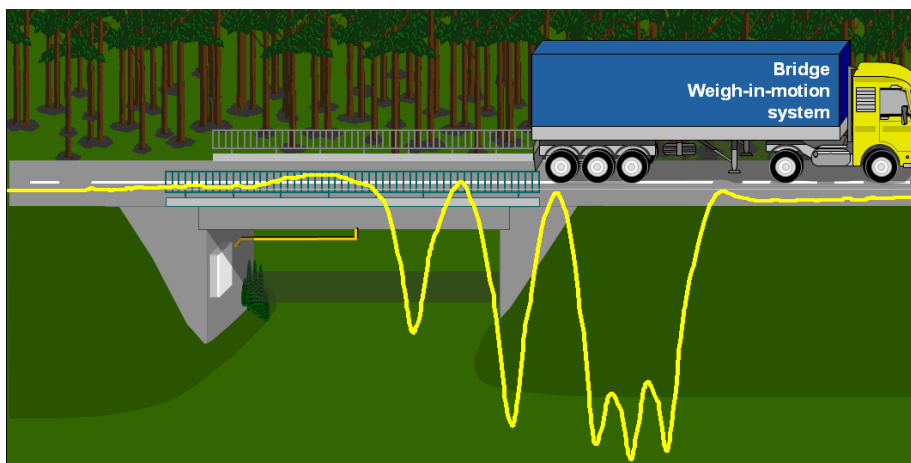
Kot merilne senzorje lahko uporabimo upogibne plošče, linijske senzorje (piezokeramične, piezoelektrične, kapacitivne) ter kapacitivne plošče. Kot merilno platformo pa lahko uporabimo obstoječe mostove in merimo upogib prekladne konstrukcije. Na sliki 1 so prikazani različni tipi HS WIM sistemov, ki se vgrajujejo v voziščno konstrukcijo.

Večina WIM sistemov, ki so trenutno uporabljeni v Evropi, temelji na piezotehnologiji in vgradnji linijskih senzorjev v voziščno konstrukcijo. Pri teh sistemih je potrebno izbrati ali izdelati povsem raven del vozišča, v katerega vgradimo določeno število senzorjev v vsak vozni pas. Linijske senzorje običajno kombiniramo z vgrajenimi induktivnimi zankami, s katerimi zaznamo prisotnost vozila, iz upogiba senzorja pa izračunamo osno obremenitev, medosno razdaljo, število osi in tip vozila.

Na državnem cestnem omrežju v Republiki Sloveniji se podatki o prometnih obremenitvah merijo z mostnim WIM sistemom, pri katerem prevzame vlogo tehtnice prekladna konstrukcija obstoječega mostu ali propusta. Na podlagi podatkov o deformacijah konstrukcije in medosnih razdaljah vozila, ki je te deformacije povzročilo, se izračunajo osni pritiski in skupna teža vozila.

3.2 MOSTNI SISTEMI ZA TEHTANJE VOZIL MED VOŽNJO

Največja prednost mostnih sistemov za tehtanje vozil med vožnjo (Bridge WIM – B-WIM) je, da se instrumentira obstoječe mostove ali propuste. Zaradi postavitve merilnih senzorjev pod prekladno konstrukcijo se pri instalaciji ne posega na vozišče, zato ni prometnih zastojev. Poleg tega zaradi narave meritve, saj je kot merilna površina izkoriščena celotna površina prekladne konstrukcije, vozilo merimo



Slika 2: Shematski prikaz delovanja mostnega sistema

ves čas prehoda preko mosta, kar pomaga pri odpravi dinamičnih efektov interakcije vozilo-vozišče, in zaradi tega omogoča natančnejše rezultate.

Na sliki 2 je prikazano delovanje mostnega sistema. Tovorno vozilo ob prehodu preko mosta povzroči upogib prekladne konstrukcije, ki ga merilniki raztezka zaznajo in prikažejo.



Slika 3: Most kot merilni sistem

Prva faza meritve je določitev primerne objekta na zelenem cestnem odseku. Pregledajo, izmerijo in dokumentirajo se vsi premostitveni objekti na izbranem

Bajko Kulauzović: Izračun prometnih obremenitev cestnih odsekov s pomočjo tehtanja vozil med vožnjo

cestnem odseku, na podlagi pridobljenih meritev pa se izbere najustreznejšega. Poglavitni dejavniki pri izbiri so: pretočnost prometa, vzdolžna ravnost, tip konstrukcije, debelina nosilne plošče, razpetina mostu in dostopnost.



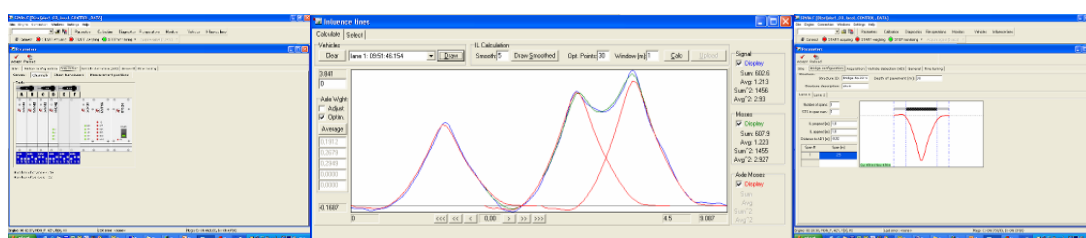
Slika 4: Postavitev merilnih senzorjev

Druga faza je postavitve sistema, ki sestoji iz pritrditve senzorjev pomika na mostno konstrukcijo in povezovanja z osrednjo enoto sistema.



Slika 5: Merilna enota

Tretja faza je nastavitve vseh parametrov. Zelo pomembna lastnost mostu, ki jo programska oprema izračuna na podlagi naključnega prometa, je vpivnica mostu.



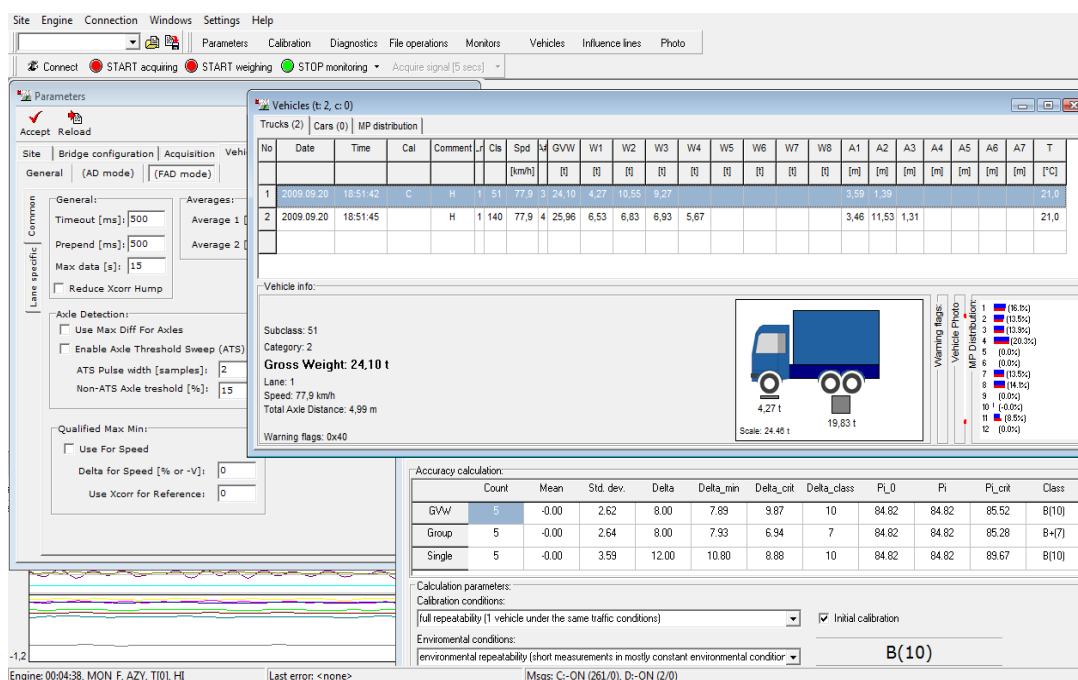
Slika 6: Nastavitve parametrov sistema

Po nastavitvi parametrov lahko pričnemo z meritvami. Sistem v realnem času izmeri osne obremenitve in skupno maso za vsako tovorno vozilo, ki je težje od 3 ton in pol.



Slika 7: Nastavitve parametrov sistema

Naslednja faza, ki se izvede v poljubnem dnevu meritev, je kalibracija ali umerjanje sistema. Umerjanje se izvede s pomočjo tovornih vozil, ki so obremenjena z maksimalno še dovoljeno osno obremenitvijo. Ta kalibracijska vozila se predhodno izmeri na statičnih tehtnicah, nato pa vsako vozilo vsaj desetkrat prevozi vsak voznik pas na merjenem objektu. Programska oprema avtomatično preračuna kalibracijske faktorje sistema in izračuna točnostni razred meritev v skladu z evropskimi priporočili COST 323.



Slika 8: Kalibracija sistema in izračun točnosti

Zaradi vsega naštetega, kakor tudi zaradi možnosti demontaže in ponovne montaže merilnih senzorjev, je B-WIM predvsem primeren za:

- kratkotrajne (nekaj dnevne, tedenske ali mesečne) meritve z namenom, da se analizirajo podatki o prometni obremenitvi merjenega odseka,
- meritve na lokacijah, kjer bi bil poseg v voziščno konstrukcijo težko izvedljiv ali nemogoč zaradi velikega števila vozil,
- analizo samega mostu z namenom, da pridobimo dodatne realne podatke o obnašanju mostne konstrukcije ob dejanskih obremenitvah prometa.

3.3 TOČNOST REZULTATOV

WIM sistemi so manj natančni od statičnih tehtalnih sistemov. Bistveni razlogi so:

- dinamični vplivi, zlasti nihanje vozil zaradi neravnin na cesti, ki se od vozila do vozila razlikujejo;
- prerazporeditve osnih obremenitev med vožnjo zaradi zračnega upora in dodatnih obremenitev med pospeševanjem in zaviranjem vozil, ter
- dejstvo, da poteka tehtanje na statičnih sistemih v kontroliranih pogojih pod nadzorom odgovorne osebe in se v spornih primerih lahko takoj ponovi, medtem ko se tehtanje med vožnjo izvaja neprekinjeno in brez neposrednega nadzora.

Ne glede na nekoliko manjšo natančnost v primerjavi s statičnimi tehtnicami so rezultati uporabni za vse analize, ki vključujejo prometne obremenitve. Večina meritev na mostovih z ravnim voziščem daje ob upoštevanju primerne tolerance dovolj točne rezultate celo za neposredno kaznovanje kršilcev, vendar to trenutno še ni zakonsko urejeno.

Bajko Kulauzović: Izračun prometnih obremenitev cestnih odsekov s pomočjo tehtanja vozil med vožnjo

Razred	Skupna teža	Osni pritiski	Interval zaupanja	Najzahtevnejši namen uporabe rezultatov
	0,2% ÷ 10%		100%	Kaznovanje v skladu z zakonodajo (npr. novi Pravilnik o meroslovnih zahtevah za avtomatske tehtnice za tehtanje cestnih vozil v gibanju (UL RS 25/2002))
A	5%	8%	≈ 98%	Kaznovanje, če je (ko bo) zakonsko dopuščeno
B+	7%	11%	≈ 95%	Možno kaznovanje, kot pri A
B	10%	15%	≈ 95%	Specifične kontrole za industrijo
C	15%	20%	≈ 95%	Prometna varnost
D+	20%	25%	≈ 95%	Pred izbira vozil za statično tehtanje
D	25%	30%	≈ 95%	Klasifikacija vozil
E	>25%	>35%	≈ 95%	Ocena prometnih tokov

Tabela 3: Točnostni razredi WIM sistemov in področje uporabe

Za izračun točnosti WIM rezultatov se uporabijo Evropske specifikacije COST 323, ki nam na podlagi kalibracije z znanim tovornim vozilom izračunajo točnostni razred za celotno populacijo tovornih vozil.

Za kalibracijo smatramo umerjanje merilnega sistema z znano obtežbo; v primeru WIM sistema je to tovorno vozilo z znanimi medosnimi razdaljami in izmerjenimi statičnimi težami posameznih osi, ki merilni sistem prevozi po vsakem merjenem pasu vsaj desetkrat. Lahko pa se uporabijo tudi vozila iz prostega prometnega toka, ki se pred ali za postavljenim WIM sistemom ustavijo in s pomočjo prenosnih osnih tehtnic statično stehajo, podatki o teh vozilih pa se naknadno vnesejo v WIM sistem. V primeru uporabe več različnih tipov vozil med postopkom kalibracije (kalibracija z vozili iz prostega prometnega toka) lahko za vsak posamezen tip vozila določimo svoje kalibracijske faktorje, s čimer dosežemo večjo natančnost zajetih podatkov.

Evropske specifikacije COST 323 zelo natančno predpisujejo postopke kalibracije in na osnovi le te pričakovano zanesljivost in natančnost merilnega sistema. V osnovi torej poznamo štiri postopke kalibracije, ti pa so:

- popolna ponovljivost (uporaba enega vozila pod enakimi pogoji vožnje),
- razširjena ponovljivost (uporaba enega vozila z različnimi obtežbami in pod spremenljivimi pogoji vožnje),
- omejena obnovljivost (uporaba dveh do desetih vozil pod poljubnimi pogoji vožnje), in
- popolna obnovljivost (primerjava več deset naključnih vozil iz tekočega prometa).

Poleg tega pa je pri postopku kalibracije potrebno vedeti, kakšen tip meritve se bo opravljal glede na trajanje in stanje vremena. Ta del imenujemo pogoji okolja. Le-ti so:

- ponovljivost okolja (kratkotrajne meritve ob pretežno konstantnih pogojih okolja – vremena),
- omejena obnovljivost okolja (kratkotrajne meritve ob spreminjajočih se pogojih okolja – vremena), in
- popolna obnovljivost okolja (dolgotrajne, več mesečne meritve, ob spreminjajočih se pogojih okolja – vremena).

4 VPLIV PROMETNIH OBREMENITEV NA VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO

4.1 FAKTORJI EKVIVALENTNOSTI

Podatki o prometnih obremenitvah so bistveni element načrtovanja, gradnje in vzdrževanja voziščnih konstrukcij. V skladu s tehničnimi specifikacijami za izračun prometnih obremenitev TSC 06.511 vrednotimo vpliv obremenitev vozila na voziščno konstrukcijo s faktorjem ekvivalentnosti FE, ki določa število prehodov nominalne osi, ki ima dve dvojni pnevmatiki in osno obremenitev 82 kN po enačbi:

$$FE = 10^{-8} \times \sum_{i=1}^N f_o \times (f_k \times A_i)^4$$

kjer so:

FE - celotna prometna obremenitev, izražena s številom nominalnih osnih obremenitev 82 kN,

f_o - faktor razporeda obremenitev glede na tip osi (2,212 za enojno, 0,0195 za dvojno in 0,0048 za trojno os),

f_k - faktor vrste kolesa (1,0 za dvojno, 1,2 za široko enojno in 1,3 za enojno kolo),

A_i - obremenitev posamezne osi v kN,

N - število osi.

Prometne obremenitve so proporcionalne četrti potenci osnih obremenitev, zato 20% večja osna obremenitev poveča faktor ekvivalentnosti kar za 107 %. Prav tako se lahko obremenitve enako težkih vozil razlikujejo za več kot 100 % zaradi različne konfiguracije koles. Celotna obremenitev je definirana kot vsota FE vseh stehtanih vozil na določenem cestnem odseku.

Razred vozila	Faktor vozila po TSC06.511
Osebno vozilo	0,00006
Avtobus	1,2
Lahko tovorno vozilo do 3T	0,01
Srednje tovorno vozilo 3T-7T	0,2
Težko tovorno vozilo nad 7T	1,1
Priklopniki	2,0

Tabela 4: Vrednost FE za posamezne razrede vozil

Izračun obremenitev na podlagi števila vozil in strukture prometa iz prejšnjih let ter faktorjev iz TSC pokaže, da predstavljajo osebna vozila manj kot 0,1 % in lahka tovorna vozila s skupno maso pod 3,5 tone manj pa kot 0,5% vpliva na skupni FE. Zaradi minimalnega vpliva osebnih in lahkih tovornih vozil z WIM sistemi teh vozil ne tehtamo in jih v izračunih prometnih obremenitev zanemarimo.

4.1 PRIMERJAVA OBREMNITEV MED WIM SISTEMOMA IN TSC

Meritve na državnem cestnem omrežju v letu 2008 [7] so bile izvedene s SiWIM mostnim sistemom, in sicer enkrat letno na 34 lokacijah. 27 meritev je trajalo 7 dni in vključujejo vse dni v tednu, 7 meritev pa je bilo mesečnih in zajemajo celoten mesečni promet. Pri izbiri začetka posameznih meritev so bili upoštevani vplivi sezonskega prometa, praznikov, zmanjšanega prometa tovornih vozil v avgustu in bližina gradbišč. Podrobni podatki o lokacijah in času meritev so podani v Tabeli 5.

Z.št.	CESTA	ODSEK	Ime	Št. Objekta	Stacionaža m	Št.Mesto	Omejitve osi t	Datum meritev	
								od	do
1	3	315	BENEDIKT	MB0057	6486	85	12	10.jun.08	16.jun.08
2	104	1137	MOSTE	LJ0122	5765	627	10	16.apr.08	22.apr.08
3	2	250	GORIŠNICA	PT0030	9298	62	10	13.maj.08	19.maj.08
4	H1	1462	LJUBNO	KR0033	3934	50	12	1.apr.08	29.apr.08
5	103	1008	ROČINJ	GO0045	8460	616	8	29.jul.08	4.avg.08
6	430	281	GLOBOČE	CE5101	8054	67	10	17.jun.08	23.jun.08
7	1	241	VELKA	MB0002	4946	60	10	21.jun.08	27.jun.08
8	9	352	POBREŽJE	PT0076	4143	682	10	31.mar.08	29.apr.08
9	102	1033	HOTEDRŠICA	LJ0103	4981	100	8	3.jun.08	9.jun.08
10	108	1182	KRESNICE	LJ5141	2110	678	8	1.sep.08	30.sep.08
11	225	1247	LJUBIJA	CE0083	730	138	8	12.jul.08	17.jul.08
12	105	256	POGANČE	NM0076	2651	607	10	2.avg.08	8.avg.08
13	4	1259	MISLINJA	MB5130	8182	621	10	19.maj.08	16.jun.08
14	230	1309	NORŠINCI	MS5008	3530	353	10	24.jul.08	30.jul.08
15	106	261	PIJAVA GORICA	LJ0069	2159	117	10	23.maj.08	29.maj.08
16	4	1261	VINSKA GORA	propust	4889	133	8	14.jun.08	20.jun.08
17	12	344	PODGRIČ	propust	6755	644	12	8.maj.08	14.maj.08
18	H1	221	DOLENJA DOBRAVA	NM5133	5569	634	12	28.avg.08	30.sep.08
19	5	328	TREMERJE	CE0018	4528	90	8	22.maj.08	28.maj.08
20	2	1290	PRAGERSKO	MB0281	2946	196	8	9.maj.08	2.jun.08
21	226	1256	RAVNE	MB0106	332	160	8	16.jul.08	22.jul.08
22	6	338	SELCE	propust	7922	82	8	7.jun.08	13.jun.08
23	5	335	GORENJE PIJAVŠKO	NM5024	5798	630	8	13.apr.08	28.apr.08
24	409	300	SINJA GORICA	propust	10269	611	10	1.sep.08	30.sep.08
25	211	212	STANEŽIČE	LJ0005	7032	643	10	13.feb.08	19.feb.08
26	210	1078	ŠKOFJA LOKA	KR0206	287	106	10	14.maj.08	20.maj.08
27	107	1275	ŠMARJE PRI JELŠAH	CE5012	9676	622	10	24.jun.08	30.jun.08
28	447	292	BLAGOVICA	LJ0080	8674	72	10	3.apr.08	9.apr.08
29	104	295	TRZIN	LJ0277	403	73	10	22.okt.08	28.okt.08
30	111	238	SEMEDELA	KP5023	313	626	10	16.dec.08	22.dec.08
31	1	1118	CERKNICA	LJ0119	1000	246	10	27.jun.08	4.jul.08
32	H7	917	DOLGA VAS	most	2100	141	10	3.nov.08	1.dec.08
33	7	353	KRVAVI POTOK	propust	2800	652	10	11.jun.08	17.jun.08
34	11	1062	STARA ŠALARA	KP5056	2400	149	10	25.jun.08	1.jul.08

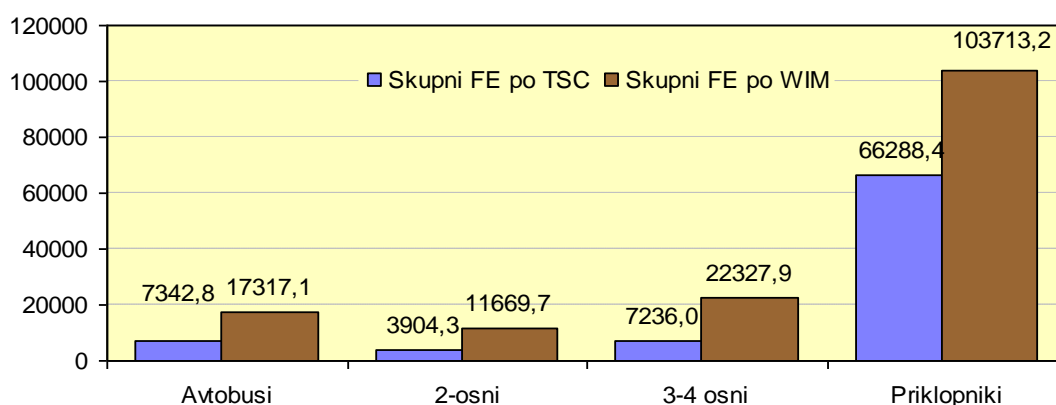
Tabela 5: Osnovni podatki o meritvah v letu 2008 (Promet 2008)

Pri primerjavi rezultatov med WIM meritvami in vrednostmi, dobljenimi s pomočjo strukture prometa in faktorjev iz TSC se je potrebno zavedati bistvene razlike pri klasifikaciji vozil. Medtem ko WIM sistemi vozila razvrstijo na podlagi medosnih razdalj in osnih obremenitev, števec razporedi vozilo manj natančno. Do podobnih, čeprav manjših razlik, prihaja pri razdelitvi na srednje težka in težka vozila brez priklopnikov. V tabeli 5 so tako s kategorijo 'Srednji 3-7t' primerjana vsa stehtana 2-osna tovorna vozila težja od 3,5t, s kategorijo 'Težki nad 7t' pa vsa 3- in 4-osna tovorna vozila brez priklopnikov.

Deleži posameznih kategorij vozil z vidika prometnih obremenitev po TSC in po WIM meritvah so v grafični obliki prikazani na sliki 1. Daleč največji delež predstavljajo vozila s priklopniki in polpriklopniki. Na drugem mestu so 3- in 4-osni kamioni, sledijo avtobusi in 2-osni kamioni. Razmerje med temi kategorijami se po metodah TSC in WIM bistveno razlikuje.

	Avtobusi	2-osni	3-4 osni	Priklopniki	Skupaj
Število vozil	5584	17979	6210	27639	57413
Skupni FE po TSC	6700,8	3595,8	6831,4	55278,0	72406
Povprečni FE	93,1	49,9	94,9	767,8	1006
Delež FE po kategorijah	9,25%	4,97%	9,43%	76,34%	100,0%
Skupni FE po WIM	14529,2	10129,6	17718,3	82970,2	125347
Povprečni FE po WIM	242,2	168,8	295,3	1382,8	2089
Delež FE po kategorijah	11,59%	8,08%	14,14%	66,19%	100,0%

Tabela 6: Primerjava deležev FE med WIM in TSC (Promet 2008)



Slika 9: Delež FE po kategorijah vozil (Promet 2008)

Rezultati kažejo, da so najmanj (v povprečju za 61 %) podcenjeni faktorji FE za vozila s priklopniki. Razlog za to je, da je velik delež teh vozil v tranzitu, kjer se njihova teža velikokrat kontrolira. Ostale kategorije težkih vozil so podcenjene: avtobusi za 119 %, srednji tovornjaki za 229 % in težki tovornjaki za 228 % (Promet 2008).

4.2 ANALIZA MERILNEGA MESTA

Podrobno smo se posvetili analizi enega merilnega mesta, kjer smo izvedli primerjavo med podatki števca prometa in meritvijo z WIM sistemom, ter primerjali podatke. Uporabili smo dejanske podatke merilnega mesta Kresnice na cesti G2-108, odsek 1182 Ribče–Litija. Na istem odseku je tudi števec prometa QLD-3 na lokaciji Zgornji Log, števeno mesto 678. Na tem odseku promet ni omejen in zanj veljajo omejitve, kar ureja Pravilnik o omejitvah uporabe državnih cest (Ur. l. št. 84/2007).

Cestni odsek WIM: **G2-108/1182** Stacionaža: **2,1** Št. Objekta: **Razpetina m 5,00** Voziče: **4**
 Začetek meritev: **ponedeljek, 01.09.08, 00:37** Konec meritev: **torek, 30.09.08, 23:54**
 Cestni odsek štetje: **G2-108/1182** Stacionaža: **Št. Mesto: 338** Dopustni osni pritiski: **10t/18t/24t**
 Merjena prometna pasova: **Pas 1 - Ribče-Litija** **Pas 2 - Litija-Ribče** Vpliv koles: **Da**

Število vozil po kontrolnem števcu	Osebn	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Faktor vozila po TSC 06.511	0,00006	1,20	0,01	0,20	1,10	2,00	1,30	
Šteje vozil, skupaj oba pasova		28,0		76,0	71,0	102,0	277,0	101.105 vozil
FE iz števila vozil po TSC (štetje)		33,6		15,2	78,1	204,0	330,9	120.779 FE
Število vozil po SIWIM-u	Osebn	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Pas 1 - Ribče-Litija		24,7		81,0	28,6	45,0	179,3	65.445 vozil
Pas 2 - Litija-Ribče		24,9		79,1	26,6	52,3	182,9	66.759 vozil
Število vozil v obeh pasovih		49,6		160,1	55,2	97,3	362,2	132.203 vozil
FE iz števila vozil po TSC (SIWIM)		59,5		32,0	60,7	194,6	346,9	126.604 FE
Razmerje števila vozil SIWIM/Štetje		1,77		2,11	0,78	0,95	1,31	
Obremenitve po SIWIM	Osebn	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Skupni FE po SIWIM		126,2		120,6	350,8	478,4	1075,9	392.717 FE
Povprečni faktor vozila po SIWIM		2,54		0,75	6,35	4,92	4,73	
Razmerje obremenitev FE _{SIWIM} /FE _{TSC}		2,12		3,77	5,78	2,46	3,64	

Izmerjeno s SIWIM sistemom	Število osi			FE				
	Enojne	Dvojne	Trojne	Enojne	Dvojne	Trojne	Skupaj	Letno
Dopustne obremenitve								
Pas 1 - Ribče-Litija	340,6	51,4	8,3	205,1	62,8	10,3	278,2	101.543 FE
Pas 2 - Litija-Ribče	322,6	34,8	6,2	275,4	123,4	30,4	429,2	156.658 FE
Skupaj oba pasova	663,2	86,2	14,5	480,5	186,2	40,7	707,4	258.201 FE
Preobremenitve								
Pas 1 - Ribče-Litija	24,0	4,6	3,4	33,4	24,6	1,7	59,7	21.791 FE
Pas 2 - Litija-Ribče	36,3	23,3	16,1	105,8	168,0	34,1	307,9	112.384 FE
Skupaj oba pasova	60,3	27,9	19,5	139,2	192,6	35,8	367,6	134.174 FE
Skupne obremenitve								
Pas 1 - Ribče-Litija	364,6	56,0	11,7	238,5	87,4	12,0	337,9	123.334 FE
Pas 2 - Litija-Ribče	358,9	58,1	22,3	381,2	291,4	64,5	737,1	269.042 FE
Skupaj oba pasova	723,5	114,1	34,0	619,7	378,8	76,5	1075,0	392.375 FE

Faktor vpliva koles: **1,40**

FE_{SIWIM}/FE_{TSC 06.511}: **325%**

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 - Ribče-Litija	179,3	14,3	8,0%	16,3	9,1%
Pas 2 - Litija-Ribče	182,9	11,6	6,3%	47,7	26,1%
Skupaj	362,2	25,9	7,2%	64,0	17,7%

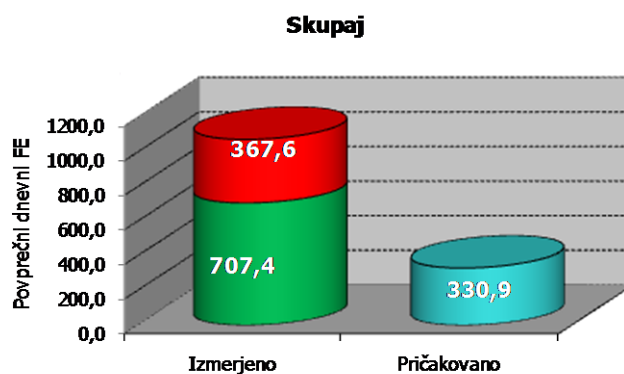
Tabela 7: Analiza meritve prometnih obremenitev

V tabeli 7 je prikazana analiza prometa na merjenem odseku. V prvem delu je prikazan podatek o številu vozil iz PLDP števca prometa ter pripadajoči izračunani FE. V nadaljevanju je podatek o številu vozil, ki jih je zajel WIM sistem ter temu pripadajoči po metodologiji TSC izračunani FE. V merjenem obdobju je bilo zaznано povečano število vozil v primerjavi s podatkom o PLDP v predelu srednje težkih tovornih vozil. V zaključku prvega dela tabele je izračun FE glede na dejansko izmerjene obremenitve, ki pokaže, da je na merjenem odseku razmerje med FE_{WIM} (FE iz WIM meritve) in FE_{TSC} (FE po metodologiji TSC) pri vseh razredih vozil krepko preko 2 oziroma da izračun FE iz podatka števec prometa ni zadovoljiv način meritve prometne obremenitve. Prav posebej izrazito povečanje razmerja je pri težkih tovornih vozilih, kjer TSC predvideva prispevek posameznega vozila v višini 1,1FE, WIM meritev pa poda rezultat, ki je kar 5,78-krat (6,36FE) višji.

V nadaljevanju tabele je podrobna analiza izmerjenih podatkov s prikazom prispevka FE po pasovih glede na dopustne obremenitve ter preobremenitve. Ker vemo, da se prometne obremenitve povečujejo s četrto potenco glede na težo posamezne osi, je seveda pričakovano, da je kljub povečanju števila vozil za 31 %, povečanje prometnih obremenitev kar 325-odstotno.

Bajko Kulauzović: Izračun prometnih obremenitev cestnih odsekov s pomočjo tehtanja vozil med vožnjo

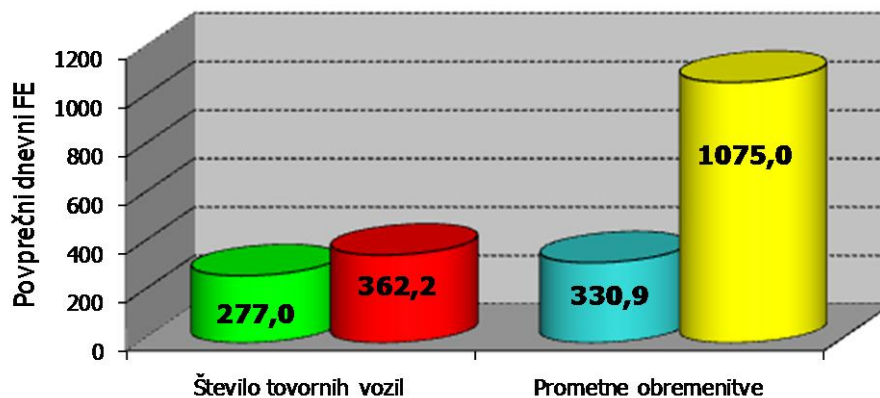
Primerjava med vozili, ki imajo dopustne obremenitve in vozili, ki so preobremenjena, pokažejo, da je skupaj preobremenjenih vozil (glede na osno obremenitev, skupno maso ali oboje) 24,8 %, vendar je njihov prispevek k prometnim obremenitvam kar 34,2 %.



Slika 10: Razmerje med pričakovanimi in izmerjenimi prometnimi obremenitvami

Na sliki 10 je prikazano razmerje med pričakovanimi in izmerjenimi prometnimi obremenitvami, kjer se izkaže, da že vozila z dopustnimi obremenitvami presežejo pričakovano vrednost prometnih obremenitev, preobremenjena pa to vrednost samo še povečajo.

Povečanje po številu in po obremenitvi



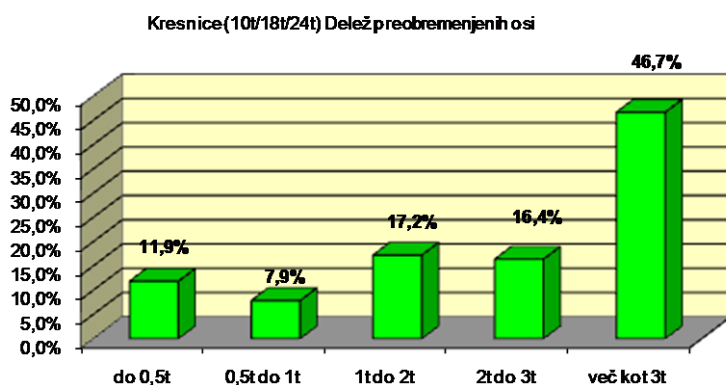
Slika 11: Primerjava med številom vozil in prometnimi obremenitvami

Upravičenost meritve prometnih obremenitev z WIM sistemi pa najbolj nazorno prikaže slika 11, kjer je prikazano razmerje med povečanjem števila vozil in povečanjem prometnih obremenitev. Povečanje števila vozil je bilo za 31 %, povečanje prometnih obremenitev pa kar za 325 %.

Prav tako pa je zanimiv pregled preobremenjenih vozil; ta analiza je seveda mogoča le ob predpostavki, da za meritev uporabimo WIM sistem in ne samo števca, ki o

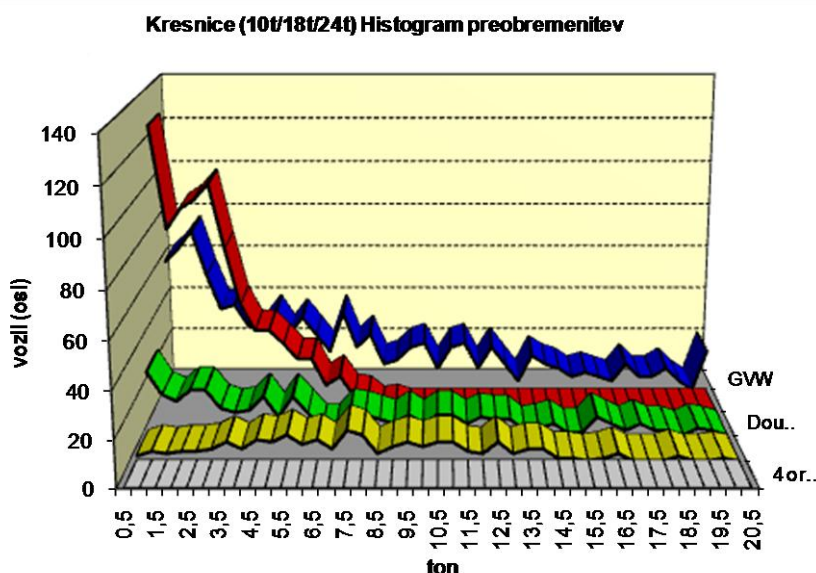
teži vozila in posameznih oseh nima podatka.

Na merjenem odseku ni posebne omejitve, zato velja splošna omejitev 10t na os. Na sliki 12 je prikazana analiza preobremenjenih osi – velika večina preobremenjenih osi, kar 46,7%, presega dovoljeno obremenitev za več kot 3t. Ta podatek kaže, da se na odseku vrši veliko prometa z gradbišč, saj taka vozila (3-, 4- in 5-osni prekucniki) običajno tvorijo večje količine materiala, kot je dovoljeno.



Slika 12: Analiza preobremenjenih osi

Pri podrobni analizi preobremenjenih vozil ugotovimo, da večina presega tako skupno maso kot tudi osne obremenitve. Na sliki 13 so preobremenitve skupne mase prikazane z modro barvo, preobremenitve posamezne osi z rdečo, dvojne z zeleno in trojne z rumeno.

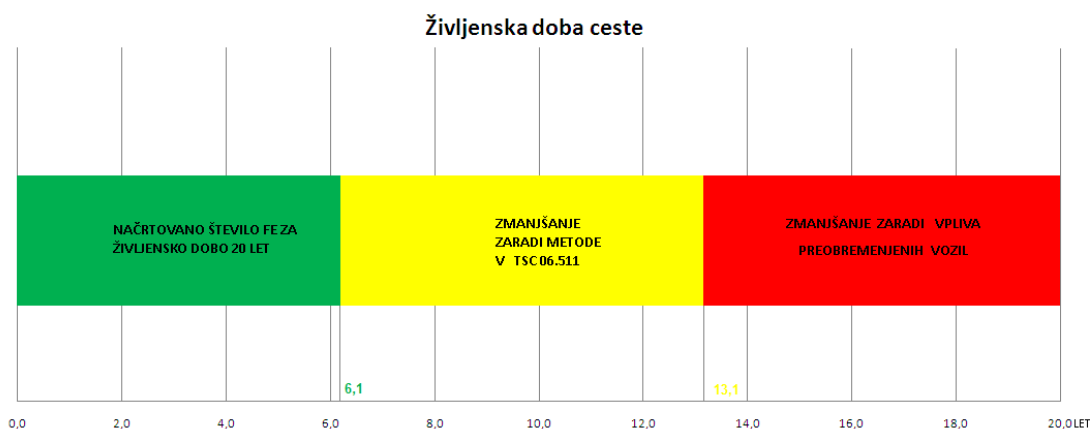


Slika 13: Podrobna analiza preobremenjenih vozil

Povečanje obremenitev lahko ponazorimo tudi s skrajšanjem življenjske dobe ceste. Pri predstavitvi je upoštevano, da je za predvideno prometno obremenitev v skladu s

Tehničnimi specifikacijami TSC 05.611 in pridobljenimi podatki iz štetja prometa, cesta dimenzionirana za 20 let. Po podatkih štetja in upoštevanih faktorjih za posamezno vrsto povprečni faktor ekvivalentnosti na dan vozil znaša 330,9. Cesta pa je zaradi težkih tovornih vozil obremenjena kar s 1075 FE na dan.

Graf »Življenjska doba ceste« ponazarja skrajšanje življenjske dobe zaradi preobremenjenih tovornih vozil v rdeči barvi ter zmanjšanje življenjske dobe zaradi realne meritve in izračuna po metodologiji TSC. Tako je na merjenem odseku z meritvijo dejanskega prometa izračunano, da se je življenjska doba ob takem prometu zmanjšala s predvidenih 20 let na samo 6,1 leta (slika 14).



Slika 14: Življenjska doba ceste

4.3 RAZŠIRJENA UPORABA WIM MERITVE

Kot je prikazano že v predhodnem poglavju, je WIM meritev nepogrešljiva za natančno analizo dejanskega prometa na določenem cestnem odseku, vendar pa so podatki take meritve uporabni še za kopico drugih potreb.

Z analiziranjem časovnega poteka povečanja prometnih obremenitev lahko določimo tako konice preobremenjenosti kot tudi distribucijo glede na vozni pas, tip vozila in podobno.

5 PREDLAGANE IZBOLJŠAVE METODOLOGIJE

5.1 RAZŠIRITEV NABORA PODATKOV

Omejitev, ki jo imajo podatki števecv prometa (pomanjkanje informacije o osnih obremenitvah, skupni teži, preobremenjenih vozilih in drugo), lahko zaobidemo z uporabo WIM meritev na ključnih mestih ter s primerjavo pridobljenih podatkov posameznega WIM sistema s podatki števca prometa. Tako pridobljene in kombinirane podatke je smiselno razširiti na sosednje odseke, seveda s predhodno analizo posameznih odsekov v prometni smeri in oceno, kateri sosednji odseki so primerni za razširitev podatkov nanje. Na ta način bi lahko z relativno omejenim številom WIM meritev razširili oceno dejanskih prometnih obremenitev na širše območje cestnega omrežja.

Za primer vzemimo cesto G2-106 od Lj. Rudnik (odsek 0215) do mejnega prehoda Petrina (odsek 0266). WIM meritev je bila izvedena na lokaciji Pijava Gorica (odsek 0261) in po izračunu prometnih obremenitev na merjenem odseku smo ugotovili naslednje (tabela 8):

Število vozil po kontrolnem števcu	Osební	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Faktor vozila po TSC 06.511	0,00006	1,20	0,01	0,20	1,10	2,00	1,30	
Šteje vozil, skupaj oba pasova	7347,0	86,0		113,0	144,0	141,0	484,0	176.660 vozil
FE iz števila vozil po TSC (štetje)	0,4	103,2		22,6	158,4	282,0	566,6	206.824 FE
Število vozil po SIWIM-u	Osební	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Pas 1 - Škofljica-Rašica		61,9		108,6	32,4	64,1	267,0	97.455 vozil
Pas 2 - Rašica-Skofljica		61,7		95,5	38,3	62,1	257,6	94.024 vozil
Število vozil v obeh pasovih		123,6		204,1	70,7	126,2	524,6	191.479 vozil
FE iz števila vozil po TSC (SIWIM)		148,3		40,8	77,8	252,4	519,3	189.548 FE
Razmerje števila vozil SIWIM/Štetje		1,44		1,81	0,49	0,90	1,08	
Obremenitve po SIWIM	Osební	Avtobusi	Lahki 1-3t	Srednji 3-7t	Težki nad 7t	Priklopniki	Skupaj	Letno
Skupni FE po SIWIM		280,5		132,0	196,3	417,7	1026,5	374.690 FE
Povprečni faktor vozila po SIWIM		2,27		0,65	2,78	3,31	2,79	
Razmerje obremenitev FE _{SIWIM} /FE _{TSC}		1,89		3,23	2,52	1,66	2,15	

Tabela 8: Primerjava med števcem prometa in WIM meritvijo

Te podatke smo prenesli na sosednje odseke in jih upoštevali glede na podatke števecv prometa (tabela 9).

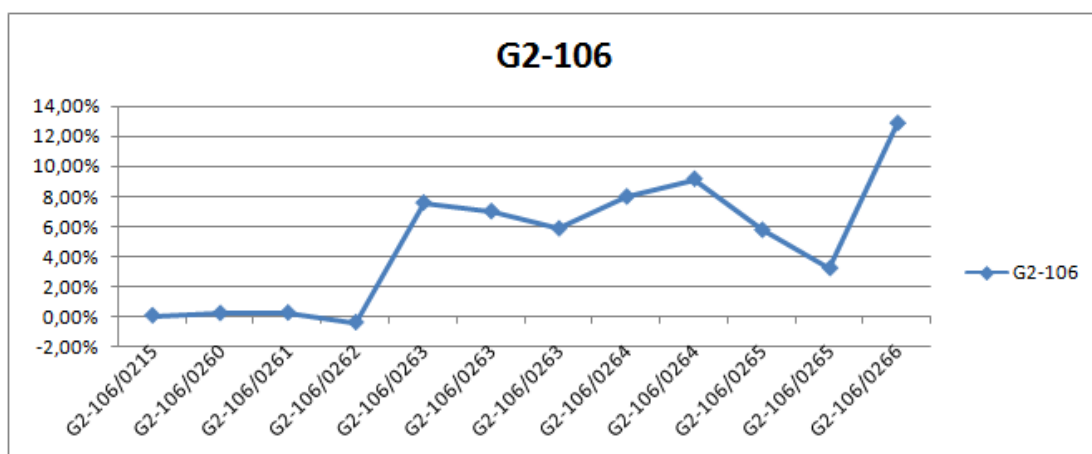
Kat. ceste	Štev. odseka	Štev. odseka	Prometni odsek	Števno mesto	Ime števnege mesta	Tip štetja	Vsa vozila	Motorji	Osebná vozila	Avtobusi	Lah. tov. < 3,5t	Sr. tov. 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
G2	106	0215	LJ/RUDNIK-ŠKOFIJA	6	Škofljica	QLD-6	18.256	87	16.013	169	1.253	218	276	102	138
G2	106	0216	ŠKOFIJA-ŠMARJE SAP	26	Škofljica 2	QLD-5	3.469	23	2.965	18	242	74	103	21	23
G2	106	0261	ŠKOFIJA-RAŠICA	117	Želminje	QLD-5	8.416	55	7.347	86	530	113	144	65	76
G2	106	0262	RAŠICA-ŽLEBIČ	410	Žlebič	QLD-6	6.872	73	5.898	63	486	80	123	70	79
G2	106	0263	DOLENJA VAS-KOČEVJE	619	Stara Cerkev	QLD-6	6.134	74	5.336	60	377	64	69	74	80
G2	106	0265	LIVOLD-ŠTALCERJI	119	Štalcerji	QLD-3	1.670	42	1.478	9	60	29	26	13	13
G2	106	0266	FARA-MP PETRINA	507	MP Petrina	QLD-3	668	8	641	2	8	6	3	0	0

Tabela 9: Tabela prometnih obremenitev za cesto G2-106 (Štetje 2008)

Glede na povprečne faktorje ekvivalentnosti in faktorje za posamezen tip vozila smo naredili oceno, da se distribucija na sosednji odsek lahko izvrši, v kolikor odstopanje ni večje od 10 %.

Na sliki 15 je prikazana distribucija WIM podatkov iz odseka 0261 na sosednje odseke. Izkaže se, da 10 % odstopanje podatki dosežejo šele na zadnjem odseku med krajem Fara in mejnim prehodom Petrina, torej lahko na vseh preostalih odsekih uporabimo kot referenco podatke WIM meritve v Pijavi Gorici.

Bajko Kulauzović: Izračun prometnih obremenitev cestnih odsekov s pomočjo tehtanja vozil med vožnjo



Slika 15: Distribucija WIM podatkov na sosednje odseke

Seveda pa distribucija na vseh cestnih odsekih ni tako enostavna, kot je to prikazano na tem primeru, kjer smo uporabili relativno preprosto situacijo, ko na merjene odseke ne vpliva promet stranskih cest. Za dejanski izračun distribucije podatkov bi bila potrebna bolj podrobna in obširna analiza.

6 ZAKLJUČEK

6.1 OCENA STANJA

V diplomski nalogi smo prikazali primerjavo med podatki, pridobljenimi iz števecv prometa in podatki, ki jih lahko pridobimo iz WIM sistemov ter njihovo uporabno vrednost za izračun prometnih obremenitev. Več kot očitno je, da so podatki števecv prometa za podrobno in natančno analizo pomanjkljivi, zato so podatki WIM meritev več kot le potreben dodatek k informaciji.

Pokazali smo, da lahko s kombinacijo podatkov uspešno distribuiramo podatke dejanskih prometnih obremenitev na sosednje odseke in tam uporabimo informacijo iz števca prometa. Kljub temu pa bi bilo nujno potrebno razširiti nabor mest, kjer zajemamo podatke s pomočjo WIM sistemov, saj trenutno Direkcija Republike Slovenije za ceste razpolaga le z informacijami iz 34 merilnih mest, kjer se vsako leto opravijo WIM meritve. Veliko cest, ki morda ne veljajo za glavne prometne poti, WIM meritve ne zajamejo, se pa po njih vrši lokalni promet z gradbišč, ki izdatno prispeva k uničenju voziščne konstrukcije in s tem k zvišanju stroškov vzdrževanja cest.

6.2 VIZIJA RAZVOJA

Kakšna naj bi bila vizija prihodnjega razvoja uporabe WIM tehnologije na slovenskih cestah? Predvsem kot sestavni del integralnega sistema nadzora prometa in prometnih obremenitev. WIM sistemi bi morali postati permanentne merilne postaje, nadgrajene z video opremo in programsko opremo za prepoznavo registrskih tablic ter živo povezavo s centralnim računalniškim sistemom. S tem bi omogočili natančen nadzor nad dejanskimi kršitelji, posledično pa bi s tem zmanjšali število preobremenjenih tovornih vozil na slovenskih cestah. Izračuni namreč kažejo, da glede na zajete podatke WIM meritev tovornega prometa, preobremenjena vozila ob upoštevanju minimalne kazni 600 EUR po Zakonu o varnosti v cestnem prometu (Uradni list RS 56/2008) pomenijo celotno višino zagroženih kazni v višini preko 100 milijonov EUR. Cilj kaznovanja seveda ni pobiranje denarnih kazni, temveč zmanjševanje prometnih obremenitev (in posledično zmanjšanje uničevanja cestnega omrežja).

LITERATURA IN VIRI

1. COST 323 (1999). "European Weigh-in-Motion Specifications", Verzija 3.0, LCPC Paris (http://wim.zag.si/reports/specifications/WIM_specs.pdf);
2. COST 323 (2001). "Weigh-in-Motion of Road Vehicles", DG TREN, Brussels (<http://wim.zag.si/reports/final/cost323.pdf>);
3. Interno gradivo podjetja Cestel d.o.o.
4. Moses F. (1979). "Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridges", Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 105, številka TE3, 233-249;
5. Navodilo o pripravljanju in izdajanju tehničnih specifikacij za javne ceste. Uradni List RS št. 69/98;
6. Nordiska Vägtekniska Förbundet: Road wear from heavy vehicles, Report nr. 08/2008;
7. O'Brien, E.J., Žnidarič, A., Ojio, T. (2008). 'Bridge weigh-in-motion – latest developments world wide', Zbornik 5. Mednarodne konference o WIM, E.J. O'Brien & B. Jacob, 139-151;
8. Publikacija Promet 2008, 2009. Direkcija Republike Slovenije za ceste;
9. SAMARIS report D30 (2006). 'Guidance for the optimal assessment of highway structures', ZAG Ljubljana, <http://samaris.zag.si/>;
10. TSC 06.511:2003 Prometne obremenitve - določitev in razvrstitev, 2003. Direkcija Republike Slovenije za ceste;
11. Vägverket: "Vikt-och dimensionsbestämmelser för tunga fordon", 1999;
12. Vägverket: "BWIM-Mätningar 2006 Sammanfattning", december 2007;
13. Vos, E. (1996). "Wide base tyres and heavy vehicles: Outlines of a cost-benefit analysis", Rijkswaterstaat, Delft, 1996;
14. "WAVE – Weighing in motion of axles and Vehicles for Europe", končno poročilo o raziskovalnih projektih delovnih skupin na četrtem EU Framework programme, 2001, (<http://wim.zag.si/wave/download/>);
15. Zakon o javnih cestah. Uradni List RS 29/97, 18/02, 50/02, 110/02, 131/04, 92/05, 33/06, 45/08 in 57/08;
16. Žnidarič, A. (1996-2007): "SIWIM-D – Weigh-in-Motion Data Evaluation Software", Verzija 3,0, ZAG, Ljubljana,
17. Žnidarič, A., Dempsey, A., Lavrič, I., Baumgärtner, W. (1999). "Bridge WIM systems without axle detectors", Weigh-in-motion of Road Vehicles, Hermes Science Publications, Paris, 101-110;
18. Žnidarič, A., Lavrič, I., Casas, J.R. (2008). 'How safe are our existing bridges?', Zbornik Transport Research Arena 2008, Ljubljana;

19. Žnidarič, A., Lavrič, I., Kalin, J. (2002). 'The Next Generation of Bridge Weigh-in-Motion Systems', v Zborniku *Proceedings of the 3rd International Weigh-in-Motion Conference*, Orlando;
20. Žnidarič, A., Moses, F. (1997). "Structural Safety of Existing Road Bridges", Zbornik 7. Mednarodne konference *Structural Safety and Reliability ICSSAR '97*, Kyoto, 1843–1850.

KAZALO SLIK

Slika 1: Različni tipi HS WIM sistemov (COST 323 1999)	5
Slika 2: Shematski prikaz delovanja mostnega sistema	6
Slika 3: Most kot merilni sistem	6
Slika 4: Postavitev merilnih senzorjev	7
Slika 5: Merilna enota	7
Slika 6: Nastavitve parametrov sistema	8
Slika 7: Nastavitve parametrov sistema	8
Slika 8: Kalibracija sistema in izračun točnosti	9
Slika 9: Delež FE po kategorijah vozil (Promet 2008).....	13
Slika 10: Razmerje med pričakovanimi prometnimi obremenitvami in izmerjenimi .	15
Slika 11: Primerjava med številom vozil in prometnimi obremenitvami	15
Slika 12: Analiza preobremenjenih osi	16
Slika 13: Podrobna analiza preobremenjenih vozil	16
Slika 14: Življenjska doba ceste	17
Slika 15: Distribucija WIM podatkov na sosednje odseke	19

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tabela prometnih obremenitev (Štetje 2008).....	3
Tabela 2: Primerjava med PLDP in PLDO	4
Tabela 3: Točnostni razredi WIM sistemov in področje uporabe.....	10
Tabela 4: Vrednost FE za posamezne razrede vozil	11
Tabela 5: Osnovni podatki o meritvah v letu 2008 (Promet 2008).....	12
Tabela 6: Primerjava deležev FE med WIM in TSC (Promet 2008)	13
Tabela 7: Analiza meritve prometnih obremenitev	14
Tabela 8: Primerjava med števcem prometa in WIM meritvijo	18
Tabela 9: Tabela prometnih obremenitev za cesto G2-106 (Štetje 2008)	18

POJMOVNIK

Weigh-in-motion: tehtanje (vozil) med vožnjo

KRATICE IN AKRONIMI

ESAL	: Equivalent standard axle load – FE
FE	: Faktor ekvivalentnosti – celotna prometna obremenitev, izražena s številom nominalnih osnih obremenitev 82 kN
WIM	: Weigh-in-motion
PLDP	: Povprečni letni dnevni promet
PLDO	: Povprečna letna dnevna obremenitev